



Ricerca di Sistema elettrico

# Analisi e rappresentazione del patrimonio edilizio residenziale: Caso studio di Carbonia

S. Pili, F. Poggi, G. Cau, E. Loria, C. Frau

## ANALISI E RAPPRESENTAZIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO RESIDENZIALE: CASO STUDIO DI CARBONIA

S. Pili, F. Poggi, G. Cau, E. Loria, C. Frau

Aprile 2021

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità

Obiettivo: *N. 1 - Tecnologie*

Progetto: *1.5 - Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti*

Work package: *1 - Edifici ad alta efficienza energetica*

Linea di attività: *LA1.27 - Analisi e rappresentazione del patrimonio edilizio residenziale: caso studio di Carbonia*

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi, ENEA

Responsabile del Work package: Domenico Iatauro, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Metodologie e strumenti per lo sviluppo di strategie di riqualificazione del patrimonio edilizio esistente*"

Responsabile scientifico ENEA: Giovanni Puglisi

Responsabile scientifico SOTACARBO: Marcella Fadda

# Indice

|                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| SOMMARIO.....                                                                                             | 6   |
| 1 POLITICHE DI RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA .....                                                          | 7   |
| 1.1 IL CONFRONTO EUROPEO: LA RENOVATION WAVE PER IL SETTORE DEGLI EDIFICI .....                           | 7   |
| 1.2 LA FOTOGRAFIA NAZIONALE: LA RIQUALIFICAZIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO RESIDENZIALE.....                | 8   |
| 1.3 EFFICIENTAMENTO ENERGETICO NEL SETTORE RESIDENZIALE A DIMENSIONE REGIONALE: RISULTATI RAGGIUNTI ..... | 11  |
| 1.3.1 <i>La situazione a Carbonia</i> .....                                                               | 14  |
| 2 ASPETTI GENERALI .....                                                                                  | 16  |
| 2.1 APPROCCIO METODOLOGICO GENERALE E STATO DI AVANZAMENTO DEL PROGETTO .....                             | 16  |
| 2.1.1 <i>Approccio metodologico generale</i> .....                                                        | 16  |
| 2.1.2 <i>Approccio all'Urban Building Energy Modelling (UBEM)</i> .....                                   | 19  |
| 2.1.2.1 <i>Obiettivo e scelta del modello energetico</i> .....                                            | 20  |
| 2.1.2.2 <i>Reperibilità dei dati di base</i> .....                                                        | 21  |
| 2.1.2.3 <i>Struttura dell'UBEM</i> .....                                                                  | 23  |
| 3 DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA PROPOSTA.....                                                             | 26  |
| 3.1 STRUTTURA GENERALE DEL TOOL GIS .....                                                                 | 26  |
| 3.2 CENNI ALLA MODELLAZIONE ENERGETICA STANDARD E IPOTESI SEMPLIFICATIVE .....                            | 28  |
| 3.3 DATI DI PARTENZA E ATTIVITÀ DI PRE - PROCESSING .....                                                 | 32  |
| 3.3.1 <i>Riordino dei dati della normativa</i> .....                                                      | 34  |
| 3.3.2 <i>Studio tipologico preliminare</i> .....                                                          | 34  |
| 3.3.3 <i>Preparazione dei dati spaziali</i> .....                                                         | 41  |
| 3.3.4 <i>Input manuale e rilievo urbano</i> .....                                                         | 45  |
| 3.3.5 <i>Tools di supporto alla fase di pre – processing</i> .....                                        | 47  |
| 3.4 ANALISI GEOMETRICHE .....                                                                             | 48  |
| 3.4.1 <i>Superficie utile e volume riscaldato</i> .....                                                   | 51  |
| 3.4.2 <i>Superfici disperdenti</i> .....                                                                  | 51  |
| 3.4.3 <i>Ombreggiamento delle facciate e irraggiamento solare</i> .....                                   | 52  |
| 3.4.3.1 <i>Procedura della normativa per l'analisi del contesto</i> .....                                 | 52  |
| 3.4.3.2 <i>Tool GIS per il calcolo dell'irraggiamento solare sulle superfici verticali</i> .....          | 54  |
| 3.5 MODELLAZIONE ENERGETICA .....                                                                         | 58  |
| 3.5.1 <i>Toolset C per il calcolo dei fattori di scambio termico</i> .....                                | 59  |
| 3.5.2 <i>Toolset D ed E per il calcolo del fabbisogno di energia utile e delle performances</i> .....     | 62  |
| 3.5.3 <i>Perdite per trasmissione</i> .....                                                               | 63  |
| 3.5.4 <i>Perdite per ventilazione</i> .....                                                               | 65  |
| 3.5.5 <i>Guadagno termico per attività interne</i> .....                                                  | 65  |
| 3.5.6 <i>Guadagno termico per irraggiamento solare</i> .....                                              | 66  |
| 3.5.7 <i>Stagioni di riscaldamento e raffrescamento</i> .....                                             | 67  |
| 3.5.8 <i>Calcolo dei fattori di utilizzo e fabbisogno di energia termica dell'involucro</i> .....         | 68  |
| 3.5.9 <i>Calcolo dell'energia da fornire all'impianto</i> .....                                           | 69  |
| 3.5.10 <i>Calcolo del fabbisogno energetico di acqua calda sanitaria (ACS)</i> .....                      | 72  |
| 3.5.11 <i>Parametri di efficienza ed etichetta energetica</i> .....                                       | 73  |
| 3.6 VALIDAZIONE PRELIMINARE .....                                                                         | 74  |
| 3.6.1 <i>Metodologia: valutazione di coerenza</i> .....                                                   | 74  |
| 3.6.2 <i>Metodologia: valutazione di affidabilità</i> .....                                               | 75  |
| 4 IL CASO STUDIO.....                                                                                     | 76  |
| 4.1 IDENTIFICAZIONE AREA DI STUDIO .....                                                                  | 77  |
| 4.1.1 <i>Edifici storici riscontrati nell'area di studio</i> .....                                        | 80  |
| 4.2 RILIEVO .....                                                                                         | 82  |
| 4.2.1 <i>Schede delle tipologie di rilievo</i> .....                                                      | 85  |
| 4.2.2 <i>Numero di edifici e di unità residenziali</i> .....                                              | 94  |
| 4.2.3 <i>Stato di conservazione degli edifici</i> .....                                                   | 101 |

|         |                                                                                                               |     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2.4   | <i>Chiusura orizzontale di base</i> .....                                                                     | 103 |
| 4.2.5   | <i>Elemento di copertura</i> .....                                                                            | 104 |
| 4.2.6   | <i>Tipologia di telaio degli infissi e tipo di schermature</i> .....                                          | 106 |
| 4.2.7   | <i>Stato di conservazione generale degli infissi</i> .....                                                    | 109 |
| 4.2.8   | <i>Numero di unità esterne per sistemi a pompa di calore e presenza di impianti a fonte rinnovabile</i> ..... | 111 |
| 4.2.9   | <i>Sintesi della fase di rilievo</i> .....                                                                    | 114 |
| 4.3     | ANALISI DATI QUESTIONARIO ENERGETICO .....                                                                    | 115 |
| 4.3.1   | <i>Informazioni generali</i> .....                                                                            | 117 |
| 4.3.2   | <i>Dati sull'involucro</i> .....                                                                              | 118 |
| 4.3.3   | <i>Dati sul sistema di riscaldamento</i> .....                                                                | 120 |
| 4.3.4   | <i>Dati sul sistema di raffrescamento</i> .....                                                               | 122 |
| 4.3.5   | <i>Dati sul sistema di produzione di acqua calda sanitaria (ACS)</i> .....                                    | 123 |
| 4.3.6   | <i>Dati sul sistema di produzione di energia da fonti energetiche rinnovabili (FER)</i> .....                 | 124 |
| 4.3.7   | <i>Altri sistemi e consumi energetici</i> .....                                                               | 125 |
| 4.3.8   | <i>Comfort</i> .....                                                                                          | 125 |
| 4.4     | TIPIZZAZIONE.....                                                                                             | 130 |
| 4.5     | RISULTATI DEL MODELLO ENERGETICO .....                                                                        | 137 |
| 4.5.1   | <i>Attività di pre-processing: approccio tipologico</i> .....                                                 | 137 |
| 4.5.2   | <i>Attività di pre-processing: impostazione dei dati di base e geometrici e rilievo</i> .....                 | 143 |
| 4.5.2.1 | <i>Individuazione dell'articolazione delle proprietà e delle unità immobiliari</i> .....                      | 147 |
| 4.5.2.2 | <i>Rilievo</i> .....                                                                                          | 150 |
| 4.5.3   | <i>Strumenti di pre-processing</i> .....                                                                      | 154 |
| 4.5.4   | <i>Risultati delle analisi geometriche: superfici disperdenti e ombreggiamento</i> .....                      | 159 |
| 4.5.5   | <i>Risultati dei calcoli di fabbisogno energetico e di prestazione</i> .....                                  | 163 |
| 4.5.5.1 | <i>Fabbisogno netto per riscaldamento</i> .....                                                               | 163 |
| 4.5.5.2 | <i>Performance energetiche invernale</i> .....                                                                | 168 |
| 4.5.5.3 | <i>Acqua calda sanitaria</i> .....                                                                            | 170 |
| 4.5.5.4 | <i>Calcoli in regime estivo</i> .....                                                                         | 170 |
| 4.6     | RISULTATI DELLA VALUTAZIONE DI COERENZA .....                                                                 | 173 |
| 4.7     | RISULTATI DELLA VALUTAZIONE DI AFFIDABILITÀ.....                                                              | 176 |
| 4.8     | DISCUSSIONE DEI RISULTATI .....                                                                               | 178 |
| 4.8.1   | <i>Discussione sulla fase di pre-processing</i> .....                                                         | 179 |
| 4.8.1.1 | <i>Obsolescenza del dato cartografico</i> .....                                                               | 179 |
| 4.8.1.2 | <i>Individuazione delle unità edilizie</i> .....                                                              | 180 |
| 4.8.1.3 | <i>Coerenza tra DBGT, rilievo e stato di fatto</i> .....                                                      | 181 |
| 4.8.2   | <i>Differenze tra calcolo GIS e normativa vigente</i> .....                                                   | 182 |
| 4.8.3   | <i>Validazione preliminare del modello energetico</i> .....                                                   | 186 |
| 5       | AUREE.IT.....                                                                                                 | 186 |
| 5.1     | SCOPO .....                                                                                                   | 186 |
| 5.2     | STRUTTURA.....                                                                                                | 187 |
| 5.2.1   | <i>Le Basi informative</i> .....                                                                              | 188 |
| 5.2.2   | <i>I servizi del portale</i> .....                                                                            | 190 |
| 5.3     | ARCHITETTURA .....                                                                                            | 190 |
| 5.4     | VERSIONE BETA.....                                                                                            | 192 |
| 5.4.1   | <i>Home Page del portale</i> .....                                                                            | 193 |
| 5.4.2   | <i>Questionario energetico</i> .....                                                                          | 193 |
| 5.4.3   | <i>Sezioni principali del portale</i> .....                                                                   | 194 |
| 5.4.4   | <i>Abaco degli edifici</i> .....                                                                              | 195 |
| 5.4.5   | <i>Patrimonio privato</i> .....                                                                               | 195 |
| 5.4.6   | <i>Patrimonio pubblico</i> .....                                                                              | 196 |
| 5.4.7   | <i>Esplorazione delle mappe</i> .....                                                                         | 197 |
| 6       | CONCLUSIONI E SVILUPPI.....                                                                                   | 199 |
| 7       | RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....                                                                               | 201 |
| 8       | RINGRAZIAMENTI.....                                                                                           | 203 |



## Sommario

Il presente documento riporta la descrizione delle attività previste nella seconda annualità del progetto AUREE, sviluppato nell'ambito del piano triennale di realizzazione 2019-2021, il cui obiettivo generale è definire una metodologia di studio e sperimentare uno strumento per supportare il processo di recupero ed efficientamento del patrimonio edilizio tramite un approccio multi scala.

L'obiettivo specifico è stato definire i dettagli dell'approccio metodologico, già individuato nella prima annualità, tramite la sperimentazione in un caso studio (il centro urbano di Carbonia). L'attività svolta può riassumersi nello studio e rappresentazione del patrimonio edilizio residenziale e nella progettazione e realizzazione della beta del portale multiutente. Il lavoro è stato supportato dalle collaborazioni con gli enti universitari partner (DICAAR, DIMCM, DIEE) specificatamente impegnati nelle LA 1.32-34-36.

Dopo un breve inquadramento del contesto energetico di sfondo, con particolare riferimento ai contesti europeo, nazionale e regionale in termini di stato di avanzamento e penetrazione delle politiche di riqualificazione del patrimonio edilizio, i principali temi affrontati in questo report sono:

- La metodologia generale alla base del progetto AUREE;
- L'approccio adottato per l'UBEM;
- La struttura del portale;
- La discussione e l'analisi dei risultati ottenuti.

## 1 Politiche di riqualificazione energetica

L'Unione Europea punta a raggiungere una condizione di neutralità climatica entro il 2050. Questo importante obiettivo implica la necessità di tracciare per i prossimi 30 anni un percorso che porterà a zero le emissioni nette di gas a effetto serra. La transizione verso una società neutrale dal punto di vista climatico rappresenta quindi sia una importante sfida sia un'opportunità da cogliere per assicurare un futuro migliore a tutti i cittadini europei [1]. Uno degli aspetti chiave di questo percorso sarà, insieme allo sviluppo di un sistema basato sui principi dell'economia circolare, la trasformazione radicale del sistema energetico, in quanto l'energia è responsabile di circa il 75% delle emissioni europee di gas a effetto serra.

In questo contesto, la visione strategica di lungo periodo identifica l'efficienza energetica come protagonista nell'azzeramento delle emissioni di gas serra, contribuendo a dimezzare il fabbisogno di energia rispetto al 2005 [2]. Gli sforzi congiunti dell'Europa e degli Stati membri si dovranno focalizzare oltre che sui processi industriali, sulla riqualificazione energetica del parco edilizio che attualmente è responsabile del 40% dei consumi di energia. Questo cambiamento richiederà innovazione tecnologica, capacità di mettere a punto strumenti finanziari per stimolare gli investimenti e il determinante coinvolgimento dei cittadini e consumatori i quali dovranno essere sempre maggiormente coinvolti nella transizione energetica.

Uno dei pilastri che guideranno l'azione politica della Commissione Europea dei prossimi cinque anni è rappresentato dal *Green Deal*, un ambizioso piano per affrontare le criticità legate all'ambiente e al clima, coerentemente con l'obiettivo al 2050 di non generare emissioni nette di gas a effetto serra e di disaccoppiare la crescita economica dall'utilizzo e il depauperamento delle risorse naturali. Per questo sarà necessaria la modifica degli attuali obiettivi di riduzione delle emissioni che, con la legislazione vigente in materia di clima ed energia, attualmente fissano una riduzione delle stesse di circa il 40%.

### 1.1 Il confronto europeo: la *Renovation Wave* per il settore degli edifici

Come già citato, il patrimonio edilizio dell'Unione Europea (UE) è il maggiore consumatore di energia in Europa (40% del consumo) e responsabile del 36% delle emissioni di gas a effetto serra nell'UE. Negli ultimi anni sono stati compiuti notevoli progressi, in buona parte grazie alle disposizioni della direttiva sul rendimento energetico nell'edilizia (EPBD) per la riduzione dei consumi del settore. I nuovi edifici oggi tendono a consumare almeno la metà dell'energia di edifici simili costruiti venti anni fa. Tuttavia, circa l'80% degli edifici di oggi sarà ancora in uso nel 2050 e il 75% di questo stock è inefficiente dal punto di vista energetico [3].

Per questo motivo, gli edifici e l'industria delle costruzioni occupano una posizione di rilievo all'interno del *Green Deal*: il tasso di rinnovo annuale del patrimonio edilizio dovrà almeno raddoppiare (attualmente è tra lo 0,4 e l'1,2% nei diversi Stati membri) per fare in modo che l'UE raggiunga gli obiettivi di neutralità delle emissioni di carbonio, di efficienza energetica e energie rinnovabili prefissati.

Per promuovere l'efficienza energetica nel settore edilizio e raggiungere gli obiettivi preposti, la Commissione prevede di intervenire, in particolare, attraverso l'iniziativa *Renovation Wave* [4]: sarà necessaria una vera e propria "ondata di ristrutturazioni" di edifici pubblici e privati che permetterà di ridurre sensibilmente il consumo di energia, contrastare il fenomeno della povertà energetica e fare da stimolo all'economia. Sotto questo profilo, il grande potenziale di efficienza del settore edilizio potrà essere meglio sfruttato con misure che perseguano, ad esempio, la riqualificazione energetica insieme alla ristrutturazione edilizia, sismica, impiantistica ed estetica di edifici e quartieri. La ristrutturazione è una grande opportunità anche per la crescita economica in quanto fornisce posti di lavoro e stimola il settore delle costruzioni, che è largamente dominato dalle imprese locali, rafforzando nel contempo la competitività industriale dell'Europa. La ristrutturazione edilizia è centrale anche per la ripresa economica post-COVID 19.

Dal punto di vista sociale ed organizzativo, il lockdown e la graduale ripresa post-pandemia sta comportando un mutamento del modo di "vivere" la propria abitazione e di lavorare che potrebbe permanere nel tempo, implicando una vera e propria ri-progettazione degli spazi all'interno di abitazioni e luoghi di lavoro.

Dal punto di vista tecnico, il recupero green post-pandemia porterà a una maggiore attenzione nelle norme relative alla qualità dell'aria interna per il sistema HVAC (riscaldamento, ventilazione e aria condizionata). Più in generale, il rispetto delle regole di distanziamento sociale potrebbe rappresentare un'opportunità per un cambiamento nel settore delle costruzioni in termini di miglioramento della produzione off-site, costruzione automatizzata e prestazioni garantite integrate con Internet of Things (IoT) e Building Information Modeling

(BIM). Tali innovazioni ridurrebbero la complessità tecnica dei progetti di riqualificazione, facilitando quindi un maggior numero di azioni, anche da parte delle ESCo attraverso lo strumento dell'Energy Performance Contract (EPC), in particolare per interventi in edifici pubblici.

La necessaria accelerazione del tasso di riqualificazione degli edifici esistenti passa attraverso metodologie efficaci, indicatori quantificabili, sistemi di benchmarking, strumenti di supporto alle decisioni, formazione indirizzata e linee guida volte a facilitare e semplificare l'identificazione di obiettivi chiari, realistici e valutabili, nonché il monitoraggio degli interventi implementati, secondo delle fasi ben definite di tutto il processo.

La *Renovation Wave* prevede una serie di azioni per aumentare la profondità e il tasso di ristrutturazione sia a livello del singolo edificio, sia a livello di distretto, e tra le altre:

- il cambiamento degli attuali combustibili a favore di soluzioni per il riscaldamento a fonti rinnovabili, la diffusione di prodotti e di apparecchi più efficienti, l'adozione di sistemi intelligenti e infrastrutture relative agli edifici per la ricarica dei veicoli elettrici e il miglioramento delle prestazioni degli involucri degli edifici;
- la possibilità di stabilire requisiti obbligatori per gli edifici con prestazioni peggiori e di inasprire gradualmente i requisiti minimi di prestazione energetica.

Questo cambiamento richiederà innovazione tecnologica, capacità di mettere a punto strumenti finanziari per stimolare gli investimenti e il determinante coinvolgimento dei cittadini e dei consumatori, i quali dovranno essere sempre maggiormente coinvolti nella transizione energetica ad esempio attraverso lo sviluppo delle comunità energetiche.

## 1.2 La fotografia nazionale: la riqualificazione del patrimonio edilizio residenziale

L'Italia, come riportato nel Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima – PNIEC (2019) [5], intende perseguire un obiettivo indicativo di riduzione dei consumi al 2030 pari al 43% dell'energia primaria e al 39,7% dell'energia finale rispetto allo scenario di riferimento PRIMES 2007. Per il livello assoluto di consumo di energia al 2030, l'Italia persegue un obiettivo di 125,1 Mtep di energia primaria e 103,8 Mtep di energia finale.

Per la definizione di tale obiettivo è stata sviluppata una traiettoria basata sul conseguimento dei risparmi obbligatori, che prevede un target di riduzione dei consumi finali minimo dello 0,8% annuo nel periodo 2021-2030. In particolare, lo 0,8% annuo equivale a circa 0,935 Mtep aggiuntive da nuovi interventi ogni anno.

Il settore residenziale contribuisce per 3,3 Mtep a tale contrazione, mentre il terziario riduce le proiezioni dei propri consumi di 2,4 Mtep, grazie agli interventi di riqualificazione edilizia e installazione di pompe di calore, oltre a un forte efficientamento dei dispositivi di uso finale e con un impegno alla graduale eliminazione del gasolio per il riscaldamento.

Tramite il meccanismo della detrazione fiscale denominato *Ecobonus*, nel periodo 2014-2018 sono stati realizzati oltre 2 milioni di interventi, cui si vanno ad aggiungere gli oltre 395.000 del 2019, di cui oltre 145.000 sia per la sostituzione dei serramenti sia per la sostituzione dell'impianto di climatizzazione invernale, oltre 76.000 per l'installazione di schermature solari. Ammontano a circa 3,5 miliardi di euro gli investimenti attivati nel 2019, di cui oltre 1,3 miliardi destinati alla sostituzione dei serramenti e circa un miliardo alla sostituzione dell'impianto di climatizzazione invernale, come si evince dai dati riportati nel Rapporto Annuale Efficienza Energetica 2020 – Enea [6] (vedi tabelle 1.1-3)

**Tabella 1.1 – Interventi eseguiti per tipologia, anni 2014-2019 (Fonte ENEA – RAEE 2020).**

| INTERVENTO                | ANNO 2014-2018   |            | 2019           |            | TOTALE           |            |
|---------------------------|------------------|------------|----------------|------------|------------------|------------|
|                           | N                | %          | N              | %          | N                | %          |
| Condomini                 | 477              | 0,03       | 605            | 0,2        | 1.082            | 0          |
| Riqualificazione globale  | 17.856           | 1          | 2.436          | 0,6        | 20.292           | 0,9        |
| Coibentazione involucro   | 122.058          | 6,9        | 17.237         | 4,4        | 139.295          | 6,4        |
| Sostituzione serramenti   | 921.759          | 51,9       | 145.585        | 36,9       | 1.067.344        | 49,2       |
| Schermature solari        | 278.527          | 15,7       | 76.229         | 19,3       | 354.756          | 16,3       |
| Pannelli solari ACS       | 49.602           | 2,8        | 4.902          | 1,3        | 54.504           | 2,5        |
| Climatizzazione invernale | 378.714          | 21,3       | 145.715        | 36,9       | 524.429          | 24,2       |
| Building automation       | 6.610            | 0,4        | 2.233          | 0,6        | 8.043            | 0,4        |
| <b>TOTALE</b>             | <b>1.775.603</b> | <b>100</b> | <b>395.022</b> | <b>100</b> | <b>2.170.625</b> | <b>100</b> |

**Tabella 1.2 – Investimenti attivati per tipologia, anni 2014-2019 (Fonte ENEA – RAEE 2020).**

| INTERVENTO                | ANNO 2014-2018 |            | 2019            |            | TOTALE           |            |
|---------------------------|----------------|------------|-----------------|------------|------------------|------------|
|                           | M€             | %          | M€              | %          | M€               | %          |
| Condomini                 | 56             | 0,33       | 93,1            | 2,7        | 148,6            | 0,7        |
| Riqualificazione globale  | 1.452          | 8,6        | 231,5           | 6,6        | 1.683,50         | 8,3        |
| Coibentazione involucro   | 4.146          | 24,6       | 666,1           | 19,1       | 4.182,10         | 23,7       |
| Sostituzione serramenti   | 6.713          | 39,9       | 1.304,80        | 37,5       | 8.017,80         | 39,5       |
| Schermature solari        | 573            | 3,4        | 133,7           | 3,8        | 706,7            | 3,5        |
| Pannelli solari ACS       | 315            | 1,9        | 41              | 1,2        | 356              | 1,8        |
| Climatizzazione invernale | 3.525          | 20,9       | 989,2           | 28,4       | 4.514,20         | 22,2       |
| Building automation       | 47             | 0,3        | 23,9            | 0,7        | 70,8             | 0,3        |
| <b>TOTALE</b>             | <b>16.826</b>  | <b>100</b> | <b>3.483,30</b> | <b>100</b> | <b>20.309,70</b> | <b>100</b> |

**Tabella 1.3 – Risparmi conseguiti per tipologia, anni 2014-2019 (Fonte ENEA – RAEE 2020).**

| INTERVENTO                | ANNO 2014-2018  |            | 2019            |            | TOTALE          |            |
|---------------------------|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
|                           | GWh/anno        | %          | GWh/anno        | %          | GWh/anno        | %          |
| Condomini                 | 18,3            | 0,31       | 24,4            | 1,9        | 42,7            | 0,6        |
| Riqualificazione globale  | 427             | 7,3        | 72              | 5,7        | 499             | 7          |
| Coibentazione involucro   | 1.622           | 27,7       | 423,9           | 33,8       | 2.045,90        | 28,8       |
| Sostituzione serramenti   | 2.269           | 38,8       | 287,6           | 22,9       | 2.556,60        | 36         |
| Schermature solari        | 75              | 1,3        | 18,5            | 1,5        | 93,5            | 1,3        |
| Pannelli solari ACS       | 228             | 3,9        | 27,9            | 2,2        | 255,9           | 3,6        |
| Climatizzazione invernale | 1.183           | 20,2       | 394,4           | 31,5       | 1.577,40        | 22,2       |
| Building automation       | 24,3            | 0,4        | 5,2             | 0,4        | 29,5            | 0,4        |
| <b>TOTALE</b>             | <b>5.846,60</b> | <b>100</b> | <b>1.253,90</b> | <b>100</b> | <b>7.100,50</b> | <b>100</b> |

**Tabella 1.4 – Interventi eseguiti per tipologia, 2019 (Fonte ENEA – RAEE 2020).**

| INTERVENTO                | 2019           |            | 2019            |            | TOTALE       |            |
|---------------------------|----------------|------------|-----------------|------------|--------------|------------|
|                           | N              | %          | M€              | %          | GWh/anno     | %          |
| Condomini                 | 605            | 0,1        | 93              | 2,7        | 24,4         | 1,9        |
| Riqualificazione globale  | 2.436          | 0,6        | 231,5           | 6,6        | 72           | 5,7        |
| Coibentazione involucro   | 17.237         | 4,2        | 666,1           | 19,1       | 423,9        | 33,8       |
| Sostituzione serramenti   | 145.585        | 38,7       | 1.304,80        | 37,5       | 287,6        | 22,9       |
| Schermature solari        | 76.229         | 18,8       | 133,7           | 3,8        | 18,5         | 1,5        |
| Pannelli solari ACS       | 4.982          | 1,2        | 41              | 1,2        | 27,9         | 2,2        |
| Climatizzazione invernale | 145.715        | 35,8       | 989,2           | 28,4       | 394,4        | 31,5       |
| Building automation       | 2.233          | 0,5        | 23,9            | 0,7        | 5,2          | 0,4        |
| <b>TOTALE</b>             | <b>395.022</b> | <b>100</b> | <b>3.483,30</b> | <b>100</b> | <b>1.254</b> | <b>100</b> |

La tabella 1.3 riporta nel dettaglio i risparmi energetici ottenuti, secondo le diverse tipologie di intervento previste. Il trend osservato su tutto il periodo è crescente, in aumento rispetto al 2017, con 1.254 GWh/anno ottenuti nel 2019.

Nel periodo 2014-2018 il risparmio energetico supera i 7.100 GWh/anno. I risparmi ottenuti nel 2018 sono associabili in particolare alla sostituzione di serramenti (oltre un terzo del totale) e alla coibentazione di solai e pareti (poco meno del 29%), tipologie di interventi che, insieme alla riduzione del fabbisogno energetico per il riscaldamento dell'intero edificio, risultano essere caratterizzate dal miglior rapporto costo-beneficio (8-12 c€ per kWh risparmiato).

In termini di interventi specifici eseguiti e tecnologie installate nel 2019, circa 1,5 miliardi di euro sono stati destinati alla sostituzione dei serramenti, oltre 420 milioni di euro a interventi su pareti orizzontali e inclinate, e circa 360 milioni a interventi su pareti verticali. Analizzando l'intero periodo 2014-2018, la quota principale delle risorse stanziata ha riguardato la sostituzione di serramenti, seguita dall'installazione di caldaie a condensazione e da interventi sulle pareti orizzontali e verticali.

Quasi il 72% degli investimenti attivati nel 2019 è stato dedicato a edifici costruiti prima degli anni Ottanta; in particolare, circa un quarto delle risorse totali è stato destinato a edifici costruiti negli anni Sessanta. Circa il 28% degli investimenti ha riguardato una costruzione isolata (ad esempio una villetta mono o plurifamiliare), mentre circa due terzi delle risorse ha interessato interventi su edifici in linea e condomini con più di tre piani fuori terra (tabella 1.5).

**Tabella 1.5 – Investimenti effettuati per anno di costruzione e tipologia edilizia, 2019 [7] (Fonte ENEA).**

|                    | NON SPECIFICATO | COSTRUZIONE ISOLATA | EDIFICIO FINO A TRE PIANI | EDIFICIO OLTRE TRE PIANI | ALTRO        | TOTALE [%] | TOTALE [M€]     |
|--------------------|-----------------|---------------------|---------------------------|--------------------------|--------------|------------|-----------------|
| Non specificato    | 40,1            | 30,4                | 22,2                      | 35,2                     | 5,9          | 3,8        | 133,9           |
| <1919              | 3,5             | 69,3                | 58,8                      | 88,5                     | 15,6         | 6,8        | 235,7           |
| 1919-1945          | 3,5             | 67,9                | 48,6                      | 93,3                     | 8,3          | 6,4        | 221,6           |
| 1946-1960          | 9,9             | 173,8               | 97,5                      | 310,6                    | 22,1         | 17,5       | 614,1           |
| 1961-1970          | 13,4            | 216,3               | 126,2                     | 408,3                    | 32,4         | 22,9       | 796,7           |
| 1971-1980          | 10,5            | 184,8               | 140                       | 254,2                    | 42,3         | 18,1       | 631,8           |
| 1981-1990          | 9               | 94,9                | 106,4                     | 109,9                    | 36,3         | 10,2       | 356,5           |
| 1991-2000          | 5,7             | 63,5                | 85                        | 69,1                     | 27,5         | 7,2        | 250,7           |
| 2001-2005          | 2,9             | 21,8                | 34,1                      | 23,9                     | 10,8         | 2,7        | 93,4            |
| >2006              | 4,7             | 49,1                | 50,7                      | 32,9                     | 11,3         | 4,3        | 148,8           |
| <b>TOTALE [%]</b>  | <b>3</b>        | <b>27,9</b>         | <b>22,1</b>               | <b>40,9</b>              | <b>6,1</b>   | <b>100</b> |                 |
| <b>TOTALE [M€]</b> | <b>103,3</b>    | <b>971,7</b>        | <b>769,6</b>              | <b>1.425,90</b>          | <b>212,7</b> |            | <b>3.483,30</b> |

del calore negli impianti termici centralizzati e gli elettrodomestici ad alta efficienza nel caso che siano collegati ad un intervento di ristrutturazione edilizia.

Si è stimato un risparmio energetico conseguito nel 2019 che supera gli 840 GWh. Il contributo principale è apportato dalle pompe di calore e dalle caldaie a condensazione.

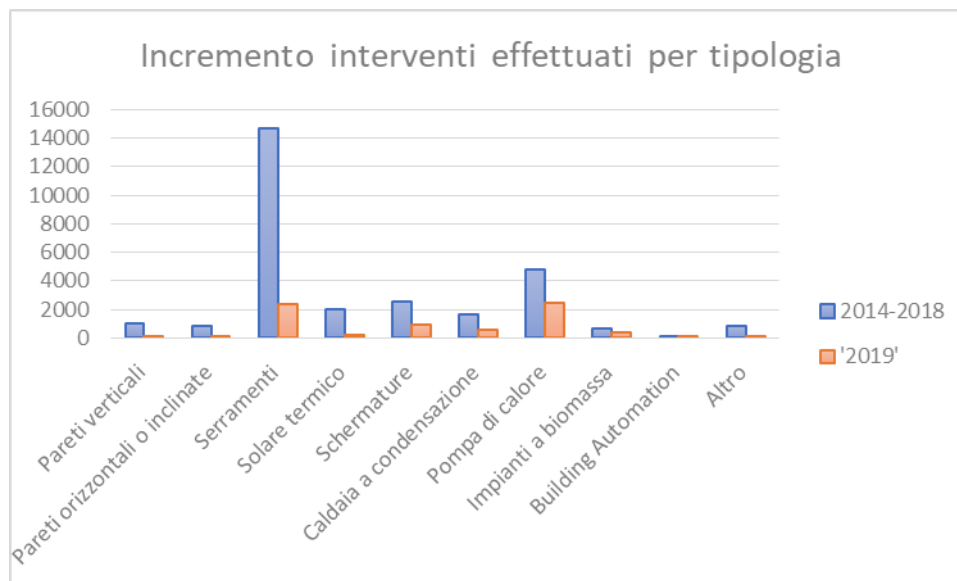
### 1.3 Efficientamento energetico nel settore residenziale a dimensione regionale: risultati raggiunti

Tramite il meccanismo della detrazione fiscale - Ecobonus, nel periodo 2014-2019 sono stati realizzati oltre 36.000 interventi, di cui circa 7.200 del 2019, trend che si dimostra in crescita rispetto al 2018. Tra questi interventi, nello specifico, oltre 17.000 hanno riguardato la sostituzione dei serramenti, oltre 7.000 l'installazione di impianti a pompa di calore, di cui quasi 2.500 nel 2019, con un raddoppio rispetto all'anno precedente, e quasi 3.500 l'installazione di schermature solari [7] (vedi figura 1.1). Si registra una bassissima penetrazione di sistemi di Building Automation, voce che registra appena 58 interventi realizzati complessivamente, di cui 17 nel 2019.

Ammontano a circa 44,2 milioni di euro gli investimenti attivati nel 2019, di cui oltre 14.600 milioni destinati alla sostituzione dei serramenti e oltre 16 milioni per interventi su impianto di climatizzazione, come si evince dai dati riportati in tabella 1.6.

**Tabella 1.6 – Interventi, investimenti e risparmi conseguiti – Regione Sardegna 2014-2019 [7] (Fonte ENEA).**

| ANNO                           | 2014-2018       |                       |                   | 2019            |                       |                   |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|-------------------|
|                                | Interventi<br>n | Risparmio<br>kWh/anno | Investimenti<br>€ | Interventi<br>n | Risparmio<br>kWh/anno | Investimenti<br>€ |
| Pareti verticali               | 24              | 116.894               | 454.729           | 4               | 13.224                | 42.115            |
| Pareti orizzontali e inclinate | 20              | 189.482               | 687.796           | 3               | 11.100                | 58.452            |
| Serramenti                     | 240             | 360.779               | 1.775.493         | 24              | 21.368                | 90.910            |
| Solare termico                 | 41              | 150.374               | 155.557           | 4               | 13.727                | 19.212            |
| Schermature                    | 8               | 2.785                 | 20.890            | 9               | 764                   | 5.727             |
| Caldaia a condensazione        | 39              | 37.664                | 122.297           | 9               | 17.110                | 38.360            |
| Pompa di calore                | 224             | 206.113               | 722.319           | 69              | 41.408                | 156.800           |
| Building automation            | 0               | 0                     | 0                 | 0               | 0                     | 0                 |
| Altro                          | 39              | 49.718                | 195.207           | 16              | 39.728                | 112.145           |
| <b>TOTALE</b>                  | <b>635</b>      | <b>1.113.809</b>      | <b>4.134.288</b>  | <b>138</b>      | <b>158.429</b>        | <b>523.723</b>    |



**Figura 1.1 – Incremento degli interventi eseguiti – Regione Sardegna 2014-2019 [7] (Fonte ENEA).**

Gli investimenti attivati nel 2019 risultano quasi uniformemente distribuiti negli edifici costruiti in epoca moderna, con un picco del 25% per quanto riguarda edifici costruiti nel decennio '70-'80. Le risorse risultano abbastanza uniformemente distribuite anche considerando la tipologia edilizia. (Tabella 1.7).

**Tabella 1.7 – Distribuzione degli investimenti per epoca di costruzione e tipologia edilizia – Regione Sardegna - 2019 (Fonte ENEA – RAEE 2020).**

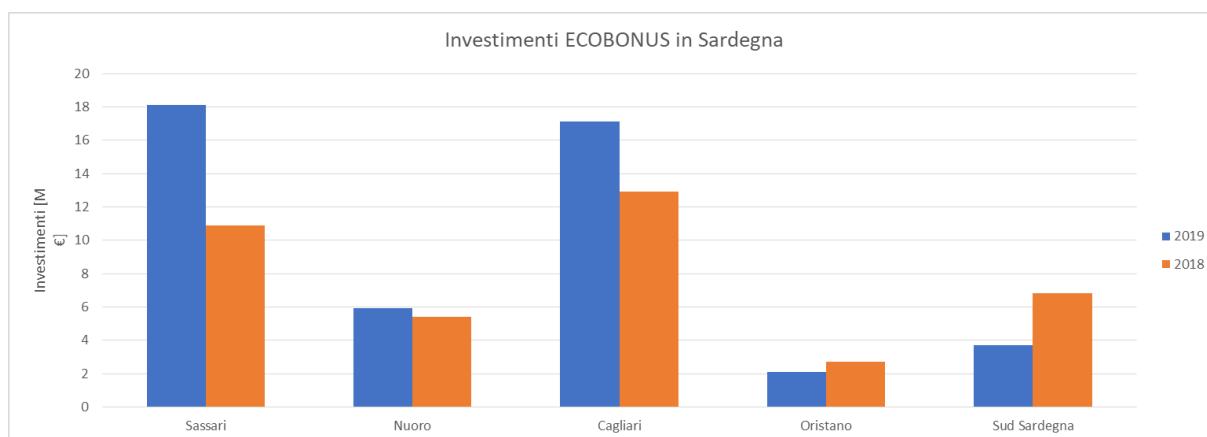
|                    | COSTRUZIONE ISOLATA | EDIFICIO FINO A TRE PIANI | EDIFICIO OLTRE TRE PIANI | ALTRO      | TOTALE [%] | TOTALE [M€] |
|--------------------|---------------------|---------------------------|--------------------------|------------|------------|-------------|
| <1919              | 0,2                 | 0,3                       | 0,2                      | 0,3        | 2,4        | 1           |
| 1919-1945          | 0,4                 | 0,6                       | 0,4                      | 0,1        | 3,6        | 1,5         |
| 1946-1960          | 1,1                 | 1                         | 2,8                      | 0,2        | 11,9       | 5,1         |
| 1961-1970          | 2,4                 | 1,2                       | 4,2                      | 0,1        | 18,6       | 8           |
| 1971-1980          | 2,8                 | 4,6                       | 3,3                      | 0,2        | 25,2       | 10,8        |
| 1981-1990          | 2,9                 | 1,7                       | 1,9                      | 0,2        | 15,5       | 6,6         |
| 1991-2000          | 2,1                 | 1,3                       | 1                        | 0,3        | 10,9       | 4,7         |
| 2001-2005          | 0,8                 | 0,8                       | 0,3                      | 0,1        | 4,7        | 2           |
| >2005              | 1                   | 0,8                       | 0,9                      | 0,4        | 7,2        | 3,1         |
| <b>TOTALE [%]</b>  | <b>32,2</b>         | <b>28,3</b>               | <b>35</b>                | <b>4,5</b> | <b>100</b> |             |
| <b>TOTALE [M€]</b> | <b>13,8</b>         | <b>12,2</b>               | <b>15</b>                | <b>1,9</b> |            | <b>42,9</b> |

Per quanto concerne gli interventi realizzati mediante il Bonus casa, Enea registra nel 2019 quasi 7.000 domande di accesso, principalmente per interventi che anche in questo caso riguardano sostituzione di infissi e installazione/sostituzione di pompe di calore (interventi su impianti di riscaldamento/raffrescamento), come dai dati mostrati in tabella 1.8.

**Tabella 1.8 – Interventi di risparmio energetico tramite Bonus Casa – Regione Sardegna -2019 [7] (Fonte ENEA).**

| Elenco interventi                        | Numero di interventi<br>n | Superficie<br>[mq] | Potenza installata<br>[MW] | Risparmio energetico<br>[MWh/anno] |
|------------------------------------------|---------------------------|--------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Collettori solari                        | 46                        | 676,6              |                            | 634,2                              |
| Infissi                                  | 2.332                     | 9.510,30           |                            | 1.488,10                           |
| Pareti verticali                         | 257                       | 18.491,70          |                            | 994,3                              |
| P.O pavimenti                            | 53                        | 4.138,70           |                            | 165,9                              |
| P.O. coperture                           | 145                       | 12.554,80          |                            | 1.170                              |
| Scaldacqua a pompa di calore             | 159                       |                    | 3                          | 198,7                              |
| Caldaie a condensazione                  | 415                       |                    | 10,6                       | 822,5                              |
| Generatori di aria calda a condensazione | 12                        |                    | 0,3                        | 14,8                               |
| Totale generatori a biomassa             | 813                       |                    | 10,7                       | 2.824,10                           |
| Pompe di calore                          | 2.458                     |                    | 12                         | 4.602,40                           |
| Sistemi ibridi                           | -                         |                    | -                          | -                                  |
| Building automation                      | 25                        |                    |                            | 62,5                               |
| <b>Totale</b>                            | <b>6.175</b>              | <b>45.372</b>      | <b>37</b>                  | <b>12.977</b>                      |

Scendendo alla dimensione provinciale, da un confronto eseguito sugli anni 2018 e 2019 (vedi figura 1.2), si può visualizzare che mentre le province di Cagliari e Sassari, che da sole ospitano circa 2/3 della popolazione regionale, mostrano una crescita negli investimenti per la riqualificazione del patrimonio residenziale, con una fortissima spinta nella provincia di Sassari, mentre viene registrata una forte contrattura nella provincia del Sud Sardegna, dove gli interventi realizzati nel 2019 sono circa la metà rispetto a quelli dell'anno precedente.



**Figura 1.2 – Incremento degli interventi eseguiti a livello provinciale – Regione Sardegna 2018-2019 [7] (Fonte ENEA).**

### 1.3.1 La situazione a Carbonia

Carbonia, situata nella provincia del Sud Sardegna, di cui, insieme ad Iglesias, costituisce il capoluogo, mostra una situazione abbastanza rispecchiante quella della provincia a cui appartiene. Analizzando infatti gli accessi all'*Ecobonus* per interventi di riqualificazione edilizia del patrimonio residenziale (vedi tabella 1.9), si vede che ancora nel 2019, rispetto alle annualità 2014-2018, è presente una crescita costante nel numero di interventi, ma con una contrazione degli investimenti rispetto alla media degli anni precedenti. Anche nel caso di Carbonia, nel 2019 la quota maggiore degli interventi riguarda gli impianti di riscaldamento/raffrescamento (che rispecchiano un bisogno dettato dalla fascia climatica di appartenenza della città). Da notare anche in questo caso una forte quota degli investimenti nei serramenti, a conferma dell'andamento generale sia regionale che nazionale, che prende poco meno di 1/5 del totale.

**Tabella 1.9 – Interventi, investimenti e risparmi conseguiti – Carbonia 2014-2019 (Fonte ENEA).**

| ANNO                           | 2014-2018  |                  |                  | 2019       |                |                |
|--------------------------------|------------|------------------|------------------|------------|----------------|----------------|
|                                | Interventi | Risparmio        | Investimenti     | Interventi | Risparmio      | Investimenti   |
|                                | n          | kWh/anno         | €                | n          | kWh/anno       | €              |
| Pareti verticali               | 24         | 116.894          | 454.729          | 4          | 13.224         | 42.115         |
| Pareti orizzontali e inclinate | 20         | 189.482          | 687.796          | 3          | 11.100         | 58.452         |
| Serramenti                     | 240        | 360.779          | 1.775.493        | 24         | 21.368         | 90.910         |
| Solare termico                 | 41         | 150.374          | 155.557          | 4          | 13.727         | 19.212         |
| Schermature                    | 8          | 2.785            | 20.890           | 9          | 764            | 5.727          |
| Caldaia a condensazione        | 39         | 37.664           | 122.297          | 9          | 17.110         | 38.360         |
| Pompa di calore                | 224        | 206.113          | 722.319          | 69         | 41.408         | 156.800        |
| Building automation            | 0          | 0                | 0                | 0          | 0              | 0              |
| Altro                          | 39         | 49.718           | 195.207          | 16         | 39.728         | 112.145        |
| <b>TOTALE</b>                  | <b>635</b> | <b>1.113.809</b> | <b>4.134.288</b> | <b>138</b> | <b>158.429</b> | <b>523.723</b> |

**Tabella 1.10 – Distribuzione degli investimenti per epoca di costruzione e tipologia edilizia – Carbonia -2019 (Fonte ENEA).**

|                   | COSTRUZIONE ISOLATA | EDIFICIO FINO A TRE PIANI | EDIFICIO OLTRE TRE PIANI | ALTRO         | TOTALE [€]     |
|-------------------|---------------------|---------------------------|--------------------------|---------------|----------------|
| <1919             | 0                   | 0                         | 0                        | 0             | 0              |
| 1919-1945         | 50.106              | 28.352                    | 7.911                    | 0             | 86.369         |
| 1946-1960         | 5.206               | 49.129                    | 0                        | 0             | 54.335         |
| 1961-1970         | 20.049              | 2.300                     | 0                        | 0             | 22.349         |
| 1971-1980         | 43.798              | 8.900                     | 7.760                    | 0             | 60.458         |
| 1981-1990         | 84.839              | 8.840                     | 12.680                   | 36.059        | 142.418        |
| 1991-2000         | 15.598              | 14.520                    | 0                        | 0             | 30.119         |
| 2001-2005         | 36.342              | 5.835                     | 2.900                    | 0             | 45.077         |
| >2005             | 16.907              | 28.398                    | 3.142                    | 0             | 48.447         |
| <b>Totale [€]</b> | <b>272.845</b>      | <b>146.274</b>            | <b>34.393</b>            | <b>36.059</b> | <b>489.571</b> |

Dalla tabella 1.10 si evince che, anche nel caso specifico di Carbonia, la quota maggiore degli investimenti nel 2019 (oltre il 25%) è stata impiegata per interventi che hanno riguardato edificio costruiti negli anni '80, mentre attorno al 20% risulta la quota per la riqualificazione di edifici risalenti alla fase di fondazione. La distinzione per tipologia mostra un forte propensione all'efficientamento nelle costruzioni isolate e negli edifici fino a 3 piani.

Complessivamente, nel periodo 2014-2019 la situazione relativa allo stato di penetrazione dello strumento incentivante è riassunta per tipo di intervento, tipologia e anno di costruzione dell'immobile nella tabella 1.11.

**Tabella 1.11 – Distribuzione degli investimenti per tipo, epoca di costruzione e tipologia edilizia – Carbonia - 2014-2019 (Fonte ENEA).**

|                           | PARETI VERTICALI | PARETI ORIZZONTALI O INCLINATE | INFISSI          | SOLARE TERMICO | SCHERMATURE   | CALDAIE A CONDENSAZIONE | POMPA DI CALORE | BUILDING AUTOMATION | ALTRO          | TOTALE [€]       |
|---------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|----------------|---------------|-------------------------|-----------------|---------------------|----------------|------------------|
| <1919                     | 0                | 0                              | 0                | 0              | 0             | 5.875                   | 3.302           | 0                   | 6.748          | 15.925           |
| 1919-1945                 | 72.131           | 67.002                         | 382.164          | 14.250         | 2.058         | 43.534                  | 154.202         | 0                   | 37.957         | 773.293          |
| 1946-1960                 | 17.428           | 27.199                         | 192.358          | 1.295          | 1.287         | 5.010                   | 59.572          | 0                   | 47.741         | 351.890          |
| 1961-1970                 | 112.495          | 11.648                         | 130.555          | 3.700          | 0             | 5.253                   | 41.832          | 0                   | 7.273          | 312.756          |
| 1971-1980                 | 52.556           | 56.067                         | 241.824          | 38.187         | 7.291         | 22.482                  | 134.249         | 0                   | 56.569         | 609.225          |
| 1981-1990                 | 160.263          | 574.373                        | 368.656          | 56.923         | 634           | 38.022                  | 176.106         | 0                   | 53.209         | 1.428.186        |
| 1991-2000                 | 73.807           | 708                            | 479.321          | 27.625         | 7.514         | 9.849                   | 108.657         | 0                   | 34.868         | 742.349          |
| 2001-2005                 | 0                | 9.251                          | 16.178           | 9.197          | 335           | 8.398                   | 59.090          | 0                   | 25.652         | 128.101          |
| >2005                     | 0                | 0                              | 6.185            | 23.592         | 7.499         | 2.937                   | 103.258         | 0                   | 31.738         | 175.209          |
| <b>TOTALE [€]</b>         | <b>488.680</b>   | <b>746.248</b>                 | <b>1.817.241</b> | <b>174.769</b> | <b>26.618</b> | <b>141.360</b>          | <b>840.268</b>  | <b>0</b>            | <b>301.755</b> | <b>4.536.939</b> |
| Costruzione isolata       | 343.718          | 216.357                        | 1.106.800        | 119.828        | 20.467        | 117.253                 | 397.281         | 0                   | 147.751        | 2.469.455        |
| Edificio fino a tre piani | 78.563           | 93.336                         | 407.382          | 38.216         | 6.151         | 16.826                  | 335.256         | 0                   | 85.319         | 1.061.049        |
| Edificio oltre tre piani  | 49.726           | 13.307                         | 291.435          | 10.700         | 0             | 12.484                  | 113.632         | 0                   | 20.269         | 511.553          |
| Altro                     | 24.837           | 423.247                        | 18.904           | 0              | 0             | 2.156                   | 5.535           | 0                   | 11.637         | 486.316          |
| <b>TOTALE [M€]</b>        | <b>496.844</b>   | <b>746.247</b>                 | <b>1.824.521</b> | <b>168.744</b> | <b>26.618</b> | <b>148.719</b>          | <b>851.704</b>  | <b>0</b>            | <b>264.976</b> | <b>4.528.373</b> |

## 2 Aspetti generali

### 2.1 *Approccio metodologico generale e stato di avanzamento del progetto*

L'attività svolta durante questa annualità è la naturale prosecuzione del quadro teorico e dell'approccio metodologico preliminare delineati nella scorsa annualità tramite lo sviluppo del caso studio della città di Carbonia. Si tratta di una fase di passaggio tra lo studio dello stato dell'arte svolto durante la prima annualità e la stesura di metodologie e protocolli definitivi previsti nella prossima. In questa annualità si sono prima definiti i dettagli della metodologia a livello di algoritmi e strumenti utilizzati e, tramite la sperimentazione, si sono ottenuti preziosi indirizzi per il raffinamento delle procedure e per il proseguo della ricerca.

Seguono quindi una sintesi della metodologia generale alla base del progetto AUREE, e alcuni approfondimenti teorico - metodologici sugli aspetti, sviluppati in questa annualità, basati sul quadro teorico delineato nella annualità precedente.

#### 2.1.1 Approccio metodologico generale

Il progetto AUREE - "Abaco URbano Energetico degli Edifici" è volto allo sviluppo di uno strumento di supporto alla definizione di strategie di efficientamento energetico e recupero del patrimonio edilizio urbano specificatamente sviluppato per contesti di medio – piccola dimensione a clima mediterraneo. Lo strumento sarà strutturato come un portale WebGIS con alcune interfacce sviluppate per condividere la conoscenza sul patrimonio immobiliare e promuovere la partecipazione della cittadinanza al processo di recupero e riqualificazione.

In letteratura sono presenti molteplici linee guida o protocolli di qualità sul tema del recupero del patrimonio edilizio destinato a particolari tipi di edifici o eventualmente anche focalizzato su temi specifici quali l'efficientamento energetico, il restauro e la sostenibilità in senso più ampio [8,9]. Questi sono generalmente documenti sviluppati per un pubblico prettamente tecnico, che spesso per la loro intrinseca specificità hanno difficoltà a diffondersi anche presso gli operatori del settore e sono pressoché sconosciuti ai cittadini non tecnici, che rappresentano generalmente i principali stakeholders dei processi di recupero del patrimonio edilizio.

La mancanza di una conoscenza condivisa tra operatori del settore e attori non tecnici riguardo il patrimonio edilizio è considerata in ambito scientifico uno dei principali fattori limitanti del processo recupero [10]. Le imprese e i professionisti possono non avere l'esperienza necessaria a sfruttare le opportunità delle nuove tecnologie offerte da un mercato ad alto tasso di innovazione, ma anche avere difficoltà a seguire il rapido aggiornamento dei quadri normativi di riferimento. I principali decisori in un intervento di recupero sono tuttavia attori di natura non tecnica (proprietari delle abitazioni, politici per gli edifici della PA, etc) che, nella maggior parte dei casi, non hanno gli strumenti per immaginare le potenzialità del proprio edificio e perciò per fare le domande giuste in sede di studio preliminare dell'intervento.

Inoltre assume sempre più importanza legare la prospettiva dell'intervento sul singolo edificio con le strategie su scala urbana o di quartiere in un'ottica olistica di recupero sostenibile del patrimonio edilizio [11, 12].

Il Progetto AUREE si propone di colmare questo *gap* conoscitivo integrando una lettura del patrimonio per tipi edilizi, generalmente alla base della redazione di linee guida ed abachi, con le capacità di elaborazione, rappresentazione e condivisione delle informazioni spaziali proprie degli strumenti GIS. La finalità del progetto è lo sviluppo e la sperimentazione di uno strumento di supporto ai processi di efficientamento energetico e recupero del patrimonio edilizio urbano basato su un portale (Web – GIS, GeoBlog) che contiene specifiche interfacce volte alla condivisione delle conoscenze sul patrimonio edilizio e alla promozione della partecipazione della comunità locale interessata a vario titolo nel processo.

La metodologia, principalmente pensata per città italiane di media e piccola dimensione, si basa su fonti informative comunemente disponibili nel territorio nazionale come gli OPEN data geografici (GeoDB regionali, Dati ISTAT, etc), la conoscenza del patrimonio edilizio legata alla pianificazione urbana locale e i riferimenti disciplinari tematici (normative tecniche, studi scientifici e letteratura grigia, etc). Tali dati di base possono essere eventualmente integrati con speditive attività di rilievo urbano facilmente compatibili con gli approcci

conoscitivi comunemente utilizzati nell'ambito della redazione dei moderni strumenti urbanistici (PRG, Pianificazione Attuativa, etc).

Il caso di Carbonia, sviluppato per definire e testare la metodologia, per quanto caratterizzato dalla ricchezza di informazione sulla città di fondazione che ne fa un caso ideale, è basato su tipi di dati di base che possono essere considerati comunemente disponibili nel contesto regionale e probabilmente nazionale:

- Una base topografica coerente con gli standard INSPIRE resa disponibile come Open Data dalla Regione Autonoma della Sardegna (RAS) per ogni centro urbano (Data Base GeoTopografico 1: 2000 - DBG1), dal quale si possono ricavare la consistenza del patrimonio e il riferimento spaziale alla base della metodologia;
- La conoscenza sul patrimonio edilizio e sulle regole per la sua modifica, ricavabile dagli strumenti di piano locali (Piano Urbanistico Comunale -PUC e Piano Particolareggiato del Centro Storico - PPCS), per la redazione dei quali la RAS ha emanato delle linee guida abbastanza stringenti, che garantiscono una certa omogeneità nella struttura della conoscenza di sfondo e nella normativa nelle diverse municipalità;
- Gli strumenti interpretativi contenuti nelle normative tecniche a carattere nazionale e la conoscenza sintetizzabile dalla letteratura scientifica;
- Altri Open Data geografici utili a descrivere il contesto (Dati ISTAT, vincolistica regionale, beni paesaggistici, etc).

La metodologia si compone perciò di un protocollo di analisi e di rappresentazione del patrimonio edilizio su base geografica, combinato con uno strumento sviluppato su portale WEB GIS, organizzato in tre sezioni principali che contengono le basi informative del portale e alcune specifiche interfacce (figura 2.1):

- *Patrimonio pubblico*: costituisce uno strumento di supporto alla gestione energetica di qualità dell'edificio rivolto alla PA, ma anche uno strumento per condividere i valori del patrimonio e rendere più trasparente la gestione dell'energia nella PA;
- *Patrimonio residenziale*: contiene la rappresentazione spaziale delle prestazioni energetiche del patrimonio edilizio e punta a coinvolgere direttamente gli occupanti delle unità;
- *Abaco Geografico*: raccoglie e riordina la conoscenza sugli elementi ricorrenti del patrimonio edilizio su base spaziale GIS, favorendone la diffusione anche a un pubblico non tecnico.

Considerando le differenze di valore e di complessità tra gli edifici pubblici e il resto del patrimonio prevalentemente dedicato alla residenza privata, la metodologia prevede due approcci conoscitivi e di rappresentazione differenti.

Nel caso degli edifici pubblici, oltre a una tipizzazione e classificazione volta a esplicitare gli elementi ricorrenti, si propone un protocollo basato su procedure di audit energetico basato sul profilo d'uso reale e su strumenti di monitoraggio tramite sensori (comfort, consumi, gestione impianti). Tale approccio permetterà all'utente generico di consultare una rappresentazione geografica della consistenza del patrimonio dove siano presenti anche informazioni aggiornate periodicamente provenienti dai sensori (trasparenza energetica). Inoltre permetterà di sviluppare delle interfacce su base geografica dedicate ai gestori degli edifici pubblici per supportare le fasi di progetto, realizzazione, monitoraggio e gestione degli interventi sugli edifici pubblici tramite approcci BIM. Lo strumento può essere di supporto ai programmi di efficientamento energetico del patrimonio della PA, che usualmente si scontra con una cronica mancanza di informazioni organizzate ed orientate allo scopo.

Per il patrimonio edificato residenziale, considerando la sostanziale mancanza di dati sulle sue reali condizioni d'uso, si propone un approccio basato sullo studio delle tipologie edilizie e dei suoi elementi ricorrenti (approccio tipologico) accoppiato allo sviluppo di modello energetico alla scala urbana (Urban Building Energy Modelling – UBEM) [13], utile a valutare preliminarmente il potenziale di retrofit del patrimonio edilizio. Sfruttando le capacità di elaborazione tipiche dell'ambiente GIS, si prevede perciò di impostare un UBEM di tipo ingegneristico che adotta un approccio per tipi edilizi capace di calcolare la prestazione energetica di ogni edificio sulla base di:

- geometrie ricavabili per ogni edificio dalla base topografica (superfici disperdenti, volumi, etc);

- caratteristiche tipologiche del sistema edificio-impianto, impostato tramite uno studio basato sul contesto locale, con il quale classificare tutto il patrimonio residenziale;
- una semplificazione degli algoritmi proposti dalla normativa vigente (serie UNI TS 11300, UNI EN ISO 52016:2018).

Si otterranno così delle mappe tematiche inerenti le prestazioni energetiche del patrimonio attraverso le quali gli occupanti delle abitazioni, dopo essersi opportunamente registrati, potranno accedere a una interfaccia specifica. Tali interfacce riporteranno le informazioni dello studio tipologico e i risultati preliminari dell'UBEM, ma chiederanno all'utente di rispondere a un breve questionario inerente il proprio profilo d'uso (presenza, tempo, comfort, etc) che poi verrà utilizzato dal sistema sia per generare dei consigli per interventi di efficientamento specifici sia per modificare le statistiche che stanno alla base dell'UBEM stesso. Il modello energetico così aggiornato dinamicamente, potrà anche essere usato dall'Amministrazione Comunale per impostare strategie e programmi di recupero ed efficientamento a scala urbana o semplicemente come conoscenza di sfondo tematica per la pianificazione particolareggiata.

L'abaco geografico è un data base informativo spaziale di supporto alle altre due sezioni, che raccoglie e riordina la conoscenza sugli elementi ricorrenti del patrimonio edilizio, favorendone la diffusione anche a un pubblico non tecnico e facilitando il collegamento tra domanda e offerta nel settore edilizio. Tramite questa sezione l'utente non tecnico può consultare la mappa delle tipologie edilizie e, attraverso una rappresentazione organizzata per livelli successivi di approfondimento tematico, apprendere le nozioni essenziali inerenti il sistema edificio-impianto e le principali tecnologie di retrofit. Infine, se interessato, potrà direttamente contattare le imprese locali registrate nel portale. Gli operatori del settore potranno perciò registrarsi nel portale compilando una apposita sezione di profilo dove elencare i servizi offerti e inserire eventuali casi di successo locali nell'uso di tecnologie o approcci al progetto innovativi. Se autorizzati dal proprietario, potranno accedere a una scheda riassuntiva delle caratteristiche essenziali dell'edificio e, tramite il portale, potranno sviluppare una conoscenza più approfondita sulla domanda locale in modo da poter calibrare meglio la propria offerta.

A queste sezioni collegate a specifiche interfacce si aggiungono i layer del contesto, che si configurano come un insieme aperto di tematismi, anche non direttamente legati agli aspetti della efficienza energetica, che possono però influenzare le potenzialità di recupero. Non si tratta di una semplice raccolta dei vincoli normativi, ma di una conoscenza di sfondo condivisa tra i decisori e gli operatori del settore per indirizzare verso lo sviluppo di approcci olistici al progetto a scala urbana.

La sperimentazione in un caso studio di eccellenza, ossia estremamente ricco di informazioni sul patrimonio edilizio, permetterà di definire nel dettaglio le procedure e gli strumenti che collegano i diversi contenuti tematici, di affinare la rappresentazione finalizzata alla interazione con gli attori locali attraverso il portale. L'approccio è sviluppato per il tema della efficienza energetica, tuttavia una volta testata la struttura della informazione e lo strumento di comunicazione, grazie alla struttura modulare dell'ambiente GIS sarà possibile integrare su base spaziale anche tematismi di altra natura anche non direttamente legati alla tematica originaria al fine di esplorarne le relazioni.

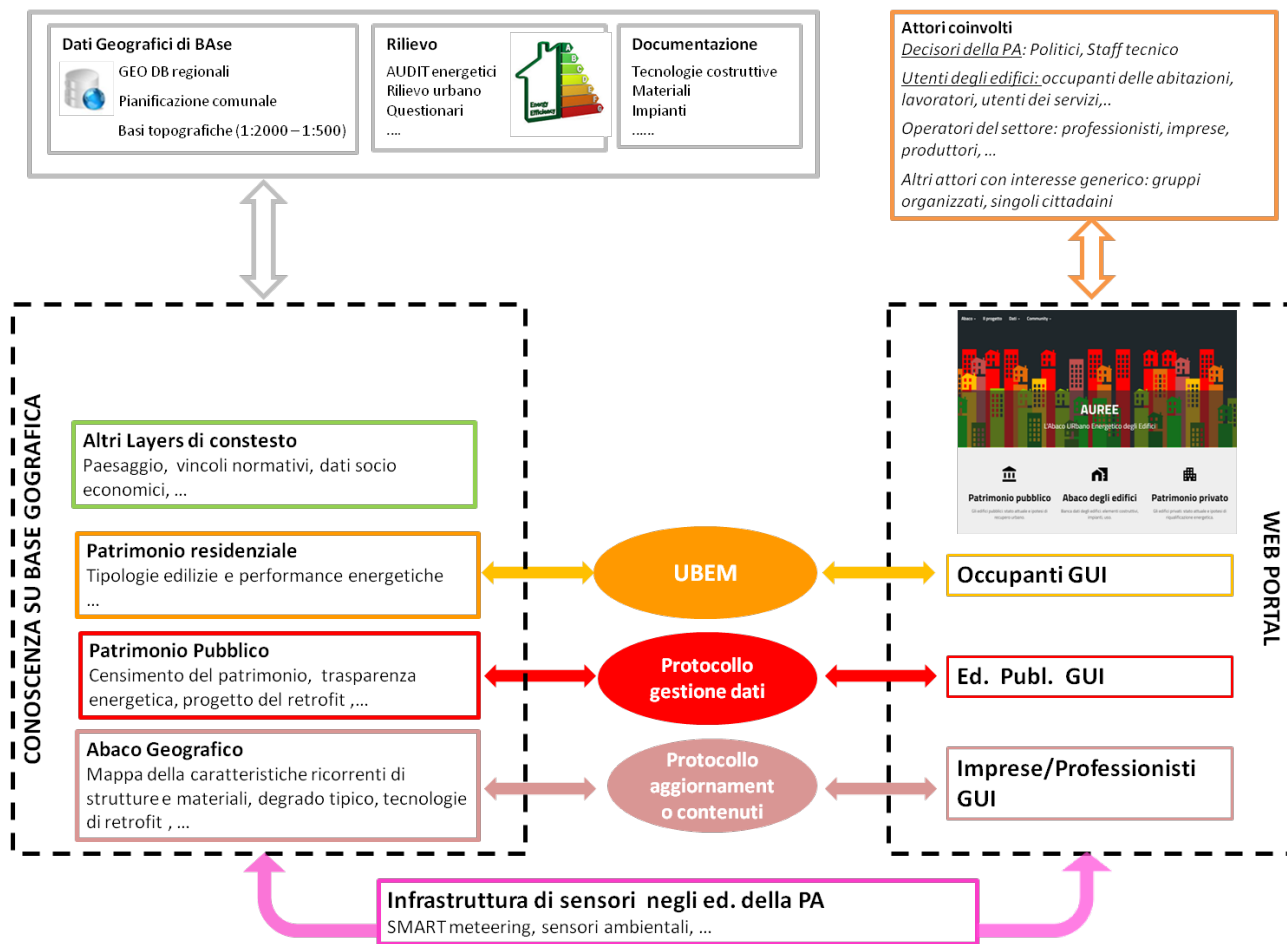


Figura 2.1 - Struttura del progetto AUREE

### 2.1.2 Approccio all'Urban Building Energy Modelling (UBEM)

Il quadro teorico definito nella scorsa annualità ha portato a individuare i punti su cui focalizzare l'attenzione per lo sviluppo di una metodologia di UBEM:

- lo scopo dello studio, che ne implica la scala e il riferimento spaziale e ne determina l'accuratezza e l'articolazione dei risultati richiesti;
- la disponibilità di dati di ingresso e i sistemi di reperimento dati, che condizionano le metodologie di calcolo e determinano principalmente i costi dell'analisi;
- l'algoritmo di calcolo, che cerca di ottenere i risultati attesi con limiti imposti dai dati di ingresso, mantenendo semplicità d'uso e di lettura dei risultati;
- la validazione dei risultati che valuta l'affidabilità della metodologia e l'esportabilità della stessa.

Alcune recenti esperienze di UBEM presentano approcci bottom-up essenzialmente basati su modelli analitico-simulativi integrati con metodi statistici e poi calibrati con i dati di consumo, che possono essere schematizzate delle seguenti fasi logico operative (figura 2.2).

- La fase di preparazione dei dati per il modello (pre-processing), che riguarda il profilo climatico, la geometria del patrimonio edilizio e la definizione dell'approccio tipologico;
- La fase della simulazione energetica, che può utilizzare approcci di calcolo (ingegneristici, statistici o misti) ed essere caratterizzata da diversa complessità;
- La fase di calibrazione e validazione del modello, che riguarda l'utilizzo di diverse tecniche per migliorare e valutare l'attendibilità del modello;
- La fase di utilizzo dei risultati del modello, per rappresentare la conoscenza e supportare nello sviluppo e valutazione di scenari di intervento.

La prima fase è probabilmente quella che richiede più risorse in termini di tempo, e che è fortemente legata ai dati disponibili nel contesto di studio. Le criticità riguardano principalmente l'affidabilità e la disponibilità dei dati base (clima, geometrie, ipotesi tipologiche, etc) e la quantità di risorse necessarie per eventuali campagne di rilievo e per il trattamento dei dati.

La fase di modellazione energetica+ può essere basata su modelli che effettuano i calcoli analitici per ogni edificio o che utilizzano delle simulazioni per tipo o campioni di edifici e poi li generalizzano per tutto il contesto con metodi statistici. Le criticità di questa fase è l'equilibrio tra la ricerca dell'affidabilità e precisione dei risultati del modello e la trasparenza delle procedure ed il carico computazionale nell'ambito delle finalità del modello e delle risorse disponibili.

La fase di validazione e calibrazione del modello, su cui i recenti approcci fanno forte affidamento per migliorare tramite, approcci statistici – inferenziali, l'affidabilità del modello energetico, si scontra con la necessità di avere una quantità sufficiente di dati di consumo reali su cui basare lo studio. Nei casi più diffusi i dati derivano dai dati di fatturazione (più o meno aggregati spazialmente) dei sistemi a rete comunali (teleriscaldamento, reti del gas, etc), ma in alcuni casi si sviluppano campagne di rilievo specifiche che devono però riguardare un campione abbastanza significativo del contesto analizzato.

## Urban Buildings Energy Model (UBEM)

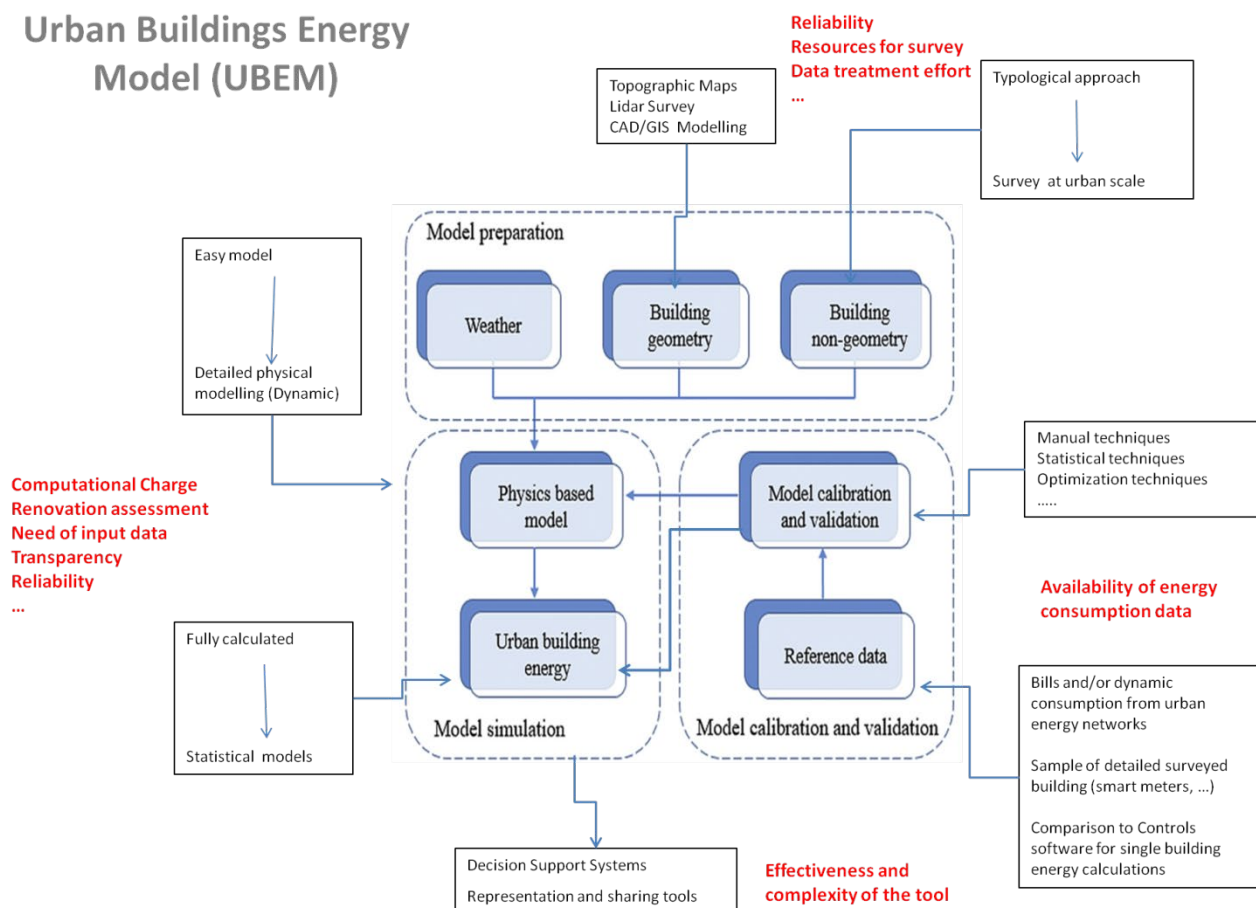


Figura 2.2 – Schema generale di un UBEM

### 2.1.2.1 Obiettivo e scelta del modello energetico

L'obiettivo della ricerca è definire una metodologia di studio e sperimentare uno strumento per supportare il processo di recupero ed efficientamento del patrimonio edilizio tramite un approccio multi scala, che integra la prospettiva del singolo edificio con quella urbana e di quartiere, in un'ottica partecipativa adattata a contesti di piccola o media dimensione, caratterizzati da limitato accesso a risorse economiche e umane. Lo scopo è impostare delle metodologie costituendo un patrimonio conoscitivo accettato su base locale, utile anche alla comparazione tra diversi casi applicativi e alla condivisione di buone pratiche. Aspetto centrale della ricerca è quindi lo sviluppo di un quadro di conoscenze condivisibile con gli attori locali coinvolti nel processo di

efficientamento e recupero del patrimonio edilizio, che sono notoriamente caratterizzati da estrazioni culturali molto differenti: decisori e tecnici della PA, operatori del settore (professionisti, imprese, fornitori, etc), proprietari delle abitazioni, gruppi di interesse.

Il quadro normativo nazionale per la valutazione delle performance energetiche degli edifici può essere un riferimento culturale condiviso tra gli attori del processo, in quanto utilizzato correntemente dagli operatori del settore, ma anche dagli utilizzatori degli edifici.

Coerentemente con lo stato dell'arte si propone lo sviluppo di un approccio basato sulla esplicitazione degli elementi ricorrenti del patrimonio edilizio e sulla individuazione di profili d'uso tipo, che possono indirizzare verso interventi di retrofitting standard e altamente ripetibili a carattere locale e su un semplice modello energetico basato sul metodo di calcolo della normativa vigente (serie UNI 11300).

#### 2.1.2.2 Reperibilità dei dati di base

Per definire al meglio sia l'approccio generale sia anche gli algoritmi specifici, è centrale definire quali siano i dati di base utilizzabili per lo sviluppo dell'UBEM. A tal fine, si è analizzato nello scorso anno l'ambito di studio di Carbonia, preso come caso esemplificativo degli OPEN Data disponibili nel contesto sardo (tabella 2.1), individuando come principale debolezza la scarsità di dati sulla diffusione dei sistemi impiantistici con i loro profilo d'uso e la sostanziale mancanza di dati sui consumi reali del patrimonio edilizio riferiti a contesti di scala urbana o sub urbana.

Il dato climatico può essere desunto dalla normativa e le geometrie possono essere ricavate dalla base topografiche con precisione sufficiente (City Box Model – LoD 1).

Combinando la conoscenza esperta dei luoghi con la documentazione disponibile negli strumenti urbanistici locali, si possono impostare studi tipologici piuttosto dettagliati sulle tipologie architettoniche presenti.

**Tabella 2.1. Schema delle fonti dei dati di base della modellazione**

| DATI DI BASE                             | POSSIBILE FONTE                                                     |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Clima locale                             | Normativa                                                           |
| Dati geometrici                          | Base topografica 1:2000 dei centri urbani (DBGT RAS)                |
|                                          | Mappa urbana catastale                                              |
| Approccio tipologico: strutture edilizia | Documentazione pianificazione locale;<br>Conoscenza esperti locali; |
|                                          | Abachi della normativa; Dati ISTAT                                  |
| Approccio tipologico: impianti           | Dati ISTAT                                                          |
| Approccio tipologico: profili d'uso      | Dati ISTAT;                                                         |
| Approccio tipologico: consumi            | Dati scala regionale                                                |

Per cercare di colmare tale mancanza di dati base e per raffinare quelli esistenti, si è cercato di acquisire altre fonti informative pubbliche, che però non garantiscono ancora un accesso facilitato alla informazione classificabile come Open Data.

Tali dati sono stati oggetto di richiesta ai seguenti enti:

- Regione Autonoma Sardegna (RAS): Catasto Energetico, Catasto Impianti, statistiche su base comunale dei consumi elettrici e consumi di prodotti petroliferi;
- ENEA: statistiche su base comunale per Interventi di efficientamento energetico;

- GSE: DB geografico degli interventi di installazione di impianti FER;
- Comune di Carbonia: basi vettoriali degli strumenti di piano, documentazione sui piani di lottizzazione accesso al DB Catastale,
- ISTAT: elaborazione specifica dei Microdati del CPA 2001 -11.

Purtroppo, a causa delle attuali difficoltà generate dalla situazione pandemica, molti dati non sono stati resi disponibili nei tempi. La situazione delle richieste per l'acquisizione dei dati è riassunta in tabella 2.2 seguente.

**Tabella 2.2. Situazione richiesta e disponibilità dati necessari per completare il quadro della conoscenza.**

| DATO                                                 | DESCRIZIONE                                                                                                                                            | FINALITA'                                                                                                            |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Micro dati CPA 2011 (ISTAT) [14]                     | L'ISTAT permette di richiedere elaborazioni personalizzate sui dati delle sezioni censuarie (CPA 2011) non presenti nei dati diffusi in maniera aperta | Statistiche su impianti e tipo d'uso dell'edificio riferito alla sezione censuaria (anno 2011)                       |
| Catasto Energetico (RAS) [15]                        | La Regione Sardegna raccoglie le APE nel Catasto Energetico e sta sviluppando un sistema per l'interrogazione dei dati (SIRA)                          | Statistiche su impianti e prestazioni energetiche a livello comunale, e se possibile, anche riferite all'edificio    |
| Catasto Impianti (RAS – Provincia) [16]              | La Regione Sardegna raccoglie su base provinciale i dati sugli impianti termici e sta sviluppando un sistema per l'interrogazione dei dati (SIRA)      | Statistiche su impianti a livello comunale, e se possibile, anche riferite all'edificio                              |
| Interventi di efficientamento energetico (ENEA)      | Si richiede di accedere ai dati di base utilizzati dall'ENEA per la redazione dei rapporti periodici                                                   | Statistiche interventi di efficientamento energetico a livello comunale, e se possibile, anche riferite all'edificio |
| Installazione di impianti FER (GSE)                  | Si richiede di accedere ai dati di base utilizzati dall'GSE per la redazione dei rapporti periodici e per ATLA Impianti                                | Statistiche su impianti FER a livello comunale, e se possibile, anche riferite all'edificio                          |
| Consumi Elettrici (TERNA – RAS) [17]                 | L'Amministrazione Comunale può richiedere tali dati per motivazione di pianificazione energetica, La RAS sta sviluppando la piattaforma SIRA [18]      | Statistiche per la validazione del modello                                                                           |
| Consumi di prodotti petroliferi RAS                  | L'amministrazione comunale può richiedere tali dati per motivazione di pianificazione energetica, La RAS sta sviluppando la piattaforma SIRA [19]      | Statistiche per la validazione del modello                                                                           |
| Nuovo Catasto Edilizio Urbano (RAS Comune) [19]      | I comuni, tramite un servizio messo a disposizione della RAS, possono accedere al DB catastale per le finalità proprie                                 | Numero e destinazione d'uso delle unità immobiliari interne agli edifici.<br>Individuazione degli edifici            |
| Doc. Cartografica (PUC e PPCS in formato vettoriale) | Il formato diffuso (PDF) dalla amministrazione comunale non è adatto alle analisi spaziali utili alla tipizzazione del patrimonio                      | Dato cartografico utile per analisi spaziali                                                                         |
| Piani di lottizzazione (Comune)                      | Contengono informazioni tipologiche e tecnico costruttive delle aree di espansione pianificate                                                         | Utile al riconoscimento delle tipologie ricorrenti di strutture edilizie                                             |

La RAS sta sviluppando dei sistemi per la diffusione di alcune delle informazioni richieste (catasto impianti, catasto energetico, etc), tuttavia tali servizi non sono ancora attivi e al momento della richiesta gli uffici non sono risultati ancora attivi per produrre in tempi brevi delle statistiche riferite allo specifico comune.

ENEA ha fornito le statistiche degli interventi di efficientamento energetico per il comune di Carbonia, che sono presentate in un paragrafo dedicato. Per quanto queste siano sicuramente significative delle tendenze in atto, non mostrano valori direttamente confrontabili con altre fonti di dati locali e sono rappresentative di una quota piuttosto limitata del patrimonio edilizio locale: la parte delle abitazioni per le quali sono stati richiesti gli incentivi fiscali per un intervento di efficientamento (circa il 7% del totale).

Per quanto riguarda le richieste al GSE riguardo le installazioni di impianti FER, dal portale dedicato GSE è possibile estrarre i dati col dettaglio del singolo edificio o per gruppi, tuttavia tali procedure sono manuali e non contengono l'informazione geografica. In aggiunta, le richieste di accesso ai dati base non hanno avuto risposta.

Gli uffici tecnici comunali di Carbonia hanno collaborato fornendo le basi vettoriali degli strumenti di piano, ma non è stato concesso l'accesso agli archivi, necessario allo studio dei piani di lottizzazione locali, per motivi di sicurezza (normativa anti COVID. Inoltre l'apposita convenzione con il servizio che permette loro la piena consultazione del DB Catastale non risulta al momento attuale ancora attiva. Tuttavia a fine 2020 la Mappa Urbana Catastale è stata rilasciata come Open Data tramite appositi servizi web, ma ancora non è permesso l'accesso al DB Catastale delle unità immobiliari.

L'ISTAT permette di richiedere elaborazioni personalizzate sui dati delle sezioni censuarie (CPA 2011) non presenti nei dati diffusi in maniera aperta. In particolare si possono sviluppare delle nuove variabili a partire dai dati elementari del censimento, ossia dai questionari compilati dai cittadini mantenendo il riferimento spaziale della sezione censuaria. I primi contatti con gli Uffici ISTAT hanno permesso di impostare alcune variabili, che possono essere utili per studiare le tipologie di impianti presenti con un buon dettaglio spaziale per poterlo legare coi tipi edilizi o con il profilo della popolazione residente. Per vedere l'elenco completo delle variabili richieste si rimanda all'allegato (Allegato 3 – Ricerca dati ISTAT).

In sintesi, si sono sfruttate le risposte del questionario ISTAT per identificare le relazioni tra tipologie di impianti ed il tipo di combustibile utilizzato per riscaldamento e per la produzione di ACS e per indagare sulla presenza di: pompe di calore per il rinfrescamento, FER, Biomasse. Per identificare un profilo degli occupanti utile a valutare la propensione all'investimento si sono incrociati il titolo di occupazione delle abitazioni col tipo di impianti. Più nello specifico le variabili che sono state combinate per esplorarne le relazioni, con le rispettive classi di valore sono:

- Tipo di impianto: autonomo, centralizzato, singolo fisso per tutta l'abitazione, singolo fisso per parte dell'abitazione;
- Tipo combustibile: gas naturale, gasolio, GPL, combustibile solido, olio combustibile, elettricità, altra energia;
- Anno di costruzione: ante 1919, 1919 -1946, ..., 2001-2011;
- Profilo d'uso: affitto, proprietà privata, proprietà impresa, etc.

Tuttavia l'emergenza COVID ha sospeso tale servizio dell'ente statistico italiano, durante la prossima annualità si reitererà la richiesta, in quanto i dati riferiti alla sezione censuaria possono essere la chiave per ricavare delle statistiche su impianti e profili d'uso. Si fa poi notare che il Censimento Popolazione e delle Abitazioni sta passando dalla modalità tradizionale attuata tramite questionari ogni 10 anni (di cui l'ultimo è stato il 2011) a una modalità dinamica, basata su rilevazioni continue a campione, che ne cambierà anche le modalità di fruizione dei risultati. Inoltre ISTAT ha recentemente lanciato l'indagine sui consumi energetici del 2021 [20].

#### **2.1.2.3 Struttura dell'UBEM**

La struttura dell'UBEM si è dovuta adattare alla mancanza di dati, alle restrizioni attuali per le attività di indagine presso uffici e rilievo sul posto e al ruolo del modello all'interno della metodologia generale (figura 2.3). Il modello ha in realtà un duplice ruolo: la finalità tipica di questi strumenti di stimare il fabbisogno energetico del patrimonio edilizio e supportare nella definizione di possibili scenari di retrofit, e quella specifica di questo progetto, dove costituisce la base informativa per l'interazione con il proprietario dell'unità immobiliare. La mancanza di dati di consumo su cui effettuare una vera e propria calibrazione del modello aumentandone l'affidabilità, sposta l'obiettivo dalla stima del fabbisogno a un calcolo di prestazione basato su ipotesi tipologiche, utile più a fini conoscitivi e di valutazione del potenziale del retrofit energetico, che per un vero e proprio calcolo della domanda energetica. Per altro, visto lo scopo generale della metodologia, risulta preponderante l'interazione con l'occupante delle abitazioni, il quale può fornire, tramite un semplice questionario fornito sul sito di Auree, alcune informazioni per raffinare il calcolo di prestazione effettuato per tipo con dati specifica unità immobiliare. L'idea è quindi di utilizzare le geometrie e lo studio delle tipologie architettoniche locali per calcolare le prestazioni dell'involucro edilizio alla scala del singolo edificio, utilizzando i profili d'uso standard della normativa e le combinazioni impiantistiche più diffuse nel contesto.

Questi risultati saranno le informazioni tipo presenti nella interfaccia dell'occupante, che potrà poi cambiarle fornendo dati sulla sua specifica abitazione (superficie, impianti, profilo d'uso, presenza, etc), che modificheranno ovviamente i parametri prestazionali.

Il risultato del calcolo del fabbisogno netto dell'involucro per ogni edificio sarà poi aggregato per sezione censuaria, dove, unitamente ai dati ISTAT e alle statistiche derivanti dalle interazioni stesse degli occupanti gli edifici col portale, si calcoleranno il fabbisogno energetico e la domanda del comparto. La sezione censuaria ISTAT è infatti spesso utilizzata per riassumerne con indici e quantità medie i risultati di modelli urbani, anche sviluppati a scala di maggiore dettaglio, per alcune motivazioni principali:

- molti dati di ingresso sono noti al massimo a quella scala (demografia, attività, etc);
- possono essere una scala spaziale a cui aggregare dati eventualmente noti per ogni singola abitazione per la tutela della privacy;
- in ambito urbano coincidono spesso con gli isolati e perciò sono la scala ideale per produrre indici ed indicatori tematici confronta con altre variabili censuarie;
- sono spesso utilizzate come base geografica per lo sviluppo metodi statistici per la stima del fabbisogno o per la calibrazione e validazione dei modelli.

La struttura proposta ha perciò una configurazione non ancora definitiva, specialmente per quanto riguarda gli algoritmi dedicati alla determinazione del fabbisogno energetico di quartiere, in quanto dipenderanno molto dalla ricchezza dei dati che si riusciranno a raccogliere tramite il portale e dalla possibilità di accedere ad alcune fonti informative pubbliche. Tuttavia la metodologia proposta è già in grado di supportare completamente l'interazione con l'occupante e di produrre statistiche e valori descrittivi del contesto di supporto all'abaco geografico, che costituiscono la finalità principale della metodologia proposta.

La validazione e calibrazione dell'UBEM rimarrà probabilmente il punto di maggiore differenza tra il modello di UBEM mutuato dalla letteratura e quello proposto. La mancanza di veri e propri dati rilevati sui consumi non permette di impostare delle procedure di calibrazione attendibili. Tramite il portale si chiederà agli occupanti di fornire un importo stimato annuo per i diversi vettori energetici, tuttavia la bontà in termini di attendibilità, di numerosità e distribuzione spaziale di tale dato dovrà essere tutta verificata durante la prossima annualità. In ogni caso durante la prossima annualità si effettueranno degli studi di sensitività sui dati input del modello e dei confronti tra i risultati del modello e quelli ottenuti da software certificati per il calcolo di normativa in modalità semi – stazionario e oraria su edifici tipo e casi reali. Ciò servirà per valutare l'attendibilità generale delle stime effettuate tramite la procedura GIS e il portale, ed eventualmente di sviluppare una procedura per una stima più accurata della domanda energetica alla scala urbana, nonché per la simulazione degli scenari della interfaccia proprietario.

In sintesi, la metodologia proposta in questo report permette di supportare pienamente l'interfaccia proprietario con l'interazione col portale e di rappresentare su base spaziale il quadro delle conoscenze sviluppato con lo studio tipologico e le performance del patrimonio edilizio, che sono la principale finalità della ricerca. Nella prossima annualità, sulla base dei dati che si riusciranno a raccogliere, si proverà a definire una procedura per una stima più accurata della domanda energetica urbana.

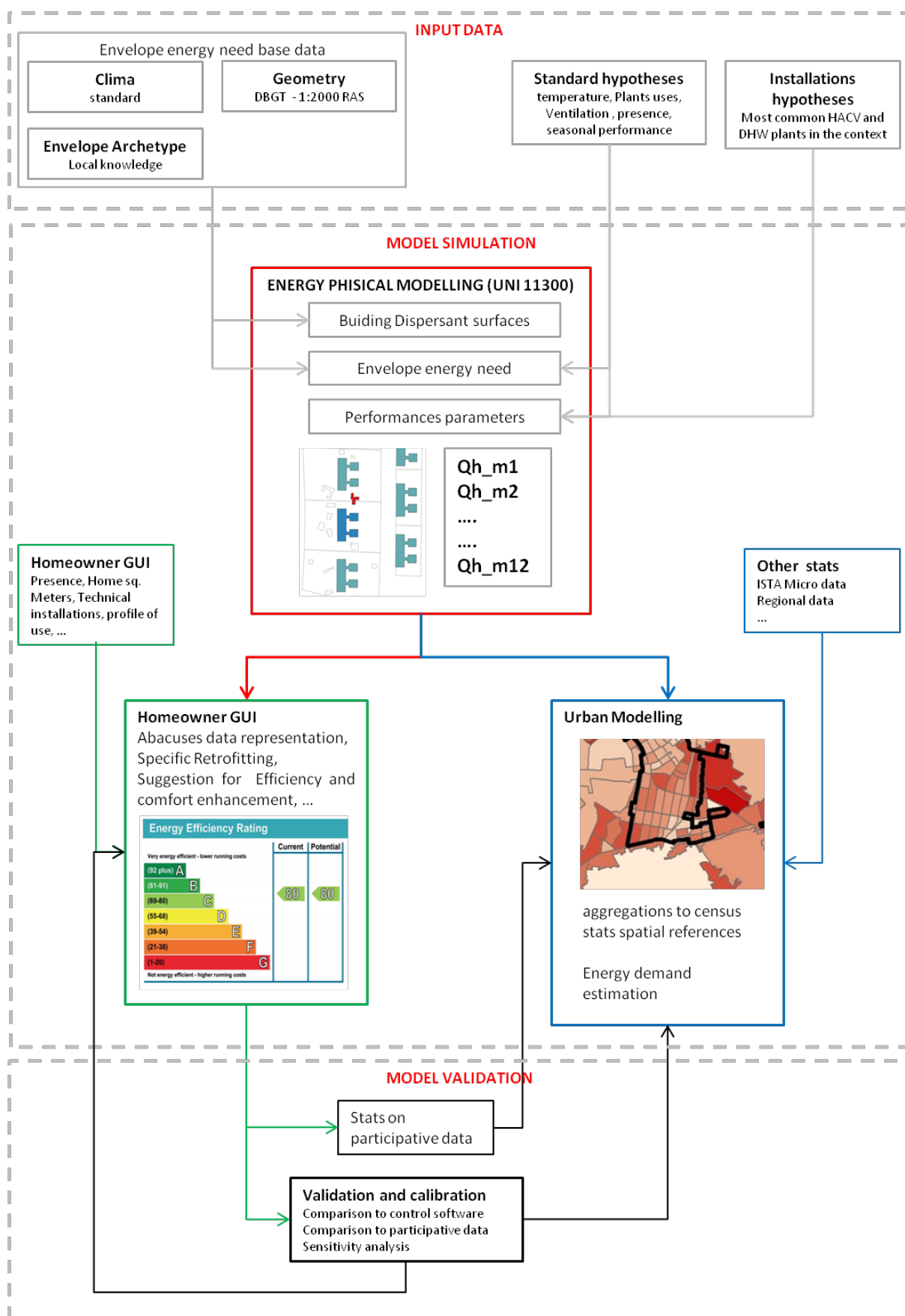


Figura 2.3 – Schema di UBEM adottato

### 3 Descrizione della metodologia proposta

In questa sezione sono presentati i dettagli della metodologia e degli strumenti sviluppati durante questa annualità, il cui oggetto di studio è rappresentato dalla definizione e sperimentazione di una metodologia di analisi e rappresentazione del patrimonio edilizio residenziale tramite il Caso studio di Carbonia. Ai fini del presente lavoro, tale attività è principalmente riferita allo sviluppo dell'UBEM per la rappresentazione delle prestazioni energetiche del patrimonio residenziale e di tutte le attività preparatorie e di interpretazione dei risultati ad esse collegate.

Si tratta di una fase di passaggio, nello sviluppo del progetto di ricerca, volta a testare la prima versione della metodologia sviluppata, applicando gli approcci delineati nello stato dell'arte alle specifiche condizioni del contesto sardo e/o del caso studio specifico. Considerando che la ricerca non comprende solo la definizione di algoritmi analitici, ma anche di procedure aventi carattere più interpretativo, lo sviluppo del caso studio non è solo una sperimentazione di una metodologia definita a priori, ma contribuisce al raffinamento e alla calibrazione della stessa. Si precisa quindi che gli algoritmi e le metodologie di seguito presentati hanno un carattere non definitivo: essi presentano in parte le ipotesi della fase iniziale della attività e in parte gli adattamenti effettuati nello sviluppo del caso studio. I risultati del caso studio hanno poi evidenziato alcuni passaggi di dettaglio, che richiedono un raffinamento della metodologia sviluppata e degli strumenti utilizzati. Si tratta perciò di un documento di passaggio e non già del protocollo finale della metodologia del progetto Auree: essa da una parte dovrà avere un taglio più generale possibile per essere esportabile in altri contesti per lo meno regionali, e dall'altra dovrà specificare meglio alcuni passaggi.

I risultati di questo lavoro hanno evidenziato delle criticità che richiederanno modifiche e adattamenti, inoltre dovranno coordinarsi con i risultati delle attività della prossima annualità che prevedono:

- la validazione del modello in un contesto reale di calcolo;
- il test della interazione tra il modello energetico e il contributo partecipativo ottenuto tramite il portale,
- l'aggiornamento dell'approccio tipologico con l'eventuale ampliamento a tutto il centro urbano.

In questa sezione si riporta il dettaglio degli algoritmi sviluppati in ambito GIS per eseguire le modellazioni energetiche alla base dell'UBEM. Come già accennato, si tratta di un approccio analitico basato su un adattamento della normativa vigente (serie UNI EN 11300-TS), che si compone di una fase di raccolta e preparazione dei dati di base (pre-processing), avente un carattere meno strutturato, e della fase di modellazione energetica, che, al contrario, ha un carattere analitico procedurale più definito.

Questo lavoro fa prevalentemente riferimento all'apparato normativo vigente durante lo svolgimento dello studio (UNI/TS 11300 parti 1 e 2: 20014 -19; parte 3: 2012), tuttavia l'algoritmo sviluppato presenta alcune peculiarità che sono esplicitate nel seguito.

Il paragrafo seguente presenta brevemente l'articolazione generale del tool GIS sviluppato e nei paragrafi successivi si prosegue con l'illustrazione più dettagliata delle sue fasi logiche di esecuzione:

- *Ipotesi semplificative e cenni alla modellazione energetica standard;*
- *Preprocessing*, avente lo scopo di preparare i dati di base per effettuare il calcolo della prestazione energetica (dati spaziali, archetipi, prospetti della normativa);
- *Modellazione geometrica;*
- *La modellazione energetica*, dove si eseguono i calcoli standard implementati nello strumento GIS.

Conclude questa sezione metodologica dedicata allo sviluppo del UBEM, la presentazione dell'approccio metodologico di un lavoro preliminare di validazione della metodologia applicata ad alcuni edifici ideali. Lo scopo di questa breve validazione è quello di individuare quali possano essere i fattori del calcolo che necessitano di un approfondimento, in quanto presentano risultati maggiormente discordanti rispetto ad alcuni software di controllo che adottano procedure già validate e ampiamente utilizzate.

#### 3.1 Struttura generale del tool GIS

Per supportare lo svolgimento delle procedure di calcolo della normativa è stato implementato, in ambiente Graphical Modeler QGIS 3-14, l'*Urban Building Energy Performance* toolbox (UBEP\_11300) (figura 3.1)

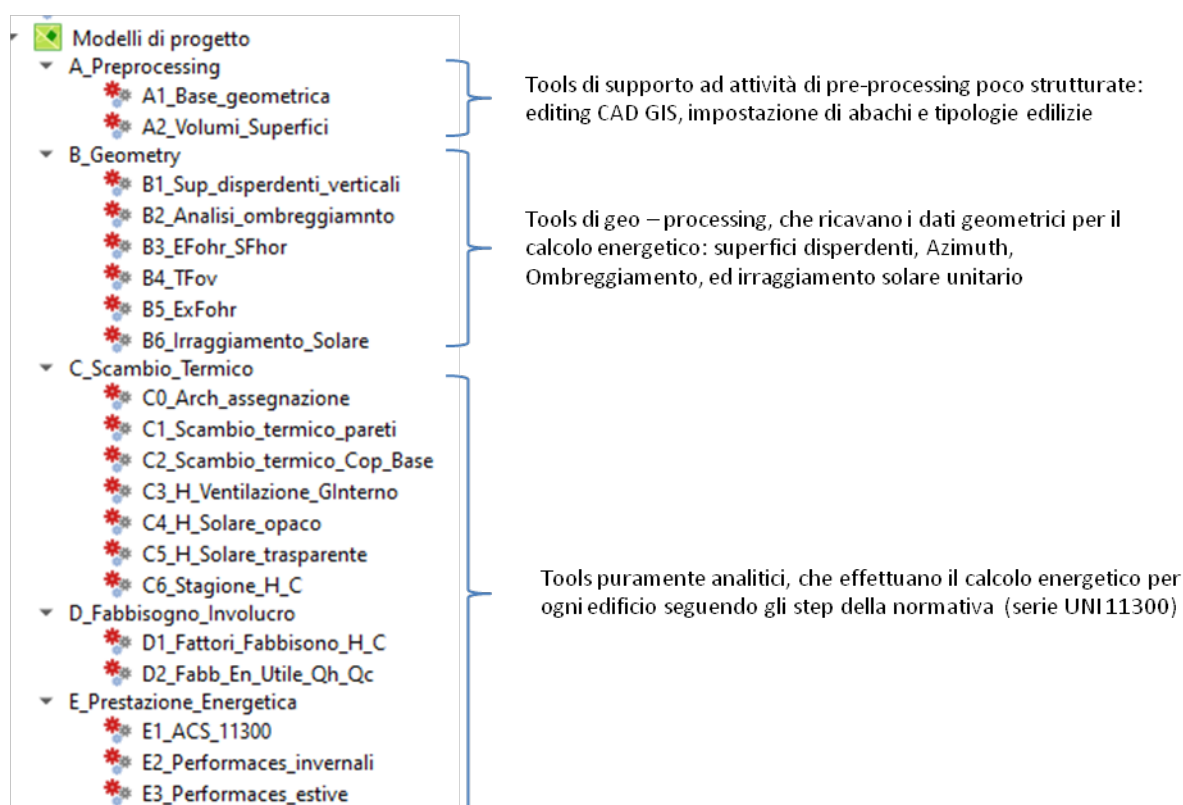
strutturato in cinque toolsets (B – C – D – E), che seguono gli step logici del calcolo standard della UNI/TS 11300. A questi si aggiunge il toolset A, che è invece dedicato a supportare le attività di pre -processing per la preparazione dei dati di input del modello energetico.

Il toolbox mantiene una struttura aperta e flessibile a modifiche che possono essere necessarie per adattarsi ai dati base o per sviluppare altre analisi spaziali. Ogni step del calcolo prevede specifici risultati intermedi che vengono salvati, in modo da poter essere controllati ed eventualmente riutilizzati per altre analisi o per la semplice visualizzazione e comunicazione.

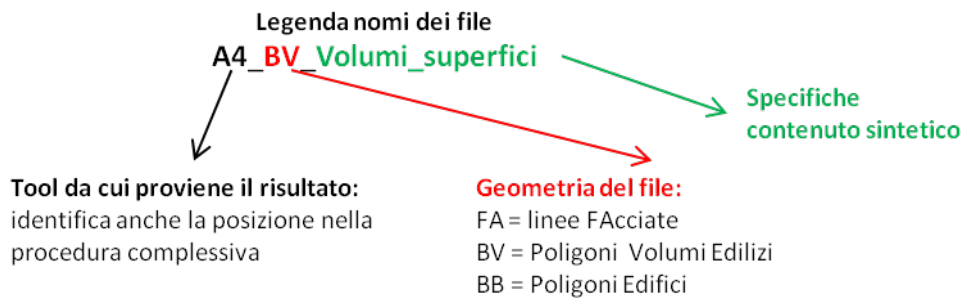
Le procedure dell'UBEP\_11300 sono una composizione di basilari operazioni di geo - processing (spatial join, buffer, modifica di elementi geometrici vettoriali, etc) e comuni operazioni di interrogazione e modifica dei DB (selezione, calcoli per colonna, calcoli per righe, data join, etc), eseguibili anche al di fuori dell'ambiente GIS.

La metodologia può, perciò, essere facilmente implementata anche in altri ambienti GIS o con altri strumenti di calcolo: a tal fine questo documento spiega le procedure GIS più complesse e riporta le formule utilizzate per la modellazione energetica, ritenendo le operazioni di base un background tecnico già posseduto dal lettore. Per i dettagli dei codici, sui contenuti delle tabelle, e delle procedure implementate sul modellatore grafico (QGIS 3.14), si rimanda al DB geografico allegato al presente documento (Allegato 1 – DB Geografico).

In figura 3.2 è riportata la notazione che si utilizza in questo documento per nominare i file geografici di input e output delle procedure sviluppate (figura 3.2), e che può essere di aiuto per esplorare i contenuti del DB geografico allegato. Le procedure di calcolo della normativa sono comunque riassunte per sottolineare le differenze e le criticità con la metodologia proposta (per un riferimento completo alla normativa si rimanda al loro testo ufficiale).



**Figura 3.1 – Albero dei tools sviluppati in ambiente Graphical Modeler di QGIS 3.14**



**Figura 3.2 - Spiegazione della notazione degli elementi coinvolti nella procedura**

La fase di pre - processing prevede alcune attività non strutturate come la preparazione dei dati geografici di base tramite attività CAD- GIS e il rilievo e studio dei dati del contesto per l'impostazione dell'approccio tipologico.

I tool A1 e A2 supportano nella creazione della base geometrica dell'UBEM e nel calcolo dei volumi e delle superfici lorde dei corpi di fabbrica.

Il toolset B ricava per ogni edificio dell'area di studio i dati geometrici dell'involucro edilizio necessari a eseguire il calcolo della normativa, ossia superficie, orientamento, inclinazione, angoli, fattori di ombreggiamento e irraggiamento unitario di ogni facciata, volume lordo e riscaldato e superficie utili di ogni edificio, caratteristiche geometriche delle coperture e della chiusura di base.

Dopo ciò la procedura non effettua più analisi di tipo spaziale e si limita a eseguire le fasi di calcolo della normativa per ottenere il fattore di utilizzo degli apporti di calore invernale e il fattore di utilizzo delle dispersioni di calore estive, che concorrono alla definizione del fabbisogno di energia utile (invernale ed estivo).

Il toolset C utilizza le geometrie ricavate precedentemente per assegnare ad ogni facciata le caratteristiche termiche dell'involucro contenuti negli abachi, sulla base dell'archetipo assegnato all'edificio. Aggregando i dati delle facciate e delle chiusure orizzontali per edificio, ottiene i coefficienti di flusso termico (trasmissione, ventilazione, flusso solare, interno) e determina le stagioni di riscaldamento e raffrescamento per ogni edificio.

Il toolset D effettua il calcolo invernale ed estivo mensile per ogni edificio dell'area di studio, ossia considerando le temperature esterne medie mensili, ricava il fabbisogno di energia utile per ogni edificio dell'area di studio, esplicitando i valori dei singoli fattori, ossia:

- il tool D1 calcola le perdite di calore per trasmissione, perdite di calore per ventilazione, guadagno per apporti solare, guadagno per apporti interni;
- il tool D2 calcola i fattori di utilizzazione e il fabbisogno di energia utile  $Q_h$  e  $Q_c$ .

Il toolset E combina il fabbisogno di energia utile  $Q_h$  e  $Q_c$  con i rendimenti degli impianti contenuti nell'abaco dei sistemi impiantistici, per calcolare su base mensile il fabbisogno di energia in ingresso agli impianti ( $Q_{hd}$ ,  $Q_{cd}$ ), il fabbisogno di energia primaria, il consumo dei diversi combustibili e l'etichetta dell'APE. Il tool E1 è dedicato a effettuare il calcolo semplificato proposto dalla normativa, per valutare il servizio di produzione di ACS, che poi entra a far parte delle performance dell'edificio.

### 3.2 Cenni alla modellazione energetica standard e ipotesi semplificative

La normativa tecnica prevede tre modalità di calcolo in funzione della finalità dello studio che hanno algoritmi simili, ma richiedono un dettaglio crescente dei dati di input: *Asset rating*, *Design rating*, *Tailored rating*. L'*Asset rating* è la procedura utilizzata per la redazione delle APE. Essa perciò ha lo scopo di semplificare il processo in un'ottica di confrontabilità dei risultati e di limitazione dei costi. Esso utilizza principalmente informazioni ricavabili con sopralluoghi speditivi e fa largo uso di elementi tipologici per strutture e impianti e di profili tipici d'uso.

Il *Design rating* è una procedura più dettagliata, generalmente richiesta per effettuare le verifiche dei requisiti prestazionali minimi per ottenere i permessi di costruzione o accedere a incentivi. Essa si basa su dati ricavati da elaborati progettuali dettagliati di impianti e strutture, ma adotta ancora profili tipici di utilizzo.

Il *Tailored rating* è la procedura suggerita per la redazione delle diagnosi energetiche, che si basa su dati progettuali e su verifiche strumentali su edifici e impianti, e prevede la definizione di profili d'uso adattati all'utenza e lo studio dei consumi.

Il calcolo proposto dalla normativa italiana (serie UNI/TS 11300: 2008 parti 1-2) effettua un bilancio energetico stazionario su base mensile con formule che adottano il concetto del fattore di utilizzazione introdotto dalle normative europee (EN ISO 13790). L'unità spaziale di riferimento per l'esecuzione del calcolo è la zona termica, che generalmente coincide con l'unità immobiliare, ma il dettaglio dei dati di base raccolti è spesso maggiore, ossia riferito a ogni singolo ambiente climatizzato (la stanza). Per zona termica si intende una parte dell'edificio, ossia un insieme di ambienti climatizzati, che abbia una sufficiente uniformità: stessa regolazione dei parametri climatici interni richiesti (temperatura, umidità di set-point, etc), stessa tipologia di occupazione e destinazione d'uso, che sia servito da un'unica tipologia di sistema impiantistico o da sistemi complementari facenti parte dello stesso impianto termico.

La procedura di calcolo richiede una serie di dati di input abbastanza articolata: il profilo climatico locale, il rapporto tra l'edificio e il contesto (ombreggiamento, skyview), le caratteristiche geometriche degli ambienti e delle loro superfici disperdenti, le caratteristiche fisico prestazionali di strutture e impianti, i profili di utilizzo degli ambienti (presenza, comfort interno, uso degli impianti, uso delle finestre e delle schermature, etc). Alcuni di questi dati sono forniti totalmente dalla normativa, come il profilo climatico definito su base provinciale (UNI 10394:2016) e i requisiti minimi di comfort climatico interno da garantire. Alcuni parametri di input del calcolo sono ricavati combinando una gran quantità di prospetti semplificativi proposti dalla normativa (abachi delle strutture, rendimenti tipici dei sottosistemi impiantistici, etc) con le caratteristiche della unità immobiliare definite tramite un sopralluogo o da fonti documentali (progetti, schemi impiantistici, etc). Tale procedura di input dei dati contiene inoltre un certo grado di discrezionalità da parte dell'operatore, è noto infatti che, pur partendo dalle stesse informazioni di base, il semplice utilizzo di software diversi (seppure coerenti con la normativa) può portare a risultati con differenze non trascurabili, a causa delle interpretazioni della normativa insite nello strumento e di quelle assunte dall'operatore [21].

Per eseguire il calcolo standard alla scala urbana, la metodologia richiede perciò ipotesi semplificative e adattamenti della procedura standard basati sui dati di base disponibili e sulle risorse necessarie alla esecuzione dello studio. L'impostazione dei dati di base, le ipotesi semplificative e la caratterizzazione delle tipologie definiscono intrinsecamente l'attendibilità della metodologia e strutturano la conoscenza in modo che possa essere utilizzata per generare scenari progettuali e per favorire la comunicazione.

Le grandezze fondamentali calcolate dalla procedura che definiscono la prestazione energetica della zona termica sono:

- il *Fabbisogno di energia Utile (o fabbisogno netto) per la climatizzazione dell'involucro* ( $Q_h$  e  $Q_c$ ) calcolato con le (1) e (2) seguenti, ossia l'energia termica necessaria a mantenere le condizioni di comfort termico che dipende dalle caratteristiche fisiche dei materiali e geometriche dell'involucro, e dai profili d'uso degli ambienti:

$$Q_h = (Q_{hve} + Q_{ht}) - f_{h,x} (Q_{hint} + Q_{hsol}) \quad (1)$$

- $Q_h$  = Fabbisogno di energia utile invernale dell'involucro [kWh]
- $Q_{ht}$  = perdite per trasmissione [kWh]
- $Q_{hint}$  = guadagni di calore per attività interne [kWh]
- $Q_{hsol}$  = Guadagni di calore per irraggiamento solare [kWh]
- $Q_{hve}$  = Perdite di calore per ventilazione [kWh]
- $f_{h,x}$  = fattore di utilizzo degli apporti di calore invernali

$$Q_c = (Q_{cint} + Q_{csol}) - f_{c,x} (Q_{cve} + Q_{ct}) \quad (2)$$

- $Q_c$  = Fabbisogno di energia utile estivo dell'involucro [kWh];
- $Q_{ct}$  = perdite per trasmissione [kWh];
- $Q_{cint}$  = guadagni di calore per attività interne [kWh];
- $Q_{csol}$  = Guadagni di calore per irraggiamento solare [kWh];

- $Q_{cve}$  = Perdite di calore per ventilazione [kWh];
- $f_c$  = fattore di utilizzo delle dispersioni di calore estive;
- il fabbisogno di energia in ingresso agli impianti ( $Q_{dh}, Q_{dc}$ ), ossia l'energia che soddisfa il fabbisogno di energia utile valutando i rendimenti degli impianti tramite le (3) e (4) seguenti:

$$Q_{dh} = Q_h + Q_{ls_h} + Q_{lg_h} + Q_{aux_h} \quad (3)$$

- $Q_{dh}$  = energia consegnata per riscaldamento;
- $Q_h$  = Fabbisogno di energia utile invernale dell'involucro [kWh];
- $Q_{ls_h}$  = perdite di energia generate dai sotto sistemi dell'impianto (distribuzione, emissione, regolazione, etc);
- $Q_{lg_h}$  = perdite di energia generate dalla efficienza di generazione;
- $Q_{aux_h}$  = fabbisogno energetico degli ausiliari elettrici;

$$Q_{dc} = Q_c + Q_{ls_c} + Q_{lg_c} + Q_{aux_c} \quad (4)$$

- $Q_{dc}$  = energia consegnata per raffrescamento;
- $Q_c$  = Fabbisogno di energia utile estiva dell'involucro [kWh];
- $Q_{ls_c}$  = perdite di energia generate dai sotto sistemi dell'impianto (distribuzione, emissione, regolazione, etc);
- $Q_{lg_c}$  = perdite di energia generate dalla efficienza di generazione;
- $Q_{aux_c}$  = fabbisogno energetico degli ausiliari elettrici;
- il *Fabbisogno di Energia Primaria (EP)*, calcolato moltiplicando l'energia in ingresso agli impianti per dei coefficienti di conversione dei diversi vettori energetici forniti dalla norma.

A queste si aggiungono le etichette della APE, che identificano qualitativamente l'efficienza dell'immobile e una serie di parametri di grande utilità progettuale, che prendono parte al calcolo del fabbisogno netto (tabella 3.1). Le formule adottate per il calcolo del fabbisogno netto (1) (2) ricalcano quelle degli standard e ne applicano le procedure (UNI TS 11300:2008 parte 1), mentre quelle per il calcolo della energia in ingresso (3) (4) sono una semplificazione della procedura della normativa, precisata nel seguito.

**Tabella 3.1 – Alcuni parametri di efficienza energetica**

| Efficienza Energetica dell'Edificio |                                                                                                           | UM                                      |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Parametri della UNI 11300           | Fabbisogno di energia utile dell'involucro                                                                | kWh/ m <sup>2</sup> anno                |
|                                     | Perdite per trasmissione                                                                                  | kWh/ m <sup>2</sup> anno                |
|                                     | Perdite per ventilazione                                                                                  | kWh/ m <sup>2</sup> anno                |
|                                     | Guadagni solari                                                                                           | kWh/ m <sup>2</sup> anno                |
|                                     | Guadagni interni                                                                                          | kWh/ m <sup>2</sup> anno                |
|                                     | Efficienze dei sotto insiemi impiantistici (emissione, regolazione, distribuzione, generazione, accumulo) | %                                       |
| Altri parametri di efficienza       | Efficienza globale degli impianti                                                                         | %                                       |
|                                     | Energia Primaria per riscaldamento/raffrescamento                                                         | kWh/ m <sup>2</sup> anno                |
|                                     | Energia Primaria per ACS                                                                                  | kWh/ m <sup>2</sup> anno                |
|                                     | Consumi teorici                                                                                           | kWh anno                                |
|                                     | Costi operativi                                                                                           | Euro anno                               |
|                                     | Emissioni di CO <sub>2</sub>                                                                              | kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> anno |
|                                     | Etichette energetiche                                                                                     |                                         |

Lo strumento sviluppato in questa ricerca deve consentire di calcolare in ambiente GIS il fabbisogno di energia utile e di energia primaria per un gruppo di edifici con il metodo di calcolo standard (UNI 11300) adottato per gli APE, che ricava la "Prestazione Energetica" sulla base delle caratteristiche fisico impiantistiche dell'edificio. L'approccio può essere perciò considerato un modello bottom-up ingegneristico basato su archetipi che prevede alcune ipotesi e scelte semplificative iniziali, alcune riferite alla procedura di calcolo proposta dalla normativa e altre sui dati di base.

La prima ipotesi relativa alla procedura di calcolo consiste nell'impostare la zona termica per il calcolo del fabbisogno dell'involucro coincidente con l'involucro esterno dell'edificio. Tale ipotesi è ampiamente utilizzata in altre esperienze dello stesso tipo e inoltre è suggerita dalla normativa stessa nel caso di edifici multilivello con unità abitative simili (UNI 11300: 2008 parte 1, cap 8.1). Non si otterrà quindi una stima della prestazione energetica di ogni unità immobiliare, ma la totale riferita all'intero l'edificio; tuttavia possono essere sviluppati degli algoritmi di ripartizione del fabbisogno sulla base del piano occupato dalla unità immobiliare [22] o di distribuzioni planimetriche tipiche [23]. Nel nostro caso, per effettuare il calcolo della energia fornita agli impianti e della energia primaria EP, la superficie utile ricavata sulla base del numero di piani e della footprint sarà ripartita tra il tipo e il numero delle superfici delle unità immobiliari ricavate dai dati catastali.

La seconda ipotesi consiste nel considerare che le caratteristiche fisico-tipologiche dell'involucro edilizio siano legate all'epoca di costruzione e alla tipologia architettonica dell'edificio. L'approccio tipologico è ampiamente documentato in letteratura, inoltre è permesso anche dalla normativa nel caso sia necessario redigere una APE in edifici esistenti (calcolo in Asset rating), per i quali non è economicamente sostenibile prevedere costose attività di misurazione o il saggio dei materiali. La UNI 11300 infatti propone un abaco di elementi di fabbrica che riporta la stratigrafia e le caratteristiche fisiche in base all'anno di costruzione e alla tipologia edilizia, oppure permette il calcolo personalizzato delle prestazioni dell'elemento di fabbrica basato sulle caratteristiche fisiche di materiali noti.

Coerentemente con altri approcci metodologici alla scala urbana, la terza ipotesi consiste nel modellare gli impianti adottando il solo rendimento medio stagionale complessivo tipico del sistema, ed eventualmente dei suoi sotto sistemi [24]. La normativa prevede un articolato sistema di prospetti semplificativi legati alla tipologia

di impianto presente (UNI 11300 parti 2-3), che però si basano su una gran quantità di informazioni sui sottosistemi impiantistici che spesso sono difficili da reperire anche durante un sopralluogo diretto nella unità immobiliare. Tale semplificazione permette da una parte di ridurre notevolmente le attività di reperimento dei dati di base minimi per eseguire la procedura, dall'altra di rendere confrontabili tra loro le tecnologie caratterizzate da apparati molto differenti. In altre parole il modello energetico integrato nel tool riporta abbastanza fedelmente la normativa sul calcolo del fabbisogno di energie utile dell'involucro (UNI TS 11300: 2008 parte 1), ma semplifica notevolmente le altre parti per il calcolo del fabbisogno della energia primaria (parti 2-3 della UNI 11300 TS).

La procedura adotta anche altre semplificazioni minori della esecuzione della procedura di calcolo dei fattori della (1) della (2), che verranno esplicitati in seguito. Esse riguardano il settaggio di alcuni parametri discrezionali contenuti nella normativa e la semplificazione di alcune procedure non compatibili con l'esecuzione del calcolo alla scala urbana.

Uno degli aspetti centrali della metodologia è definire quale sia il dettaglio minimo dei dati topografici di ingresso che permettano l'esecuzione del calcolo. La letteratura riporta strumenti che si basano su modelli dettagliati (LoD 3-4) ricavati da rilievi LiDAR e Laser scanner terrestre, oppure approcci che utilizzano semplici operazioni CAD per generare un City box model (LoD0-1) partendo dal footprint dell'edificio [25].

Le metodologie del primo tipo sviluppano modelli molto dettagliati che supportano raffinate procedure di analisi, tuttavia possono richiedere ingenti risorse per il rilievo e il post processing dei dati.

Le altre metodologie invece adottano procedure e dati di base comunemente disponibili, anche in contesti caratterizzati da scarsità di risorse umane ed economiche. Al fine di sviluppare una metodologia semplice ed economica e perciò più esportabile, si propone di adottare come dato topografico un livello di dettaglio minimo (es: mappa urbana scale 1: 5000, 1:2000, etc) generalmente disponibile anche per i centri urbani minori, in quanto comunemente utilizzato per le attività di pianificazione urbana e di gestione dell'attività edificatoria e di prevedere alcune semplici attività di pre - processing (CAD GIS) sia di dati di ingresso topografici che di quelli legati più propriamente alla modellazione energetica.

### 3.3 Dati di partenza e attività di pre - processing

La maggior parte dei dati di ingresso richiede una più o meno consistente fase di pre - processing da svolgere in ambiente GIS o esterno. Le attività possono essere articolate in funzione dei dati di partenza da trattare, tuttavia si tratta di attività che sono fortemente interrelate tra loro e che contribuiscono a definire l'approccio tipologico che sta alla base dell'UBEM (figura 3.4):

- a. Riordino dei dati tabellari relativi alla normativa (clima, parametri di calcolo, etc) (tabella 3.2);
- b. Trattamento preliminare dei dati spaziali (attività di geo-processing, disegno CAD, etc) per ottenere gli elementi minimi necessari alla esecuzione della procedura;
- c. Studio del contesto locale in modo da identificare le caratteristiche ricorrenti del patrimonio immobiliare utili a impostare l'approccio tipologico (abachi strutture ed impianti, archetipi involucro ed impianti, etc) (tabelle 3.7-8)
- d. Impostazione ed esecuzione delle attività di rilievo urbano per l'input manuale dei dati.

La fase di riordino dei dati di input del calcolo standard, avendo come riferimento una normativa nazionale, può essere effettuata *una tantum* e poi riutilizzata su tutti i contesti nazionali. L'attività è stata effettuata per la maggior parte durante questa annualità, tuttavia fa eccezione l'impostazione dei file climatici per località non direttamente inserite nell'elenco nazionale, per il quale sono necessario lo sviluppo di procedure dedicate. Le altre tre attività (b, c, d dell'elenco precedente) sono tra loro interconnesse e dipendono fortemente dai dati di partenza disponibili, dalle risorse per attività di rilievo e di analisi.

Il progetto si propone, attraverso la sperimentazione sul caso studio, di definire col massimo dettaglio possibile anche queste attività partendo da una base informativa comune per tutti i centri urbani almeno nel contesto sardo. Si sono anche sviluppati alcuni tools (A1, A2) per supportare nella fase finale di impostazione dei layer geografici.

La fase di pre-processing termina quindi con la definizione dei seguenti dati di ingresso per la successiva modellazione:

- la *base geometrica* dell'UBEM, come unione ed aggiornamento dei layers del DBGT della RAS;
- la CXMap, ossia una mappa contenente i dati altimetrici del contesto necessari per le analisi di ombreggiamento (Raster, puntuale);
- tutti i file tabellari necessari alla impostazione dell'approccio tipologico (archetipi dell'involucro ed abaco delle strutture, archetipo degli impianti ed abaco degli impianti);
- il file climatico locale, da utilizzare nella modellazione energetica;
- i layers con i volumi e le superfici lorde, base per l'analisi geometrica.

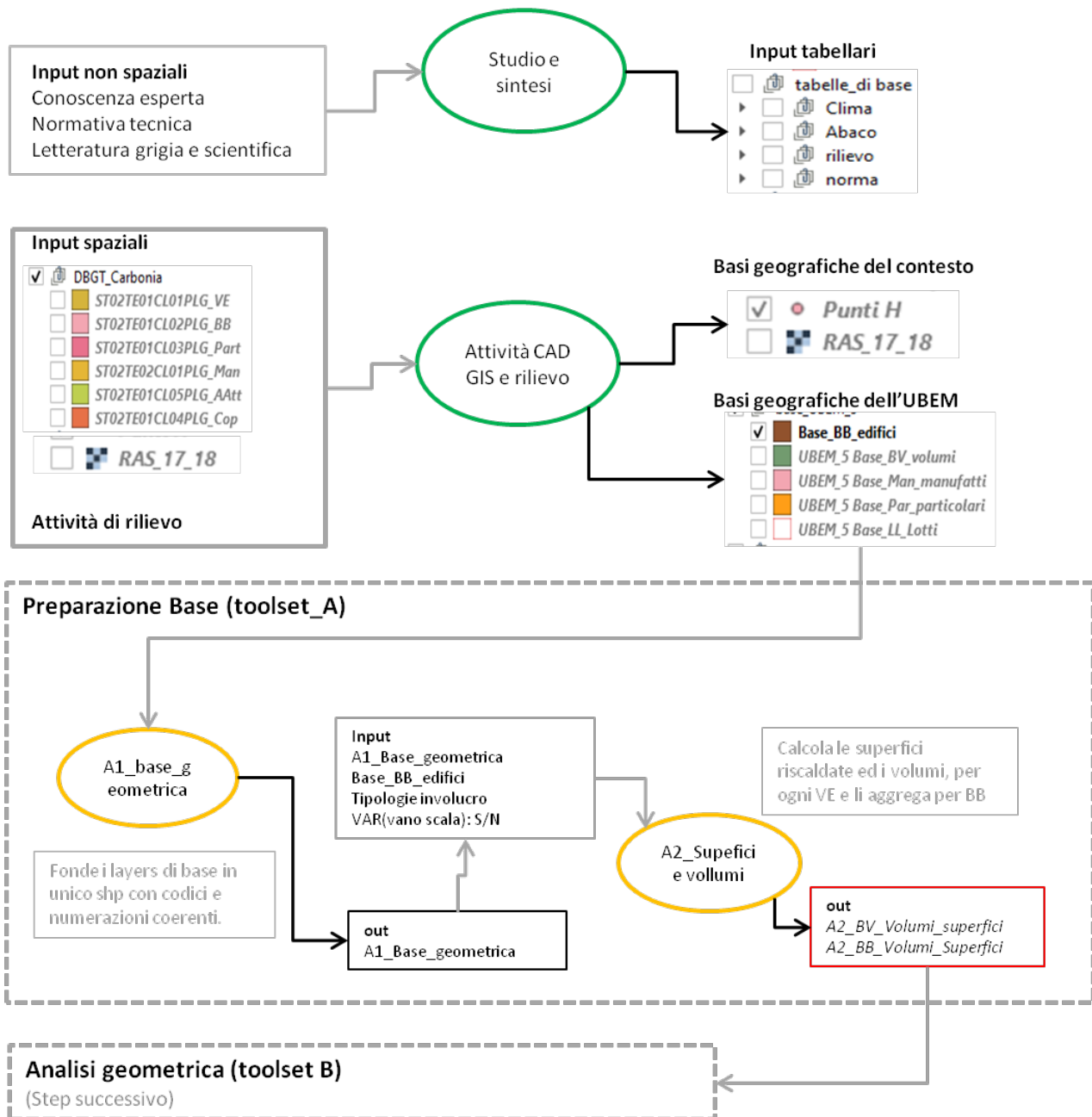


Figura 3.4 - Schema logico della fase di pre – processing

### 3.3.1 Riordino dei dati della normativa

La normativa fornisce una gran quantità di prospetti di riferimento per valutare le prestazioni tipiche di strutture e materiali così come dei sistemi impiantistici, tuttavia, grazie al riferimento valido sul territorio nazionale, l'impostazione può essere considerata esportabile per ogni caso studio. Tali prospetti sono stati in gran parte inclusi del modello GIS in maniera fedele o con qualche adattamento funzionale al calcolo dei fattori delle (1) e (2) che sarà esplicitato nel seguito (tabella 3.2).

La norma contiene i dati climatici ufficiali (temperature, irraggiamento solare, umidità, etc) validi in territorio nazionale e riferiti ai capoluoghi di provincia (UNI 10349: 1994 aggiornata al 2016). L'aggiornamento (UNI 10349: 2016) richiede l'utilizzo delle specifiche della UNI/TR 11328-1:2009 per l'elaborazione dei dati climatici per le località non riportate nella lista dei comuni capoluogo di provincia. L'introduzione di tale procedura nell'ambiente GIS può essere complessa, in quanto richiede l'applicazione di un modello di Perez semplificato per la determinazione dell'irraggiamento solare sulla base dei dati riportati dalla norma per ogni capoluogo. In alternativa si potrebbe usare la più semplice procedura della vecchia normativa (UNI 10349: 1994), basata su alcune formule correttive sulla località nota più prossima, che considerano le coordinate geografiche e la quota sul livello del mare.

Nel presente studio, il file climatico è stato ricavato estraendolo da un software certificato per l'esecuzione del calcolo standard (Termolog EPIx 10, Logical Soft) coerente con la normativa attuale. Per la versione finale della metodologia si valuterà lo sviluppo di una metodologia più automatizzabile magari con lo sviluppo di un tool di pre - processing apposito.

**Tabella 3.2 – Tabelle e prospetti di input per la procedura standard (UNI 11300).**

| DATO                                                                                                                                                           | FONTE                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Monthly averages temperatures of main Italian cities                                                                                                           | UNI 10349                                               |
| Solar irradiation on horizontal and vertical surfaces on main Italian cities                                                                                   | UNI 10349                                               |
| Essential Climate data of the Italian Municipalities (DD day, climate zone, etc)                                                                               | UNI 10349                                               |
| Parameters for solar reduction factors calculation for: external obstructions (Fhor)                                                                           | UNI 11300: 2008 - 1<br>(addendum D1)                    |
| Parameters for solar reduction factors calculation for building horizontal obstructions (canopies, balconies, etc) (Fov)                                       | UNI 11300: 2008 - 1<br>(addendum D2)                    |
| Parameters for solar reduction factors calculation for building vertical obstructions (Fin)                                                                    | UNI 11300: 2008 - 1,<br>(addendum D3)                   |
| Parameters for solar reduction factors calculation for the shutter use (Fsw)                                                                                   | UNI 11300: 2008 – 1, Table 15                           |
| Parameters for the simplified estimation of the indoor aerial capacity (Cm)                                                                                    | UNI 11300: 2008 – 1, Table 16                           |
| Correction factors for Heat transfer flux to ground and to non-climatized rooms (basements, garages, stairwell, ..) elaboration from standard tables (Table 3) | UNI 11300: 2008 - 1<br>Table 6 and Table 5              |
| Parameters for the simplified assessment of the heat bridge influence                                                                                          | UNI 11300: 2008 – 1, Table 4                            |
| Standard duration of the heating season                                                                                                                        | UNI 11300: 2008 – 1, Table 3                            |
| Parameters for the estimations of the reference ventilation, based on building uses. Elaboration from standard tables                                          | UNI 11300: 2008 – 1. Paragr. 12<br>UNI 10339: 1995-2008 |
| Parameter for the heat gain estimations for the indoor activities                                                                                              | UNI 11300: 2008 – 1, table 8                            |
| Factors for Primary Energy (EP) conversion and others of the Energy vectors parameters (cost/kWh, CO2/kWh, etc)                                                | D.M 26.06.2015 Requisiti Minimi (Annex 1)               |

### 3.3.2 Studio tipologico preliminare

La classificazione dei tipi edilizi è stata effettuata sulla base dei dati statistici disponibili per l'area di studio (ISTAT 2001-2011), sopralluoghi e interviste di esperti dei luoghi. La caratterizzazione è stata impostata in maniera coerente con la normativa, perciò ne utilizza le convenzioni e le semplificazioni (il profili d'uso, rendimenti, etc). La caratterizzazione tipologica richiede l'impostazione di quattro elementi principali: le tipologie di involucro edilizio, l'abaco delle strutture, le tipologie di impianti, l'abaco degli impianti.

*Le tipologie dell'involucro edilizio* (tabella 3.3) contengono le caratteristiche tipo-morfologiche ricorrenti più rilevanti, che prendono parte al calcolo energetico e che possono essere ricavate tramite rapidi sopralluoghi o planimetrie tipo (rapporto finestrato, presenza di balconi, forma e tipologia dei vani scala, etc). Inoltre identifica i tipi di strutture edilizie ricorrenti: muri verso esterno, muri interni verso locali non riscaldati, chiusure di base,

coperture e finestre. L'assegnazione degli indici che identificano le strutture costruttive tipiche di ogni parte dell'edificio, può essere fatta legandola direttamente con il tipo edilizio oppure tramite la lettura incrociata di più variabili: nel presente studio si useranno il tipo edilizio e il periodo di costruzione. La definizione tipologica dell'involucro (tabella 3.3), oltre ad alcuni dati generali e a quelli sulle strutture, può riportare una serie di informazioni che possono supportare le geometrie della impronta al suolo contenuta nelle basi topografiche nel definire le superfici disperdenti dell'involucro:

- le altezze medie dell'interpiano, del piano interrato e di eventuali piani pilotis;
- i parametri geometrici tipici dei vani scala;
- i valori tipici dei coefficienti di trasmissione del calore delle strutture verso ambienti non riscaldati;
- i rapporti finestrati tipici delle facciate in funzione del loro affaccio;
- la presenza di elementi di schermatura solare tipici delle facciate in funzione del loro affaccio.

**Tabella 3.3 – Attributi che possono essere inseriti nella caratterizzazione delle tipologie di involucro**

| PARAMETRI                               | ATTRIBUTI       | DESCRIZIONE                                                                                       |
|-----------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Generali                                | ID              | Codice univoco della tipologia                                                                    |
|                                         | Description     | Testo descrittivo sintetico della tipologia                                                       |
|                                         | Imm 1           | Foto e/o schemi grafici descrittivi del tipo                                                      |
|                                         | Imm n           | Foto e/o schemi grafici descrittivi del tipo                                                      |
|                                         | Year            | Anno di costruzione prevalente, o di impianto                                                     |
| Geometria                               | Floor H         | Altezza media di interpiano [m]                                                                   |
|                                         | Basem H         | Altezza media del livello interrato [m] (se presente)                                             |
|                                         | Pilot H         | Altezza media del livello Pilotis o simile [m] (se presente)                                      |
|                                         | GIR a           | Rapporto finestrato della facciata principale fronte strada pubblica [%]                          |
|                                         | GIR b           | Rapporto finestrato delle facciate interne (cortili) [%]                                          |
|                                         | GIR c           | Rapporto finestrato delle facciate laterali su stesso edificio [%]                                |
|                                         | GIR d           | Rapporto finestrato delle facciate laterali altri edifici [%]                                     |
|                                         | GLR e           | Rapporto finestrato delle coperture [%]                                                           |
|                                         | n stairs        | Numero dei pozzi scala nella pianta tipo [n°]                                                     |
|                                         | pstairs         | Perimetro del vano non riscaldato adiacente (vano scala o altri vani) [m]                         |
|                                         | astairs         | Area tipica del vano scala [m2]                                                                   |
|                                         | ASuf share      | Incidenza tipica della superficie utile sulla footprint [%]                                       |
|                                         | Roof Zangle     | Inclinazione tipica della copertura se inclinata [angle°]                                         |
| Schermature solari                      | ....            | altro                                                                                             |
|                                         | Fin angle a     | Angolo per schermature verticali, facciate verso strada [angle°]                                  |
|                                         | Fov angle a     | Angolo per schermature orizzontali, facciate verso strada [angle°]                                |
|                                         | Fin angle b     | Angolo per schermature verticali, facciate laterali stesso edificio [angle°]                      |
|                                         | Fov angle b     | Angolo per schermature orizzontali, facciate laterali stesso edificio [angle°]                    |
|                                         | Fin angle c     | Angolo per schermature verticali, facciate laterali altri edifici [angle°]                        |
|                                         | Fov angle c     | Angolo per schermature orizzontali, facciate laterali altri edifici [angle°]                      |
|                                         | Fin angle d     | Angolo per schermature verticali, facciate interne [angle°]                                       |
|                                         | Fov angle d     | Angolo per schermature orizzontali, facciate interne [angle°]                                     |
| Coefficienti di trasmissione del calore | ... altro       |                                                                                                   |
|                                         | s btr           | Valore del coefficiente di trasmissione del vano scala (Prospetto 5 e 6, UNI 11300:2008 1)        |
|                                         | r btr           | Valore del coefficiente di trasmissione della copertura (Prospetto 5 e 6, UNI 11300:2008 1)       |
|                                         | b btr           | Valore del coefficiente di trasmissione vani non climatizzati (Prospetto 5 e 6, UNI 11300:2008 1) |
| Strutture dell'involucro tipiche        | g btr           | Valore del coefficiente di trasmissione della base (Prospetto 5 e 6, UNI 11300:2008 1)            |
|                                         | e Wal           | ID che individua la tipologia prevalente di chiusura verticale opaca verso l'esterno              |
|                                         | u Wall          | ID che individua la tipologia prevalente di chiusura verticale opaca verso zone non riscaldate    |
|                                         | i Wall          | ID che individua la tipologia prevalente di partizioni interne della zona riscaldata              |
|                                         | o Wall          | ID che individua la tipologia prevalente di chiusura verticale opaca contro terra                 |
|                                         | o Roof          | ID che individua la tipologia prevalente di copertura orizzontale                                 |
|                                         | p Roof          | ID che individua la Tipologia prevalente di copertura inclinata                                   |
|                                         | g Base          | ID che individua la tipologia prevalente di chiusura di base contro terra                         |
|                                         | e Base          | ID che individua la tipologia prevalente di chiusura di base esterna                              |
|                                         | i Base          | ID che individua la tipologia prevalente di chiusura di base interna alla zona termica            |
|                                         | u Base          | ID che individua la tipologia prevalente di chiusura di base verso zone non riscaldate            |
|                                         | Wind str        | Tipologia prevalente di finestre                                                                  |
|                                         | Shu type        | Tipologie prevalenti di schermature mobili delle finestre (taparelle, scurini, etc)               |
|                                         | Cm <sub>t</sub> | Capacità termica aerica superficiale interna (prospetto 16, UNI/TS 11300 -1:2008)                 |
|                                         | ...             | altro                                                                                             |
| Altre tematiche                         |                 | Conservazione, valore storico, elementi architettonici di pregio, zona urbanistica, etc           |

Un ruolo chiave della caratterizzazione proposta è giocato dall'affaccio della facciata che può essere valutato con procedure di geo-processing automatizzabili. Esso è fortemente legato alla presenza di finestre ed elementi di schermatura (balconi, tettoie, tende, etc): in generale le facciate che danno su altre proprietà hanno pochissime finestre e sono perciò prive di schermature, mentre spesso le facciate su strada hanno una

articolazione delle bucatore differente alle facciate del retro. Si propongono perciò le seguenti classi di affaccio ai quali saranno legati differenti rapporti finestrati:

- fa = affaccio principale su strada pubblica;
- fb = affaccio su cortile della stessa proprietà;
- fc = affaccio su edificio della stessa proprietà;
- fd = affaccio su edificio e o lotto di altra proprietà
- fe = copertura.

Un altro elemento che caratterizza fortemente l'involucro edilizio sono i fattori di correzione della trasmissione del calore (prospetti 5 e 6 della UNI/TS 11300:2008 parte 1), che la procedura standard utilizza per ridurre lo scambio termico verso ambienti non riscaldati e contro terra (come vespai, cantine, vani scala, terreno, stanza non riscaldate, etc). Si tratta di prospetti (tabella 3.4) che richiedono valutazioni non sempre immediate da eseguire, che potrebbero appesantire un rilievo urbano e perciò i valori sono assegnati tramite approccio tipologico combinato ad alcune informazioni più semplici, ricavabili tramite rilievo urbano sul tipo di chiusura di base (tabella 3.5) e sul tipo di limite superiore della zona termica dell'edificio (tabella 3.6).

**Tabella 3.4 - Coefficienti di trasmissione verso ambienti confinanti proposti dalla normativa**

| NOT HEATED ROOM                                                                      | VALORI                        |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Parete o pavimento direttamente contro terra, con vespai areati                      | btr = 0,45; btr = 0,8         |
| Parete o pavimento verso piano interrato senza finestre e con finestre               | btr = 0,5; btr = 0,8          |
| Parete o pavimento verso ambiente con una parete esterna                             | btr = 0,4                     |
| Parete o pavimento verso ambiente con almeno due pareti esterne con e senza finestre | btr = 0,5; btr = 0,6          |
| Parete o pavimento verso ambiente con tre pareti esterne                             | btr = 0,8                     |
| Sottotetto isolato, non isolato, ventilato                                           | btr = 0,7; btr = 0,9; btr = 1 |
| Ambienti interni liberamente ventilati o non ventilati                               | btr = 1; btr = 0;             |

**Tabella 3.5 - Classi di limite inferiore della zona termica utilizzati per il rilievo nel caso studio**

| COD      | DESCRIZIONE                                                                             | g_btr |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| g_btr_1  | pavimento controterra                                                                   | 0,45  |
| g_btr_2  | pavimento verso chiusure areate (vespai, solai sopraelevati, ...)                       | 0,8   |
| g_btr_3  | pavimento verso locale interrato/seminterrato con max una parete esterna senza finestre | 0,5   |
| g_btr_4  | pavimento verso locale interrato/seminterrato con max una parete esterna con finestre   | 0,8   |
| g_btr_5  | pavimento verso locale interrato/seminterrato con due pareti esterne senza finestre     | 0,55  |
| g_btr_6  | pavimento verso locale interrato/seminterrato con due pareti esterne con finestre       | 0,8   |
| g_btr_7  | pavimento verso locale esterno (max una parte controterra) senza finestre               | 0,7   |
| g_btr_8  | pavimento verso locale esterno (max una parte controterra) con finestre                 | 0,85  |
| g_btr_9  | Pavimento verso esterno o locali fortemente areati                                      | 1     |
| g_btr_10 | Pavimento verso locale climatizzato                                                     | 0     |

**Tabella 3.6 - Classi di limite superiore della zona termica utilizzati per il rilievo nel caso studio**

| COD     | DESCRIZIONE                                        | r_btr |
|---------|----------------------------------------------------|-------|
| r_btr_0 | senza sottotetto                                   | 1     |
| r_btr_1 | sottotetto non abitabile chiuso, non isolato       | 0,8   |
| r_btr_2 | sottotetto non abitabile chiuso ed isolato         | 0,7   |
| r_btr_3 | sottotetto ventilato                               | 1     |
| r_btr_4 | sottotetto abitabile                               | 1     |
| r_btr_5 | sottotetto non abitabile con finestre, non isolato | 0,9   |

Gli *abachi delle strutture* (tabella 3.7) rappresentano gli elementi di fabbrica più utilizzati nel contesto di studio. Essi riportano le caratteristiche termo-fisiche direttamente coinvolte nell'esecuzione del calcolo (U-vaule, spessore, etc), ma possono contenere anche altre informazioni eventualmente utilizzabili per altre finalità collegate, come per esempio indirizzare le ipotesi di retrofit, stimare l'incidenza dei ponti termici, valutare l'inerzia termica dell'edificio.

Un dato utile per facilitare il calcolo del potenziale di retrofit può essere anche comprendere i valori di trasmittanza della struttura in caso di efficientamento (pacchetti isolanti) in diversi periodi storici. Questi valori possono essere ricavati tramite l'utilizzo di software esterni per l'analisi delle strutture, basati sulla definizione della stratigrafia e l'utilizzo dei parametri dei materiali tipo forniti dalla normativa (Appendici A, B, C UNI/TS 11300-1: 2008 e altre normative legate UNI 10351 rev. - Prospetto A1, UNI EN ISO 10456(rev. 2008).

Nel presente studio si utilizzerà una articolazione minima della tabella 3.7, che riporta solo i dati necessari per il calcolo.

**Tabella 3.7 – Attributi che possono essere inseriti nell'Abaco delle strutture**

| ATTRIBUTO       | DESCRIZIONE                                                                                                                                         |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Id_STR          | Codice univoco della struttura                                                                                                                      |
| Type_str        | <b>Tipologia di struttura opaca</b>                                                                                                                 |
|                 | e_Wal: pareti verso esterno                                                                                                                         |
|                 | u_Wall: pareti verso aree non riscaldate                                                                                                            |
|                 | s_Wall: pareti verso vani scale non riscaldati                                                                                                      |
|                 | i_Wall: pareti di partizione interna                                                                                                                |
|                 | g_Wall: pareti contro terra                                                                                                                         |
|                 | o_Roof: Copertura orizzontale                                                                                                                       |
|                 | p_Roof: Copertura inclinata                                                                                                                         |
|                 | g_Base: base contro terra                                                                                                                           |
|                 | e_Base: base verso esterno                                                                                                                          |
|                 | i_Base: base verso locale riscaldato                                                                                                                |
|                 | u_Base: base verso locale non climatizzato                                                                                                          |
| Year            | Anno di costruzione tipico dell'elemento di fabbrica                                                                                                |
| Description     | Testo descrittivo sintetico dell'elemento                                                                                                           |
| U               | Valore tipico di trasmittanza dell'elemento $U_x$ [W/m <sup>2</sup> K]                                                                              |
| U_r             | Valore tipico di trasmittanza dell'elemento $U_x$ [W/m <sup>2</sup> K], efficientato prima del 2005 (3cm                                            |
| U_rr            | Valore tipico di trasmittanza dell'elemento $U_x$ [W/m <sup>2</sup> K], efficientato prima dopo 2005                                                |
| hBridge         | Incidenza dei ponti termici come [%] di U-Value (prospetto 4, UNI/TS 11300-1:2008)                                                                  |
| Uop             | Valore di trasmittanza corretto con ponte termico [W/m <sup>2</sup> K]                                                                              |
| Massa           | Valore tipico di Massa superficiale della x-esima struttura [kg/m <sup>2</sup> ]                                                                    |
| Thk             | Valore tipico di spessore [m]                                                                                                                       |
| Sfasamento      | Valore tipico di sfasamento dell'elemento [h]                                                                                                       |
| YIE             | Valore tipico di trasmittanza termica periodica dell'elemento [W/m <sup>2</sup> K]                                                                  |
| $\epsilon_x$    | Emissione all'infrarosso tipica del materiale di finitura esterna                                                                                   |
| Cm <sub>x</sub> | Valore tipico di capacità termica areica interna dell' x-esima struttura [kJ/m <sup>2</sup> K]                                                      |
| Abs_solar       | Manto di copertura (solo coperture) che determina il Fattore di Assorbimento solare (UNI/TS 11300-1:2008; par. 14.2) e l'emissività della struttura |

*L'abaco degli impianti* (riscaldamento, raffrescamento, ACS) riporta alcuni dati di rendimento medio stagionale tipico delle soluzioni tecnologiche più diffuse, in funzione dell'archetipo e dell'anno di costruzione. I dati minimi sono quelli necessari alla esecuzione del calcolo semplificato della energetica consegnata e dei parametri di efficienza impostati in questo lavoro, tuttavia è possibile inserire anche altre informazioni. Perciò oltre a dei campi descrittivi del sistema (nome, servizio, etc) sono necessari i parametri di rendimento termico o complessivi o di alcuni sottosistemi (generazione, regolazione, distribuzione, emissione, accumulo, etc), uno o più fattori di consumo degli ausiliari elettrici legati al tempo di utilizzo, vettore energetico, costi di manutenzione annui tipici ed altri parametri ritenuti di interesse.

Nel presente studio si utilizzerà una articolazione minima della tabella 3.8, che riporta solo i dati necessari per il calcolo.

**Tabella 3.8 - Attributi che possono essere inseriti nell'abaco degli impianti**

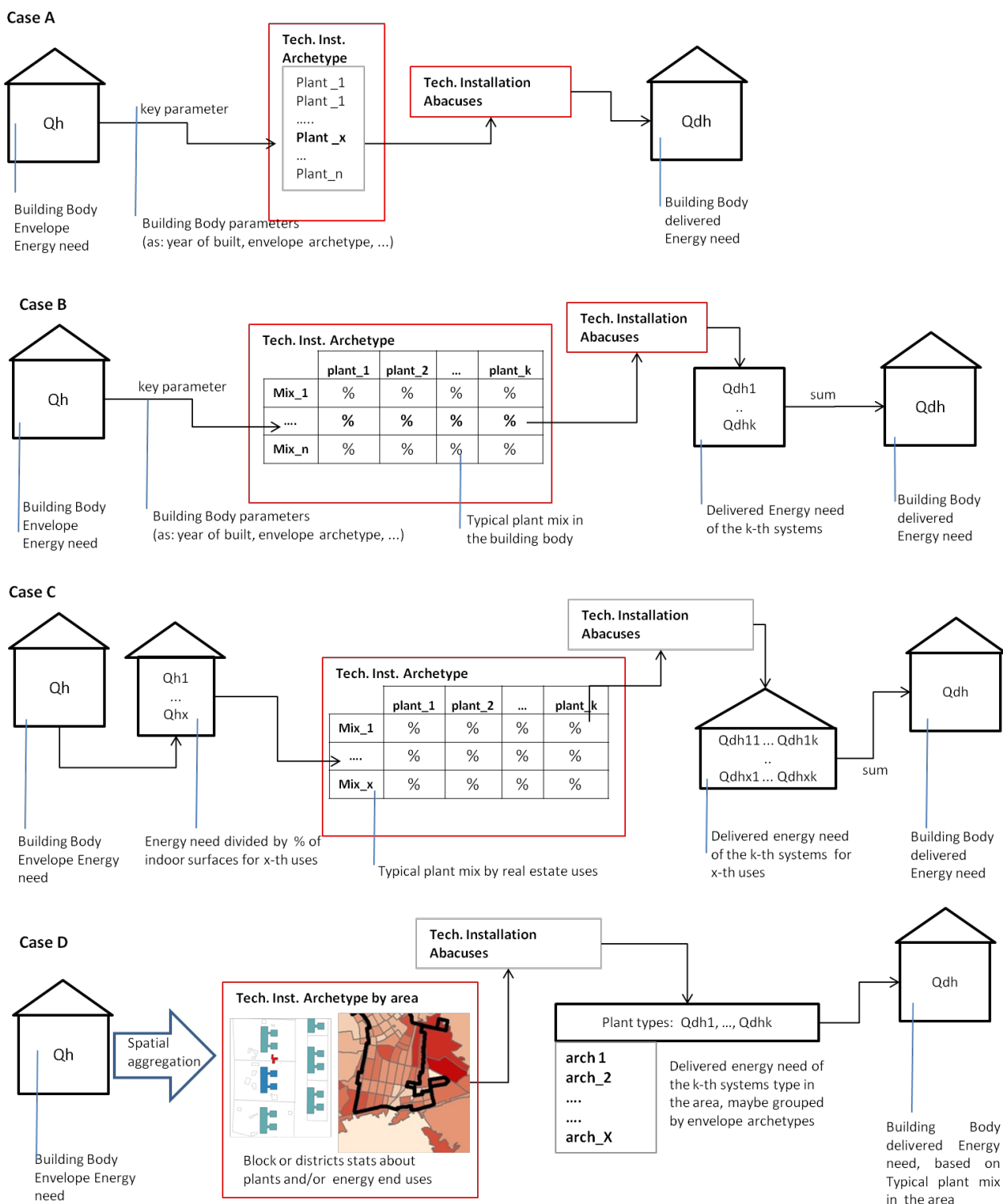
| DB OF THE TECHNICAL INSTALLATIONS |                                                                                |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Id_Tech                           | Unique ID of Technical Installation                                            |
| Serv_Tech                         | Type of service: Heating, Cooling, DHW, Heating + DHW, Ventilation             |
| Use_Tech                          | Frequency of use: continuous, intermittent, highly intermittent                |
| Year                              | More common year of built                                                      |
| Descr                             | Descriptive text                                                               |
| Type_gen                          | Generator Type (Boiler, Heat Pump, Biomass boiler, etc )                       |
| Type_net                          | Network systems type (Air, Water, Gas, etc)                                    |
| Type_reg                          | Control system type (on/off, external probe, thermostat, etc)                  |
| Type_emi                          | Emission system type (Fan, high temp. radiator, low temp. radiator, etc)       |
| N_gen                             | Typological generator efficiency, defined by standards and expert knowledge    |
| aux_g                             | Typological Auxiliary electricity power [W/h] of generator                     |
| N_tot_com                         | Most common global Sub System Efficiency, defined by expert knowledge          |
| N_tot_min                         | Lowest global Sub System Efficiency, defined by standards and expert knowledge |
| N_tot_max                         | Best sub System Efficiency, defined by standards and expert knowledge          |
| Aux_s                             | Typological Auxiliary electricity power [W/h], for all the sub systems         |
| Fuel                              | Main Type of Energy (electricity, GAS, coal, wood, etc)                        |
| MyC                               | Typological yearly maintenance cost [euro]                                     |

*Le tipologie degli impianti* non hanno invece una struttura fissa, in quanto l'uso dei sistemi impiantistici è caratterizzato da una maggiore variabilità rispetto all'involucro. In linea generale esso può essere impostato sulla base dei dati disponibili e di attività di studio e del contesto locale, con lo scopo di assegnare uno o più tipologie di impianti agli edifici, in modo da poter calcolare l'energia termica consegnata e il consumo energetico. La assegnazione più semplice (figura 3.5, caso A) è quella 1:1, che associa un impianto in base a una specifica caratteristica posseduta dall'involucro edilizio o in qualche modo riferibile all'edificio (periodo di costruzione, tipologia edilizia, altro assegnato da rilievo). Questo tipo di assegnazione è utilizzata in molti casi studio dove, per motivi climatici o aspetti peculiari locali, alcuni sistemi possono essere riconosciuti come largamente preponderanti per alcuni specifici tipi di edifici, come, per esempio, il caso delle caldaie a gasolio centralizzate con radiatori nella edilizia multi familiare degli anni 60-70-80. Tuttavia nella maggior parte dei casi una assegnazione di questo tipo, se non supportata da una estesa campagna di rilievo, porta a semplificazioni poco rappresentative.

Un compromesso molto utilizzato in letteratura può essere l'assegnazione di un mix di sistemi impiantistici basati su statistiche disponibili (CPA ISAT 2001-11, rilievi specifici, etc) o su dati di consumo reale eventualmente noti. Tale mix di sistemi può essere assegnato al singolo corpo di fabbrica (figura 3.5, caso B), oppure si può procedere ad aggregare il fabbisogno calcolato per ogni edificio al livello della scala spaziale dei dati disponibili, per effettuare stime più accurate e calibrabili su dati noti (figura 3.5, caso D). Tale approccio, tipico degli UBEI misti statistici – ingegneristici, se basato su un numero sufficiente di dati di consumo reale, è capace di stime accurate della domanda energetica del gruppo di edifici, ma, per la singola abitazione, si possono generare forti discrepanze tra il profilo mediato dell'area e il singolo edificio. In effetti applicare un mix di sistemi a un edificio con poche unità immobiliari, seppur coerente con le finalità di calcolo energetico, non è certo rappresentativo dello stato dei luoghi, dove molto probabilmente si avranno solo alcune delle condizioni previste dalla statistica complessiva. Per migliorare la rappresentatività del modello e le sue stime, molti studi sviluppano studi statistici appositi per definire dei profili impiantistici e di consumo specifici, legati ad alcune caratteristiche note degli edifici (es: il tipo d'uso della unità immobiliari presenti nell'edificio, periodo di costruzione, tipologia edilizia, profilo degli occupanti, etc). Un esempio di questo caso (figura 3.5, caso C) può essere la definizione di profili impiantistici legati alla destinazione d'uso delle unità immobiliari, perciò nello stesso edificio potrebbero essere presenti più profili che soddisfano il fabbisogno energetico ripartito per le diverse destinazioni d'uso, secondo le rispettive superfici utili ricavate ad esempio dai dati catastali.

Questo è uno degli aspetti più critici nello sviluppo di un approccio tipologico. Esso è fortemente legato alle caratteristiche specifiche del contesto e alle risorse disponibili per attività di analisi e rilievo.

Il presente studio mostrerà alcune criticità che porteranno a sviluppare un approccio specifico, volto a superare la mancanza di dati e rispondere alle finalità principali del modello.



**Figura 3.5 - Schema logico di alcuni approcci per la definizione delle tipologie impiantistiche**

I contenuti delle tipologie e degli abachi delle strutture possono essere considerati coerenti con la normativa vigente, in quanto pensati per eseguire le fasi del calcolo del fabbisogno di energia utile dell'involucro (UNI/TS 11300-1: 2008). Differentemente, l'abaco e le tipologie di impianti, pur adottando alcuni parametri semplificativi

sui rendimenti tipici dei sottosistemi impiantistici riportati nella normativa (UNI/TS 11300– 2:2008; 11300– 3:2010;) non sono impostati per supportare l'esatta esecuzione delle procedure previste dalla normativa.

La definizione del contenuto informativo dei DB degli archetipi e degli abachi dipende perciò anche dai dati disponibili sul patrimonio edilizio e dalle finalità dello studio. Essi non contengono solo le informazioni strettamente utili alla esecuzione del calcolo della normativa, ma anche altre informazioni che possono essere utilizzate per verificare la compatibilità con specifiche tecnologie di efficientamento energetico o aspetti di altra natura. Perciò essi devono essere impostati tenendo conto delle finalità specifiche dello studio ed equilibrando le attività di rilievo sul campo e di input manuale con le esigenze di semplificazione e limitazione dei costi.

### 3.3.3 Preparazione dei dati spaziali

Le basi geografiche di partenza necessarie sono essenzialmente due: la base topografica di dettaglio compatibile con le attività di pianificazione urbana (1:2000 -1:1000 – 1:500) e la base di dati del Nuovo Catasto Edilizio Urbano (NCEU), che comprende la mappa urbana e il DB delle visure catastali.

Anche ortofoto, foto oblique e altre informazioni geografiche presenti in rete possono supportare questa fase di pre - processing dei dati spaziali.

L'attività di pre-processing dei dati spaziali è molto dipendente dal tipo di dati di partenza disponibili. La metodologia proposta richiede che si ricavano almeno i seguenti elementi spaziali:

- *Base Geometrica (tabella 3.9)*: mappa che contiene i dati geometrici di base del patrimonio edilizio oggetto del calcolo (footprint, quota di base e di colmo, uso);
- *CXMap*, mappa che contiene i dati geometrici di base del contesto che saranno utilizzati per valutare l'ombreggiamento (modello digitale del terreno o delle superfici aggiornato del contesto);
- *CadMap (tabella 3.10)*, mappa che contiene l'individuazione delle Unità Edilizie ricavate dalla mappa urbana del NCEU ed alcuni dati di sintesi del DB delle visure.

L'unità geografica minima per l'individuazione dell'involucro esterno dell'edificio è il "*Volume Edilizio (VE)*", definito come un manufatto edilizio geometricamente individuabile sulla mappa con la sua impronta al suolo. Esso può eventualmente contenere diverse unità immobiliari o essere parte di un edificio più grande, inoltre è caratterizzato da avere una tipologia di copertura prevalente chiaramente individuabile, da avere una unica quota di gronda e di base assegnabile con accettabile grado di approssimazione. Tale tipo di elemento spaziale è comunemente utilizzato nell'ambito dell'attività urbanistica di controllo della volumetria edificata ed è spesso adottato come l'oggetto spaziale di riferimento della pianificazione particolareggiata.

La *Base Geometrica* è costituita dai poligoni georeferenziati (tabella 3.9) dei VE contenuti nell'area di studio (isolato, quartiere, o intera città), che saranno utilizzati per ricavare le geometrie delle superfici disperdenti degli edifici. Sono inoltre compresi anche altri elementi accessori valutati nel calcolo come tettoie, altri manufatti e i confini del lotto di proprietà.

La *Base Geometrica* può facilmente essere ricavata dalle basi topografiche disponibili tramite operazioni CAD o GIS, ed eventualmente con alcune procedure di geo-processing semi-automatiche. Oltre ai parametri geometrici (perimetro, superficie, etc), ogni VE deve contenere obbligatoriamente gli attributi quota di gronda e quota di base. Inoltre anche altri elementi utili possono essere estratti, se presenti, dalla base topografica: il poligono del lotto urbano, i poligoni di altri elementi accessori quali manufatti edilizi accessori (tettoie, garages, depositi, etc). Se non sono disponibili direttamente i DTM (modello digitale del terreno) e DSM del centro urbano, le altezze degli elementi più influenti per definire l'ombreggiamento possono essere ricavati tramite procedure GIS direttamente dalla base topografica, partendo dai corpi di fabbrica e dai punti quotati.

Le footprint degli edifici estratte dalle basi topografiche disponibili possono non contenere informazioni sulle quote (di gronda e di base), richiedendo perciò alcune attività di editing CAD per ottenere un City BOX model (LoD 1-2). La quota di base può essere ottenuta per interpolazione sui punti quotati della mappa creando un modello digitale del terreno (DTM – Raster 2.5d) con passo di precisione consona alle finalità dello studio (GRID 1x1m, o superiore). Il DTM sarà poi utilizzato per ricavare la quota di base dei corpi di fabbrica come media dei punti ricadenti nella footprint. In caso di mancanza delle quote di gronda, è necessario provvedere all'immissione manuale di nuovi dati. La maniera più semplice è assegnare il numero di livelli fuori terra a ogni corpo di fabbrica tramite input manuale e poi ricavare la quota della gronda e l'altezza dell'edificio sulla base

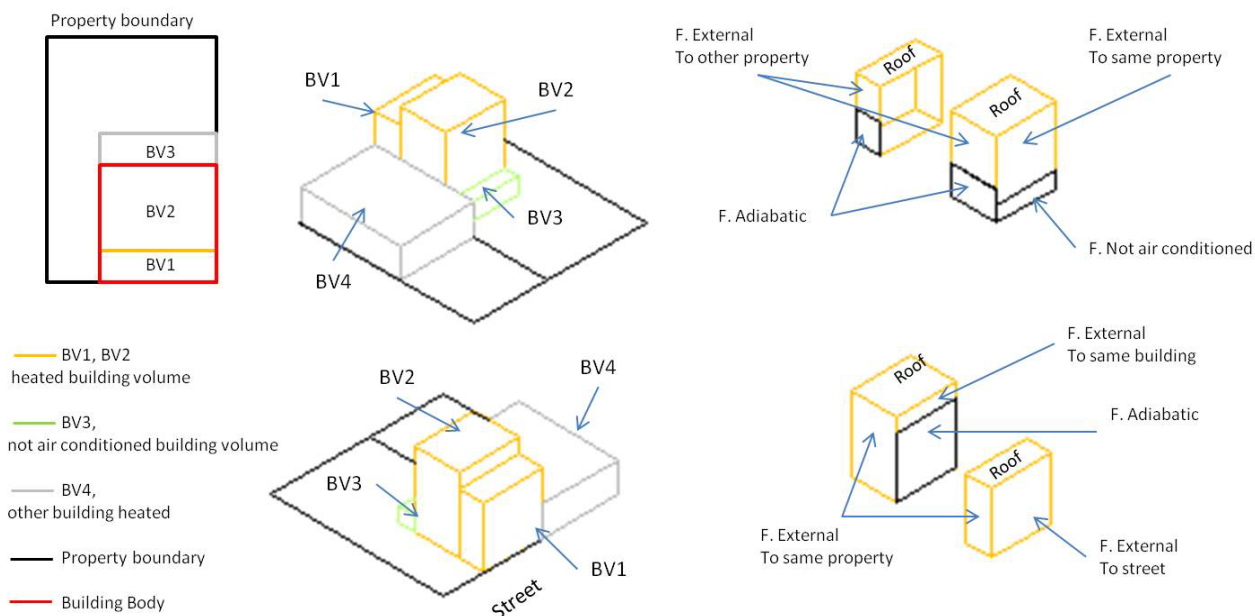
della l'altezza dell'interpiano definita nelle tipologie edilizie. Naturalmente, in caso di maggiore disponibilità di risorse, i corpi di fabbrica possono essere ricavati tramite operazioni di post processing di un rilievo Lidar o dalla produzione di cartografia tradizionale di maggiore dettaglio (scala 1:1000, 1:500) coerente con gli Standard INSPIRE [26].

L'individuazione dell'uso degli edifici è funzionale a definire se il poligono rappresenta un volume climatizzato (edifici residenziali, commerciali, uffici, etc) oppure un volume non climatizzato o altri elementi accessori (tettoie, box auto, parcheggi multipiano, etc).

**Tabella 3.9 - DB struttura della mappa di base dell'UBEM ricavabile dalle basi topografiche**

| BaseMap: BUILDING VOLUME FOOTPRINT FROM TOPOGRAPHIC MAP (SHP POLYGONAL) |                                                                                                            | SOURCE                                     |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| BV_id                                                                   | Unique code of the Building Volume (BV)                                                                    | Pre-processing                             |
| Length                                                                  | Length from polygon shp base data [m]                                                                      | automatic                                  |
| Area                                                                    | Length from polygon shp base data [m]                                                                      | automatic                                  |
| ag                                                                      | Altitude of the base of the building [m]                                                                   | Topographical basis/<br>CAD pre-processing |
| ab                                                                      | Altitude of the building eave [m]                                                                          | Topographical basis/                       |
|                                                                         | a. $ab = [N\_levels] \times [Floor\_H] + ag$                                                               | CAD pre-processing                         |
|                                                                         | b. From topographical map                                                                                  |                                            |
|                                                                         | c. From specific survey (lidar, topographic survey, etc)                                                   |                                            |
| ar                                                                      | Height of the building roof [m]                                                                            | Topographical basis/                       |
| (optional)                                                              | a. $ar = ab + \text{typical height of the roof } [Floor\_H]$                                               | CAD pre-processing                         |
|                                                                         | b. From topographical map                                                                                  |                                            |
|                                                                         | c. From specific survey (lidar, topographic survey, etc)                                                   |                                            |
| Hb [m]                                                                  | Height of the building<br>$Hb = (ab - ag) + (ar - ab)/2$                                                   | Calculated                                 |
| Use                                                                     | A - all the typology of buildings that should have a climate control system (residential, commercial, etc) | Topographical basis/                       |
|                                                                         | B - building that generally doesn't have a climate control system (warehouse,                              | CAD pre-processing                         |
|                                                                         | C - Canopies and other built elements (canopies, car box, car park, etc)                                   |                                            |
|                                                                         | D - Lot                                                                                                    |                                            |

La metodologia prevede l'impostazione della geometria della Unità Edilizia (BB) come composizione di uno o più VE (al massimo possono essere coincidenti) (figura 3.6), perciò se il dettaglio della base topografica non lo consente sarà necessario effettuare alcune operazioni CAD/GIS di separazione e o unione di poligoni. Tale articolazione è simile alle strutture dei DB topografici urbani coerenti con gli standard INSPIRE e permette di definire VE con diverse caratteristiche costruttive alla stessa unità immobiliare. In caso di mappe topografiche di basso dettaglio (1: 5000 – 1:10000), il VE potrebbe contenere diversi edifici, come per esempio nel caso di edifici adiacenti di simile tipologia e forma, oppure, nel caso di mappe più dettagliate (1:2000 ed oltre), il VE potrebbe essere solo una parte dell'edificio, come per esempio parti aventi diversa altezza e tipologia di copertura.



**Figura 3.6 – Definizione dei volumi edilizi (VE) e delle Unità Edilizie (BB)**

La Mappa Urbana, unitamente al DB delle Visure Catastali, può essere utilizzata per ricavare una CatMap (tabella 3.10), che contiene anche altri dati utili al calcolo (n° unità immobiliari, destinazione d'uso, etc) che, grazie al DB unico su tutto il territorio nazionale, sono ricavabili tramite procedure che possono essere standardizzate. Le categorie catastali sono piuttosto articolate e basate sulla redditività dell'uso dell'immobile [27], tuttavia si può definire una matrice di corrispondenza (tabella 3.11) con i tipi di edificio proposti dalla normativa per i calcoli energetici (DPR 412/93 e s. m. i.).

La corrispondenza tra le due classificazioni non è perfetta, in quanto le categorie catastali prevedono casi molto più vari e non pertinenti, tuttavia in ambito urbano dove la maggioranza degli edifici sono adibiti ad abitazione o ad altri usi affini per le finalità di un calcolo energetico si possono prevedere delle corrispondenze, così da poter ottenere per ogni edificio la superficie utile per tipologia di uso delle unità immobiliari in esso comprese (tabella 3.12).

Tale superficie utile è un dato di ingresso della procedura standard usata per la stima dei ricambi d'aria di riferimento per la ventilazione naturale e i guadagni di calore per le attività interne. Considerando la non perfetta sovrapposibilità tra le geometrie della mappa urbana, le basi topografiche più diffuse e i valori delle superfici utili riportati nelle visure, la procedura propone l'uso della ripartizione in percentuale della superficie utile nelle categorie del DPR 412/93, in luogo del valore stesso delle superfici. Tale ripartizione sarà poi utilizzata per suddividere la superficie utile ed i volumi riscaldati calcolati per ogni edificio sulla base delle stesse geometrie utilizzate per il calcolo energetico.

**Tabella 3.10 –DB struttura del CatMap**

| CatMap: BUILDING FOOTPRINT FROM NCEU CADASTAL MAP (SHP POLYGONAL) |                                                                                                                         | SOURCE                                |
|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| BB_id                                                             | Unique code of the Building Body (BB)                                                                                   |                                       |
| N_units                                                           | n°of apartments units                                                                                                   | NCEU data/ pre - processing (tool A2) |
| Sup_Cad                                                           | Indoor Used surface, sum of the surfaces reported on the Cadastral DB                                                   | NCEU data/ pre - processing (tool A2) |
| N_room                                                            | N° of the indoor room, sum of the total rooms reported on the Cadastral DB                                              | NCEU data/ pre - processing (tool A2) |
| U1, .. U7                                                         | Share [%] of cadastral surface that could be considered on one of the categories of building (tabella 3.12)             | NCEU data/ pre - processing (tool A2) |
| Unr                                                               | Share [%] of cadastral surface that could be considered non climatized areas of the building: NR1 and NR2 from table XX | NCEU data/ pre - processing (tool A2) |

**Table 3.11 – Corrispondenza tra categorie catastali e tipologie di edificio proposte dal DRP 412/93 e ss mm**

| UBEP CATEGORIES | BUILDING CATEGORIES, art.3 DPR 412/93 |                              | CADASTRAL CLASSIFICATION                          | SET POINT TEMP. |        | REFER. VENTILATION1 | INDOOR HEAT GAIN2 |
|-----------------|---------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------|--------|---------------------|-------------------|
| CODE            | Cod_412                               | DESCRIPTION                  |                                                   | T.HEAT          | T.COOL | [m3/hour xm2]       | W/m2              |
| U1              | E1.1                                  | households                   | All kind of households (A1, ..., A11) except A/10 | 20              | 26     | 0,3                 | X <sup>3</sup>    |
| U1              | E1.2                                  | Occasional households        |                                                   | 20              | 26     | 0,3                 | X <sup>3</sup>    |
| U2              | E1.3                                  | Hotels and similar           | B/1, B/3, D/2                                     | 20              | 26     | 0,4                 | 6                 |
| U2              | E.2                                   | Offices and similar          | A/10, B/4, E/3,                                   | 20              | 26     | 0,4                 | 6                 |
| U6              | E.3                                   | Hospital and similar         | B/2, D/4,                                         | 22              | 26     | 0,4                 | 8                 |
| U4              | E.4.1                                 | Theatre and similar          | D/3                                               | 19              | 26     | 0,4                 | 8                 |
| U4              | E.4.2a                                | Museum, showroom             | B/6, B/7, E/7, E/1                                | 19              | 26     | 0,4                 | 8                 |
| U4              | E.4.2b                                | Worship place (church, etc)  |                                                   | 19              | 26     | 0,7                 | 8                 |
| U3              | E.4.3                                 | Bar, restaurant, discotheque | C/1                                               | 20              | 26     | 1                   | 10                |
| U3              | E.5                                   | Commercial activities        | C/1, D/8, D/5,                                    | 20              | 26     | 0,4                 | 8                 |
| U7              | E6.1                                  | Swimming pool and similar    | C/5                                               | 28              | 26     | 0,7                 | 10                |
| U5              | E6.2                                  | Gym and similar              | C/4                                               | 18              | 26     | 0,6                 | 5                 |
| U5              | E6.3                                  | buildings for sport          | D/6                                               | 18              | 26     | 0,6                 | 4                 |
| U2              | E7                                    | Schools and similar          | B/5                                               | 20              | 26     | 0,5                 | 4                 |
| U5              | E8                                    | Craft or factory workshop    | C/3, D/1, D/7, D/10                               | 18              | 26     | 0,5                 | 6                 |
| Unr             | NR1                                   | Warehouse unconditioned      | B/8, C/2,                                         | -               | -      | -                   | -                 |
| Unr             | NR2                                   | Other not conditioned units  | B/8, C/6, C/7, E/2, E/4, E/5, E/6, E/8, E/10, D/9 | -               | -      | -                   | -                 |

<sup>1</sup>data summarised from standard UNI 10339: 2008 and UNI 11300:2008 -1 par 12. The ventilation value is multiplied by the average units surfaces calculated from the data on the CadMap

<sup>2</sup> Unitarian heat gain for indoor activities (table 8 from UNI 11300:2008 -1),

<sup>3</sup>values for residential use is based on useful surface and a standard calculation (point 13.1.1 of the UNI 11300:2008-1)

**Tabella 3.12 – Categorie proposte per l'approccio UBEM**

| CODE | DESCRIPTION                                                | T.HEAT | T.COOL | [m3/hour xm <sup>2</sup> ] | W/m <sup>2</sup> |
|------|------------------------------------------------------------|--------|--------|----------------------------|------------------|
| U1   | Residential units                                          | 20     | 26     | 0,3                        | X3               |
| U2   | Similar to residential uses: hotels, offices, schools, etc | 20     | 26     | 0,5                        | 6                |
| U3   | Dense public uses: Commercial units, Bar, restaurant, etc  | 20     | 26     | 0,8                        | 8                |
| U4   | Ligh public use: theatre, museum, church, etc              | 19     | 26     | 0,6                        | 8                |
| U5   | Low heated uses: gym, workshop                             | 18     | 26     | 0,6                        | 5                |
| U6   | Hospital and similar                                       | 22     | 26     | 0,4                        | 8                |
| U7   | Swimming pool and similar                                  | 28     | 26     | 0,7                        | 10               |
| Unr  | not air conditioned units                                  |        |        |                            |                  |

### 3.3.4 Input manuale e rilievo urbano

La base geometrica è poi arricchita da alcuni altri dati necessari a eseguire il calcolo della UNI 11300, che possono essere assegnati tramite rilievo urbano o tramite la caratterizzazione dell'archetipo (n° livelli, colore della muratura, etc) (tabelle 3.13 - 14). La scelta dipende dal dettaglio della cartografia di base disponibile e dalle risorse per effettuare il rilievo urbano: in linea generale l'uso di più dati assegnati per archetipo limita i casi di rilievo, ma diminuisce la rappresentatività del modello. Anche le assegnazioni possono essere fatte per Unità Edilizie (BB) e/o per volume edilizio (VE), in funzione del dettaglio che si vuole ottenere nel rilievo. L'input manuale può essere supportato e facilitato impostando in maniera conveniente delle interfacce di rilievo in ambiente GIS.

In ogni caso, la finalità principale di questa fase è associare a ogni edificio il proprio archetipo edilizio, in modo da consentire la prosecuzione della metodologia di calcolo. In linea teorica il rilievo urbano si potrebbe spingere fino alla definizione della maggior parte dei parametri necessari per l'esecuzione della procedura della UNI 11300 che, soprattutto per il calcolo in Asset rating, può essere eseguito sulla base di un sopralluogo speditivo. Ciò potrebbe essere compatibile con studi rivolti a gruppi di edifici di numerosità limitata, ma nel caso più generico, a cui si indirizza questa metodologia, si sono individuati alcuni dati che si dovrebbero assegnare da rilievo urbano o in maniera semplificata facendo ricorso al solo archetipo assegnato all'edificio.

Alcuni dati rilevati sono direttamente coinvolti nella definizione delle superfici disperdenti. Considerando che si tratta di una assegnazione manuale, può essere utile, con uno sforzo trascurabile, aggiungere anche altre informazioni non direttamente coinvolte nel calcolo energetico (es: stato di conservazione, uso del piano terra, etc), ma che possono essere utili per lo studio delle possibili azioni di recupero e efficientamento energetico.

Oltre alla tipologia edilizia, che è il valore strettamente necessario alla esecuzione della metodologia, si può prevedere l'assegnazione tramite interfaccia GIS dei seguenti dati:

- colore prevalente della muratura,
- n° di livelli fuori terra;
- tipo di limite inferiore e superiore del volume riscaldato;
- morfologia di copertura;
- numero di vani scala
- altri valori opzionali: presenza di balconi e verande, inclinazione tetto, conservazione, etc.

Il colore della muratura, ed eventualmente anche dei manti di copertura, è un dato di input per il calcolo del flusso termico relativo all'irraggiamento solare nelle superfici opache. Il dato può convenientemente essere assegnato per unità edilizia, in quanto in genere sono caratterizzate da una unica finitura. Per le coperture il colore può essere legato al tipo di manto o rilevato in maniera diretta per ogni VE o UE.

Il numero di livelli fuori terra è fondamentale per calcolo della superficie utile dell'edificio, che è un parametro centrale per la definizione degli indici di performance energetica ed è contenuto in diverse formule anche del fabbisogno dell'involucro. L'assegnazione può essere effettuata con diverse modalità:

- assegnazione per tipologia edilizia;
- manuale, sui poligoni dei VE o delle UE;
- definita tramite algoritmi automatici che suddividono in livelli l'altezza dei volumi edilizi VE per un'altezza media di interpiano definita per tipo.

L'assegnazione per tipologia edilizia può essere utile in caso di poca variabilità dei tipi del contesto locale, perché altrimenti richiederebbe di impostare un gran numero di tipi basato anche sul numero di livelli fuori terra. L'uso delle altre due modalità è funzionale alle risorse disponibili per lo studio. Probabilmente l'opzione migliore è l'assegnazione dei livelli ad ogni VE, in quanto le quote e le altezze si riferiscono a tale elemento geometrico.

La morfologia della copertura può essere assegnata convenientemente per tipo o da rilievo urbano; ciò dipende dalla variabilità delle tipologie edilizie presenti nel contesto, tuttavia, in caso di input manuale, una definizione per VE è preferibile. La morfologia della copertura può spesso essere ricavabile con procedure automatiche dalla cartografia di base, come dato specifico o con l'indicazione della quota del colmo. Qualora sia disponibile un rilievo LiAIR può essere dedotta dall'analisi di tali dati.

Nel presente caso si propone l'utilizzo della sola distinzione tra coperture orizzontali e inclinate, grazie alle quali, attraverso l'archetipo dell'involucro, si ricavano le caratteristiche fisiche delle strutture.

Il numero dei pozzi scala è un dato tipologico riferito al corpo edilizio, ed è utilizzato per stimare le superfici disperdenti verso vani non riscaldati, qualora le geometrie non siano disponibili nella mappa topografica di base o per il basso dettaglio o perché completamente ricompresi nel corpo edilizio. Anche questo dato di input potrebbe essere tralasciato per semplificare le procedure di rilievo, oppure assegnato direttamente nella definizione dell'archetipo stesso, considerando convenientemente i perimetri dei corpi scala.

I limiti inferiore e superiore definiscono i confini della zona termica e, oltre che essere utilizzati per individuare i coefficienti di trasmissione del calore verso i locali non riscaldati proposti dalla normativa, possono contribuire alla definizione delle superfici disperdenti contro terra e anche delle superfici utili. Tuttavia, utilizzare direttamente le classi di locali confinanti proposti dalla normativa porterebbe complicazioni in sede di rilievo, perciò si ritiene necessario sviluppare dei nuovi valori più facilmente osservabili tramite rilievo urbano.

La presenza di balconi o altri elementi di schermo dell'edificio è abbastanza variabile anche tra corpi di fabbrica dello stesso tipo e per le facciate principali il dato può essere facilmente rilevato da foto oblique o tramite sopralluogo. Il rilievo potrebbe essere una valutazione di presenza/assenza che poi porta all'uso di balconate tipo inserite nella definizione di tipologia edilizia, oppure impostato su una semplice variabile qualitativa (es: assente, balconate piccole, balconate grandi, etc).

**Tabella 3.13 – Proposta di struttura della mappa delle unità edilizie**

| BBMAP: MAP OF THE BUILDING BODY FOOTPRINT DEFINED BY MANUAL (CAD-GIS) AGGREGATION OR SEPARATION OF BaseMap AND CadMap elements (POLYGONAL SHP) |                                                                                                                            | SOURCE                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Bui_ID                                                                                                                                         | Unique code of the Building                                                                                                | Manual Input                   |
| Arc_ID                                                                                                                                         | Code of the archetype                                                                                                      | manual Input                   |
| N_units                                                                                                                                        | N°of apartments units                                                                                                      | Derived from CadMap            |
| CU1, ..., CU7                                                                                                                                  | Share [%] of the air-conditioned building indoor surface from the categories of building uses (table 8 - U1, U2, ..., U7)  | Derived from CadMap            |
| CNR                                                                                                                                            | Share [%] of not air-conditioned indoor surface from the table 8 (UNr)                                                     | Derived from CadMap            |
| Wall_color                                                                                                                                     | It defines the heat solar gain factor of external wall: light 0,3- average 0,6 – dark 0,9 (UNI/TS 11300-1:2008; par. 14.2) | manual Input /<br>by archetype |
| N_stair w<br>(optional)                                                                                                                        | N° of the stairwell of the typical floor plan                                                                              | manual Input /<br>by archetype |
| Conservation of structures<br>(optional)                                                                                                       | Assessment of the structures conservation: good, average, poor, etc.                                                       | Manual Input                   |
| Roof_AZ<br>(optional)                                                                                                                          | Azimuth Direction of the main roof surface                                                                                 | manual Input /<br>by archetype |
| Roof pitch<br>(optional)                                                                                                                       | Typical slope of the roof                                                                                                  | manual Input /<br>by archetype |

**Tabella 3.14 – Proposta di struttura della mappa dei volumi edilizi**

| BVMap: BUILDING VOLUME FOOTPRINT PLUS MANUAL INPUT AND BUILDING CODE (SHP POLYGONAL) |                                                                                                                                    | SOURCE                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| BV_ID                                                                                | Unique code of the Building Volume                                                                                                 | Derived by BaseMap                           |
| Bui_ID                                                                               | Code of the Building to which the Building Body belongs                                                                            | Derived by BBMap                             |
| ag                                                                                   | Altitude of the base of the building [m]                                                                                           | Derived by BaseMap                           |
| ab                                                                                   | Altitude of the building eave [m]                                                                                                  | Derived by BaseMap                           |
| USE                                                                                  | A, B, C, D                                                                                                                         | Derived by BaseMap                           |
| Arc_ID                                                                               | Code of the archetype                                                                                                              | Derived by BBMap                             |
| Wall_color                                                                           | Heat solar gain factor of external wall                                                                                            | Derived by BBMap/<br>Manual input            |
| Balcony                                                                              | Presence of balcony on the main facade, if present the calculation consider typical the reduction factor reported on the archetype | Manual input /<br>by archetype               |
| B_levels                                                                             | N° of levels                                                                                                                       | Manual Input/<br>by archetype/<br>calculated |
| Base_type                                                                            |                                                                                                                                    | Manual Input /<br>by archetype               |
| Roof_tipe                                                                            | Roof typology: flat, pitched (or others more detailed typologies)                                                                  | Manual Input /<br>by archetype               |

### 3.3.5 Tools di supporto alla fase di pre – processing

La fase di preparazione dei dati di ingresso per il calcolo energetico si conclude con l'esecuzione di due procedure (tool A1, A2) in ambiente GIS, che supportano nella preparazione dei file geografici necessari al calcolo standard (UNI 11300 TS).

Il tool A1 supporta nella assegnazione dei codici univoci di tutti gli elementi geografici che prendono parte alla modellazione energetica (UE, VE, Lotti, etc), e tramite una serie di *join* spaziali e procedure di controllo delle geometrie componenti la base geometrica.

Il tool (A2\_Volumi Superfici) effettua i calcoli geometrici di base per ogni VE e li raggruppa per unità edilizia (BB), e in particolare sono calcolati:

- a) le altezze alla gronda e del tetto, da cui ricavare i volumi e le superfici utili lorde dei VE, che sono poi raggruppati per UE;
- b) i numero di piani climatizzati, che poi sono utilizzati per stimare le superfici ed i volumi climatizzati;
- c) le superfici e i volumi climatizzati lordi.

Il calcolo dei volume delle altezze effettuato dal tool A2 è banale e utilizza gli attributi delle quote contenuti nei VE del DBGT RAS e l'area dei poligoni calcolata dal GIS stesso. Una procedura specifica è stata sviluppata per ricavare i livelli climatizzati basata su tre variabili rilevati tramite rilievo urbano per ogni VE:

- n° livelli, quelli fuori terra più quelli interrati - seminterrati ed esclusi i sottotetti;
- base tipo, che assegna il tipo di attacco al suolo, che in alcuni casi sono seminterrati abitabili e perciò considerati climatizzati;
- sottotipo, che assegna il tipo di confine superiore della zona termica, che in alcuni casi sono sottotetti abitabili e perciò ritenuti climatizzati.

Il numero di livelli climatizzati determina la superficie lorda climatizzata, che poi sarà la base per il calcolo delle superfici nette.

Riassumendo, i risultati dei tools di pre-processing sono:

- *A1\_Base\_geometrica*: unione dei VE, Par, Man e lotto del DBGT provvisti di opportuni codici;
- *A2\_BV\_Volumi\_Superfici, geometrie dei VE*, con i volumi e superfici utili lorde e climatizzate;
- *A2\_BB\_Volumi Superfici, geometrie delle UE*, con la sommatoria per unità edilizie dei volumi e superfici utili lorde e climatizzate.

Lo sviluppo del caso studio ha mostrato che ci possono essere forti differenze tra il numero di livelli rilevato e l'altezza dell'edificio ricavata dalla differenza di quota tra gronda e base dell'edificio ( $hb = ab - ag$ ), perciò, per evitare forti discordanze e rendere più coerenti i calcoli, si è sviluppata una procedura di "correzione delle quote di base" degli edifici.

Si tratta di una procedura che sarà approfondita nel prossimo annuità, che per limitare gli errori grossolani senza però eliminare completamente il dato topografico (che è comunque il risultato di una procedura di restituzione cartografica rigorosa) interviene solo nei casi di forti differenze tra  $hb$  e una  $hlim$  definita sulla base dei livelli fuori terra. La procedura identifica gli edifici con uno scostamento tra  $hlim$  ed  $hb$  maggiore di una quantità settabile e, tenendo come punto fisso la quota di gronda ( $ab$ ), propone un'altra quota di base ( $ag_r$ ), considerando anche il tipo di chiusura di base e di limite superiore della zona termica. La nuova  $ag_r$  prende parte anche nella determinazione delle superfici verticali disperdenti verso terra, e contribuirà a limitare le discrepanze dovute a errori della base topografica o condizioni particolari.

### 3.4 Analisi geometriche

L'analisi delle geometrie riguarda la determinazione dei dati di input geometrici necessari allo svolgimento del calcolo energetico (UNI TS 11300): l'obiettivo è di eseguire in questo step tutti i calcoli che sono legati direttamente alla analisi delle geometrie che richiedono l'esecuzione di algoritmi più pesanti a livello computazionale e che non siano legati ai materiali dell'involucro. In questo modo tutti calcoli successivi alla esecuzione di questi algoritmi saranno essenzialmente legati alla assegnazione delle strutture edilizie e richiederanno procedure di semplice calcolo analitico tra DB. I layers di input sono quelli definiti durante la fase di pre – processing, ossia (figura 3.7):

- *A1\_Base\_geometrica*: unione dei VE, Par, Man e lotto del DBGT provvisti di opportuni codici;
- *A2\_BV\_Volumi\_Superfici*, basati sulle geometrie dei VE;
- *A2\_BB\_Volumi\_Superfici*, basati sulle geometrie dei BB;
- *Cx\_MAp*, ossia i modelli DSM, aggiornati sulla base dello stato attuale;
- tipi edilizi dell'involucro: tabelle con i dati che definiscono il tipo edilizio;
- tabelle inerenti riferimenti normativi: irraggiamento solare, fattori di schermatura, etc.

In questo paragrafo si presenta la struttura del tolset *B\_Geometry Analysis*. Si tratta di un gruppo di algoritmi che comprendono sia calcoli analitici tra DB tabellari sia routine di geo-processing, che si basano sui files impostati secondo precisi requisiti nella fase di pre-processing, perciò si configurano come procedure già esportabili in altri contesti, ma mantengono la modularità e flessibilità per rispondere eventuali nuove esigenze. Gli algoritmi sono stati implementati nel modellatore grafico di QGIS 3.14. Essi sono una composizione di operazioni elementari abbastanza semplici, che saranno modificate e migliorate anche sulla base dei risultati e delle criticità rilevate in sede di sviluppo del caso di studio. Inoltre gli stessi risultati sono comunque ottenibili tramite procedure differenti e sviluppabili in qualunque ambiente GIS anche in cloud, perciò per i dettagli dei codici utilizzati si rimanda al DB geografico allegato (Allegato 1 – DB geografico), mentre in questa sezione sono descritti gli algoritmi in maniera più discorsiva, come supporto alla esplorazione dei modelli allegati.

Più specificatamente, i tools effettuano i seguenti calcoli (figura 3.7):

- B1, ricava dai VE tutte le superfici disperdenti verticali e ne calcola superfici esterne, elementi confinati, orientamento;
- B2, effettua lo studio dello sky view per ogni facciata, cercando di attuare la procedura della normativa;
- B3, calcola i fattori di riduzione dell’apporto solare per ogni superficie esterna, applicando i prospetti della normativa;
- B4, calcola i fattori di riduzione dell’apporto solare per ogni superficie esterna, dove siano presenti elementi come tettoie, applicando i prospetti della normativa;
- B5, calcola le dispersioni per extraflusso verso la volta celeste di ogni superficie esterna con la procedura della normativa;
- B6, determina il valore di irraggiamento utile unitario per ogni superficie esterna utilizzando il profilo climatico della normativa.

Il tool B1 ricava tutti i valori geometrici necessari alle fasi successive, e ricava un nuovo elemento geometrico che sarà utilizzato per i calcoli energetici le superfici disperdenti. I tool B2, B3, B4 effettuano solo dei passaggi funzionali alla esecuzione della procedura di calcolo, cioè ricavano dei valori che servono alla determinazione dell’irraggiamento solare unitario sulle superfici esterne (tool B6), che è poi la base per il calcolo dei guadagni solari. Il tool B5 ricava i fattori di vista della volta celeste per il calcolo delle perdite di calore per extraflusso che partecipano al calcolo dello scambio termico per trasmissione. Nel seguito si entra più nel dettaglio dei diversi algoritmi.

Gli output sintetici della fase di analisi geometrie sono i seguenti layers:

- *B1\_FA\_superfici\_disperdenti, facciate con analisi elementi confinanti, superfici e orientamento;*
- *B1\_BV\_Coperture e basi;*
- *B1\_BB\_Superfici\_disperdenti, somma per edificio delle superfici disperdenti;*
- *B5\_FA\_ExFhor, fattori di vista del cielo per il calcolo dell’extraflusso verso la volta celeste;*
- *B6\_BV\_Isolo, B6\_FA\_IsolEV\_IsolSV: file con irraggiamento unitario utile.*

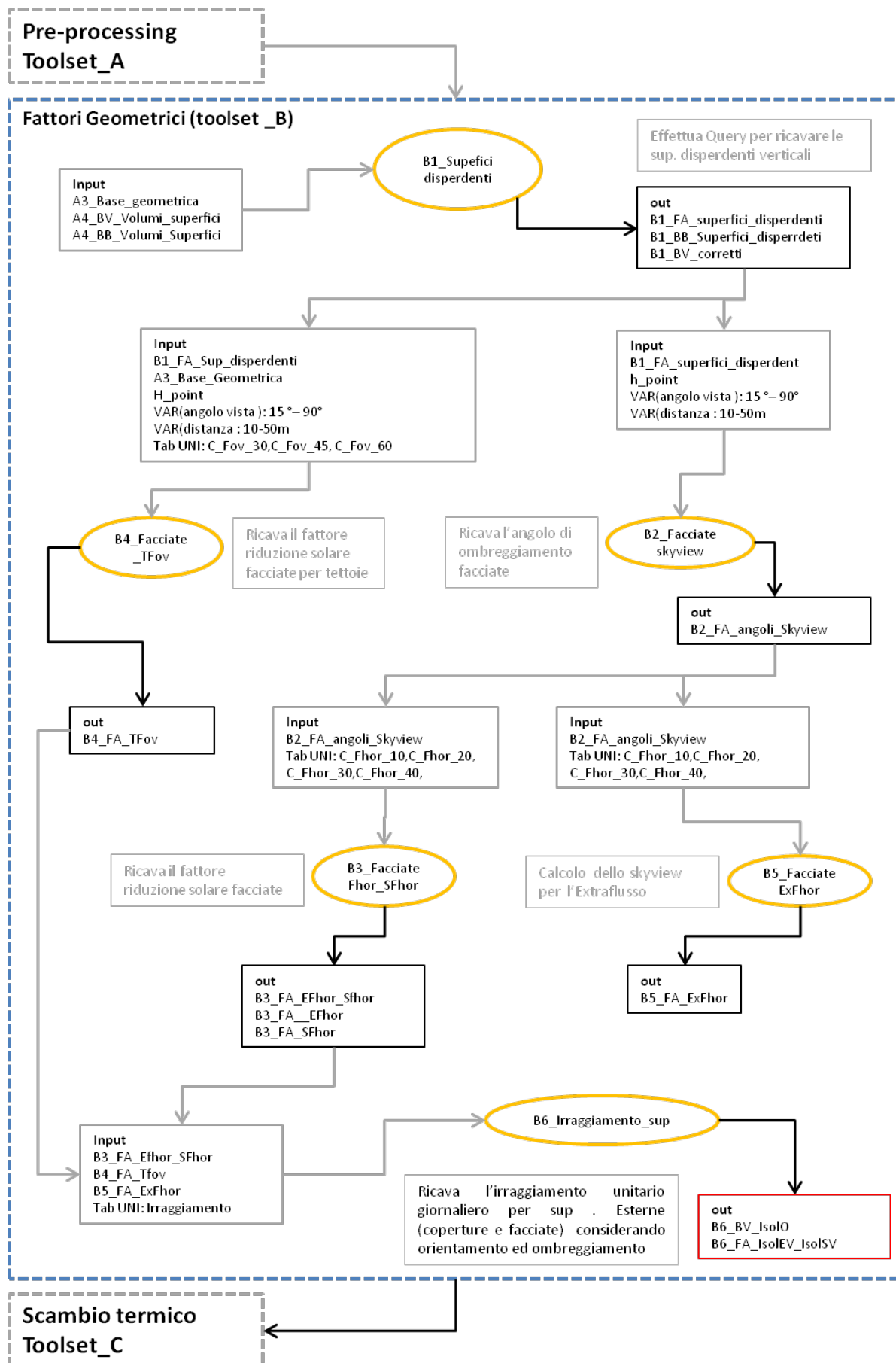


Figura 3.7 - Schema logico dei tools per lo studio delle geometrie

### 3.4.1 Superficie utile e volume riscaldato

Partendo dal Layer A2\_BB\_Superfici\_Volumi, il tool B1 ricava le superfici e i volumi climatizzati netti moltiplicando i fattori di utilizzo inseriti nella caratterizzazione di tipologia edilizia (piani seminterrati, sottotetti e livelli intermedi) per i rispettivi valori lordi.

Per le tipologie edilizie per le quali non siano presenti degli studi specifici dell'incidenza della superficie utile, si utilizzano le semplificazioni della normativa per gli edifici residenziali e affini in caso di calcolo in Asset Rating.

La normativa fornisce alcune formule empiriche (5) (6) per determinare in maniera semplificata e univoca la superficie utile (UNI/TS 11300-1: 2008, par 13.3) e il volume riscaldato (prospetto 7, UNI/TS 11300-1: 2008) partendo dal footprint dell'edificio. La superficie utile e il volume riscaldato sono dati di ingresso per calcolare i guadagni di calore interni (UNI 11300-1, cap. 13.1), le perdite per ventilazione (UNI 11300-1, cap 12.1), il fabbisogno annuo standardizzato di ACS (UNI/TS 11300-2: 2008) e i parametri di efficienza rapportati alla superficie utile.

$$ASuf\_share = 0,9761 - 0,3055 * [Thk] \quad (5)$$

$$AVol\_share = 0,6 \text{ per } [Thk] > 45\text{cm oppure } = 0,7 \text{ per } [Thk] \leq 45\text{cm} \quad (6)$$

- ASuf\_share = percentuale di superficie riscaldata sulla lorda;
- AVol\_share = percentuale di volume riscaldato sulla lorda;
- [Thk] = spessore della muratura preso dell'abaco delle strutture sulla base del valore inserito nell'archetipo.

### 3.4.2 Superfici disperdenti

Il tool B1 è dedicato al calcolo delle superfici disperdenti dell'involucro, partendo dalla A2\_BV\_Volumi\_Superfici, basati sulle geometrie dei VE. Il tool ricava per ogni VE gli elementi geometrici che costituiscono l'involucro (facciate, coperture e basamento) e poi ne aggrega e riassume i risultati per unità edilizia

Per studiare le superfici disperdenti verticali, l'algoritmo genera prima uno shape lineare come divisione del perimetro del poligono in segmenti per ogni sua intersezione con i BV o altri accessori (*B1\_FA\_superfici\_disperdenti*), ogni segmento rappresenta una superficie verticale disperdente ed è poi identificato con un codice univoco e conserva tutti dati del VE originario (altezze, quote, tipo edilizio, periodo, etc).

Successivamente effettua un *buffer del segmento* e ricava il suo punto medio ( $P_2$ ), che è perciò il punto medio normale a ogni facciata, che conserva tutti i riferimenti dell'elemento di partenza. Tramite uno *Spatial Join* tra ( $P_2$ ) e la base geometrica, seguita da un successivo *field join* basato sul codice univoco di [fac\_id], si possono importare sul file delle facciate (*B1\_FA\_superfici\_disperdenti*) i valori degli elementi adiacenti utili, a impostare alcune query finalizzate a definire le caratteristiche delle superfici disperdenti, ossia altezze e quote, tipo di elemento e codice identificativo (ab1, ag1, USE1, BUI\_ID1).

Sulla base dei valori di chiusura di base (vedi precedente tabella 3.5) assegnati nel rilievo, le prime query definiscono i valori delle superfici disperdenti verso terra e modificano la quota di base del volume riscaldato qualora siano presenti piani pilotis o ambienti non riscaldati al piano terra.

Poi si impostano alcune semplici procedure basate sulla differenza tra le quote degli edifici adiacenti, per definire le superfici disperdenti della facciata: esterna (Se), interna riscaldata (Si), interna non riscaldata (Sn), contro terra (Sg). Si assegnano così anche i coefficienti di trasmissione verso gli ambienti confinanti della normativa, a seconda del tipo di superficie disperdente.

Si assegna il tipo di affaccio (verso strada, verso cortile interno, verso stesso edificio o verso altri edifici), che permette di assegnare i rapporti finestrati (GIR\_a, GIR\_b, GIR\_c, GIR\_d) contenuti nella tabella della tipologia edilizia (vedi precedente tabella 3.3).

Il tool B1 calcola con semplici formule geometriche la direzione della normale (AZn) uscente da ogni superficie verso l'esterno utilizzando le coordinate dei punti medi  $P_1(X_1, Y_1)$  dei segmenti iniziali e dei punti normali  $P_2(X_2, Y_2)$  ricavati in precedenza (figura 3.8).

La superficie esterna sarà poi utilizzata per il calcolo delle superfici vetrate sulla base dei rapporti finestrati e per la valutazione dei fattori di riduzione solare per ombreggiamento. Mentre le superfici verso locali non riscaldati

sono associate ai coefficienti di trasmissione del calore, le superfici verso locali climatizzati sono considerate adiabatiche e non prendono parte al calcolo.

Le geometrie delle superfici disperdenti orizzontali di base e di copertura coincidono con quelle dei VE di ingresso (A2\_BV\_Volumi\_Superfici). Il file viene aggiornato con gli attributi relativi ai coefficienti di trasmissione del calore dei limiti superiori ed inferiori della zona termica ( $r_{btr}$ ,  $g_{btr}$ ), incrociando i dati rilevati (basi e coperture) con quelli contenuti nella tipologia edilizia. Inoltre si calcola la superficie vetrata in copertura tramite l'apposito GIR. Tramite l'ID della tipologia edilizia si assegnano i coefficienti di trasmissione e nel caso delle coperture si calcola la superficie vetrata.

Infine il tool aggiorna la mappa delle unità edilizie (A2\_BB\_Volumi Superfici), con la somma di tutte le superfici disperdenti dei VE appartenenti allo stesso edificio. Questa base geometrica è utilizzata per stimare, sulla base dei valori contenuti nella tipologia edilizia, le superfici disperdenti verso il vano scala non riscaldato ricompreso nell'involucro edilizio e l'incidenza del vano sulla superficie del piano, che sarà considerata nella determinazione delle superfici utili.

Le prime verifiche di coerenza dei risultati hanno però mostrato che questo aspetto assegnato per tipo edilizio può generare forti incoerenze nella determinazione delle superfici utili. Infine si calcola il rapporto tra superficie disperdente e volume climatizzato netto ( $S/V$ ) per ogni edificio.

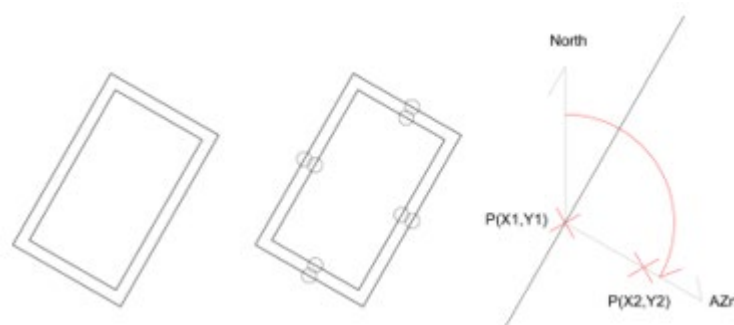


Figura 3.8 - Calcolo della direzione azimutale della normale alla facciata

### 3.4.3 Ombreggiamento delle facciate e irraggiamento solare

Questa serie di algoritmi permette di determinare un valore di irraggiamento solare giornaliero medio mensile utile per ogni superficie esterna. I file di ingresso sono perciò (vedi figura 3.7):

- *B1\_FA\_superfici\_disperdenti*, ottenuto in precedenza;
- *B1\_BV\_Coperture e basi*, ottenuto in precedenza;
- *Cx\_MAp*, ossia il modello DSM aggiornato del contesto;
- tabelle della normativa: fattori di riduzione per ostacoli esterni;
- tabelle della normativa: fattori di riduzione per schermi orizzontali dell'edificio;
- tabelle della normativa: irraggiamento solare medio giornaliero mensile per superfici verticali aventi le otto direzioni azimutali principali (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO).

#### 3.4.3.1 Procedura della normativa per l'analisi del contesto

La norma (UNI 10349 e UNI 8477/1) fornisce l'irraggiamento solare giornaliero medio mensile in condizione di assenza di ombreggiamento per ogni capoluogo di provincia. La versione precedente della norma (UNI 10349: 1994) forniva l'irraggiamento globale per superfici orizzontali e verticali valutate nei loro principali orientamenti azimutali, la versione aggiornata riporta i valori di radiazione diretta e diffusa su superficie orizzontale non schermata e propone una procedura basata su un modello semplificato di cielo isotropico di Perez per il calcolo dell'irraggiamento sulle superfici verticali variamente orientate.

In ogni caso la procedura della normativa (UNI 10349) riporta l'irraggiamento sulle coperture come privo di ombre, mentre per valutare l'influenza del contesto si deve ricorrere alla normativa tecnica per il calcolo

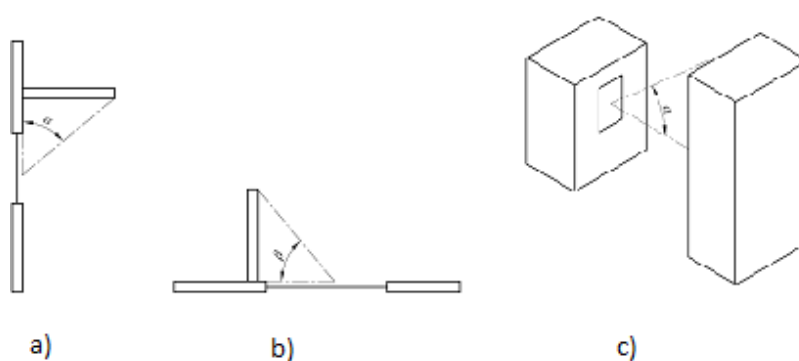
energetico negli edifici (UNI TS 11300 parte 1), che considera le coperture prive di ombre, mentre introduce un coefficiente di riduzione per ombreggiamento ( $F_{sh}$ ) sulle superfici verticali definito in funzione di tre parametri angolari: due relativi alla schermatura generata dagli elementi aggettanti verticali e orizzontali dello stesso edificio (angoli  $a$ ,  $b$  - figura 3.9) e un terzo angolo relativo agli ostacoli esterni che deve essere definito in base al contesto tramite un parametro angolare  $u$  (angolo  $c$  - figura 3.9):

- angolo  $u$ , determina il fattore di riduzione per ostacoli esterni ( $F_{hor}$ );
- angoli  $a$  e  $b$ , determinano i fattori di riduzione per ostacoli verticali ( $F_{fin}$ ) e orizzontali ( $F_{ov}$ ) di elementi dello stesso edificio (es: balconi, tettoie, nicchie, mazzette delle finestre, etc).

Questi fattori di riduzione devono essere stimati per ogni superficie trasparente e sono anche utilizzati per il calcolo dell'irraggiamento solare efficace per le superfici opache. La norma fornisce delle tabelle (*prospetti D1-D36, UNI 11300-1*) che riportano il valore dei fattori di riduzione ( $F_{hor}$ ,  $F_{fin}$ ,  $F_{ov}$ ) per le superfici verticali ubicate a diverse latitudini e con diversi orientamenti; tale valore varia in funzione dei valori angolari relativi alle ostruzioni (figura 3.10).

La vecchia normativa (UNI 11300:2008) ricavava il valore del fattore di riduzione complessivo come moltiplicazione dei tre fattori (7), mentre la versione attualmente vigente (8) considera il fattore per ostacoli esterni e solo il più limitante tra quelli legati agli elementi dell'edificio ( $F_{fin}$ ,  $F_{ov}$ ). Il valore così ricavato sarà poi moltiplicato al valore di irraggiamento globale fornito sempre dalla norma per superfici con il medesimo orientamento.

Per tutti i valori intermedi di orientamento e degli angoli, rispetto a quelli riportati in tabella, si procede per interpolazione lineare.



**Figura 3.9 – Definizione dell'angolo di ostruzione: a) e b) ostruzioni orizzontali e verticali dell'edificio, c) ostruzioni esterne.**

Monthly Fhor values (January), by different latitude (UNI 11300 1)

| Obstruction angle | 36° N latitudine |      |      | 38° N latitudine |      |      | 40° N latitudine |      |      |
|-------------------|------------------|------|------|------------------|------|------|------------------|------|------|
|                   | S                | E/O  | N    | S                | E/O  | N    | S                | E/O  | N    |
| 0°                | 1,00             | 1,00 | 1,00 | 1,00             | 1,00 | 1,00 | 1,00             | 1,00 | 1,00 |
| 10°               | 0,97             | 0,86 | 0,83 | 0,95             | 0,85 | 0,83 | 0,94             | 0,83 | 0,83 |
| 20°               | 0,85             | 0,67 | 0,67 | 0,82             | 0,65 | 0,67 | 0,77             | 0,63 | 0,67 |
| 30°               | 0,46             | 0,47 | 0,52 | 0,34             | 0,45 | 0,52 | 0,25             | 0,44 | 0,52 |
| 40°               | 0,05             | 0,37 | 0,38 | 0,05             | 0,33 | 0,38 | 0,05             | 0,30 | 0,38 |

Figura 3.10 – Esempio di prospetto standard per il calcolo del fattore di ostruzione (tabelle D1-D36, UNI 11300-1)

$$F_{sh} = F_{hor} * F_{ov} * F_{fin} \quad (7)$$

$$F_{sh} = F_{hor} * \min (F_{ov}, F_{fin}) \quad (8)$$

- Fhor= fattore di ombreggiamento per ostacoli esterni,
- Fov, Ffin = fattori di ombreggiamento per ostacoli dell'edificio
- Fsh = fattore di riduzione dell'apporto solare

#### 3.4.3.2 Tool GIS per il calcolo dell'irraggiamento solare sulle superfici verticali

Tutti i valori angolari richiesti dalla normativa per la stima del fattore di riduzione solare si basano su rilievi nella singola unità immobiliare e prevedono una loro valutazione per ogni finestra. Ciò non è ovviamente facilmente eseguibile alla scala urbana principalmente perché non si dispone del dato geometrico delle finestre, e quindi si renderebbe necessaria una attività di rilievo non compatibile con le finalità dello strumento.

Il fattore di riduzione solare più impattante sul calcolo è quello relativo agli ombreggiamenti per il contesto esterno (Fhor), per il quale si è sviluppato un algoritmo GIS apposito basato sui dati topografici disponibili. Il parametro angolare per ostruzioni esterne (u) è definito come l'angolo zenitale che si forma tra il centro della superficie verticale presa in considerazione e il colmo dell'ostruzione normale ad essa: la normativa, con un intento semplificativo, immagina le due superfici indefinitamente parallele in modo da poter assumere un solo valore di u, facilmente deducibile dalla osservazione del contesto.

Esistono un gran numero metodologie e modelli di trasposizione solare [28, 29] anche sviluppati in ambiente GIS [30], che permettono il calcolo dell'irraggiamento solare su superfici orizzontali variamente orientate e inclinate, tuttavia la maggior parte di questi strumenti non è adatto alla valutazione su superfici verticali e presenta ipotesi di base e procedure non sempre compatibili con l'approccio della normativa. Perciò per mantenere il più possibile dei risultati confrontabili con quelli del calcolo standard, si è deciso di applicare il più fedelmente possibile l'approccio proposto dalla norma.

È però impossibile fornire manualmente il valore di u per ogni finestra perciò si è implementato un tool capace di definirlo per ogni facciata dalla cartografia disponibile, basato sulla definizione dell'Urban Horizontal Angle (UHA) [31], che presenta una notevole similitudine con la definizione dell'angolo u introdotta dalla normativa. Per introdurre nella metodologia di calcolo i fattori di riduzione legati agli elementi dell'edificio (Flin, Fov) si può procedere in vari modi:

- inserimento nella caratterizzazione delle tipologie;
- stima in sede di rilievo urbano come presenza o assenza di elementi nella facciata principale (balconi, tettoie, etc);
- ricavo con procedure semi automatiche dal DB topografico di base.

Nel presente caso studio, sfruttando il dettaglio del DBGT disponibile, che individua anche i manufatti secondari con buona precisione, si è utilizzato il terzo approccio, che ha il pregio di alleggerire la fase di rilievo e di

definizione delle tipologie edilizie.

L'irraggiamento solare efficace sulle superfici esterne viene calcolato tramite l'applicazione consecuzionali dei tools B2, B3, B4, B6 (figura 3.7).

Il tool B2 determina il valore dell'angolo  $u$  per il punto medio centrale di ogni superficie esterna ( $ue\_1$ ) e lo stesso valore ( $ue\_2$ ) per ogni superficie che presenta la schermatura da parte di un manufatto esterno adiacente.

Il tool B3 utilizza i valori degli angoli di ostruzione ( $Ue\_1$ ,  $Ue\_2$ ) per calcolare tramite interpolazione i rispettivi valori di  $F_{hor}$  mensili utilizzando i prospetti della normativa (appendice D, UNI/TS 11300-1: 2008).

Il tool B4 calcola l'angolo  $\alpha$  per aggetti orizzontali (tettoie) e poi ricava il rispettivo valore di  $F_{ov}$  utilizzando le tabelle della normativa.

Il tool B6 combina i fattori di riduzione tramite la (8) con gli irraggiamenti mensili forniti dalla normativa (UNI 10349), per ricavare il valore unitario utile per ogni superficie esterna. Il tool B6 effettua anche il calcolo più semplice dell'irraggiamento sulle superfici orizzontali.

Di seguito si scende più nel dettaglio del tool B2 dedicato alla valutazione degli angoli di ostruzione. Gli altri tools effettuano le semplici operazioni analitiche previste dalla normativa accoppiando i valori dei fattori di riduzione prima e successivamente i valori di irraggiamento sulla base dei valori di azimut di ogni singola superficie esterna.

#### **Tool B2, calcolo degli angoli di ombreggiamento**

La modularità dei tools e la forte interoperabilità dei dati propria degli strumenti GIS può permettere l'integrazione di strumenti diversi per la determinazione dei guadagni solari anche con software fuori dall'ambiente GIS, che possano garantire una maggiore precisione nella stima. Tuttavia essi richiederanno delle attività di trattamento dei risultati per renderli coerenti con la procedura standard.

Anche in questo caso, si presenta l'algoritmo nei suoi elementi essenziali, lasciando alla osservazione dei tools integrati nel DB allevato i dettagli del codice.

L'UHA su cui si basa il tool B2 è un angolo solido costante equivalente allo skyline visibile da una superficie verticale per valutare la componente dell'irraggiamento diffuso all'interno dei canyon urbani (figura 3.11).

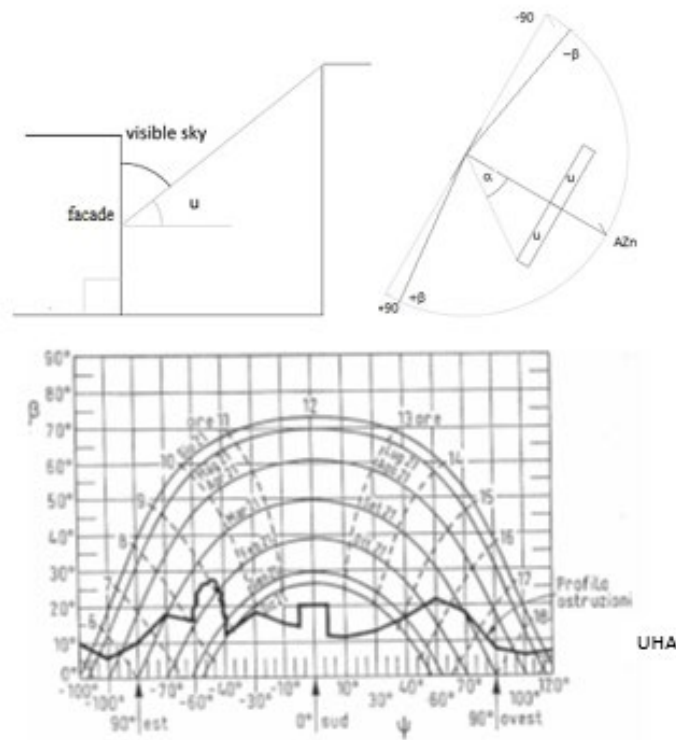


Figura 3.11 - Generica ostruzione di estensione angolare +/-  $\alpha$ , angolo di ostruzione  $u$  e vista di estensione +/-  $\beta$

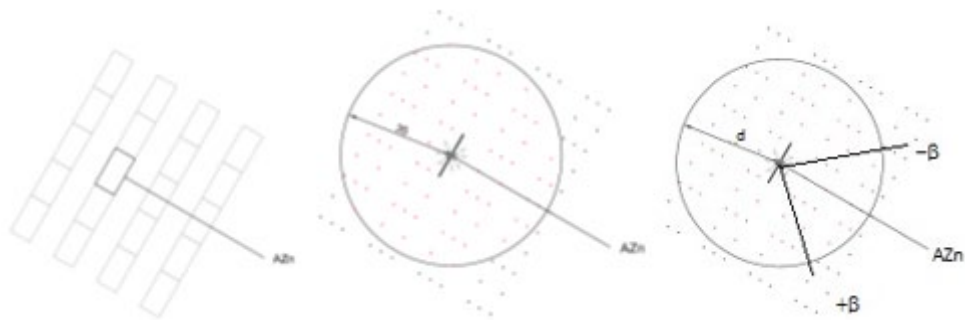
$$UHA = 1/\pi * \int_{\alpha} u * \alpha * \cos(\alpha) d\alpha \quad (9)$$

- UHA = angolo di ostruzione definito come da normativa;
- $\alpha$  = estensione angolare dell'ostruzione +/-  $\alpha$  rispetto alla normale alla facciata;
- $\beta$  = range della vista +/-  $\beta$  (con  $\beta = 90^\circ$ );
- $u$  = angolo zenitale della ostruzione rispetto al punto di vista nella facciata.

Il tool B2 nasce con l'intento di effettuare una valutazione di  $u$  simile a quella che verrebbe svolta tramite un sopralluogo di un professionista chiamato a svolgere un calcolo di normativa e si basa su una versione discretizzata della (9) che prevede i seguenti step (figura 3.12):

1. selezione dei punti quotati che costituiscono il profilo dello sky view di ogni superficie esterna;
2. valutazione dell'angolo zenitale di vista di ogni punto;
3. calcolo di un valore medio per ogni superficie esterna.

La CXMap contiene tutti i punti di quota dell'area di studio con un passo di 1m: i punti sono stati selezionati tramite una selezione spaziale basata su un Wedge Buffer (QGIS 3.14) eseguito a partire dal punto medio di ogni segmento che ha una superficie esterna maggiore di zero. Il Wedge Buffer crea un cono che parte da un punto preciso (nel presente caso il centro del segmento), con ampiezza angolare e raggio settabili.



**Figura 3.12 – Selezione dei punti quotati dal contesto**

Il tool calcola l'angolo zenitale (10) e l'angolo di vista (11) tra la direzione normale al centro di ogni superficie disperdente e tutti i punti quotati del contesto, selezionati precedentemente. Il punto centrale delle superfici è ricavato come centro del segmento posto a una quota media della parte di facciata esterna. Gli stessi calcoli sono eseguiti considerando le parti di facciata schermate da tettoie o altri manufatti adiacenti.

$$Az\_u = degrees (azimuth (Make\_point("wX\_coord", "wY\_Coord"), make\_point (\$X, \$Y))) \quad (10)$$

$$u = inclination (make\_point ("wX\_coord", "wY\_coord", "wmaE"), make\_point (\$X, \$Y, "VALUE")) \quad (11)$$

- Az\_u = angolo di vista di ogni punto del contesto;
- u = angolo zenitale ossia valore di u di ogni punto del contesto;
- (wX\_coord", "wY\_Coord) = coordinate del punto di vista sui segmenti;
- (\$X, \$Y) = coordinate del punto quotato del contesto;
- wmaE = quota del punto di vista sui segmenti;
- VALUE = quota del punto quotato del contesto.

Infine si utilizza una versione discretizzata della (10), in cui la vista (+/-β ) viene suddivisa in n segmenti angolari "Ri" di ampiezza uguale, ai quali viene assegnato il valore massimo di u dei punti che in esso ricadono (figura 3.13).

Nel presente caso quindi l'ampiezza della ostruzione della (10) coincide con quella del segmento angolare R al quale è assegnato il valore massimo umax. Per ottenere un valore medio per tutta vista si effettua la somma pesata (12, 13) di tali valori, utilizzando il fattore trigonometrico introdotto dalla definizione dell'UHA e basato sulla distanza dell'ostacolo dalla direzione della normale uscente dalla facciata, considerando a tal fine l'angolo di vista centrale α<sub>i</sub> dell'intervallo R i-esimo. In questo modo ostacoli posti frontalmente rispetto alla superficie disperdente sono moltiplicati per un fattore circa unitario, in quanto maggiormente influenti nella stima dell'angolo solido medio, mentre man mano che ci si allontana dalla normale l'influenza degli ostacoli è sempre minore.

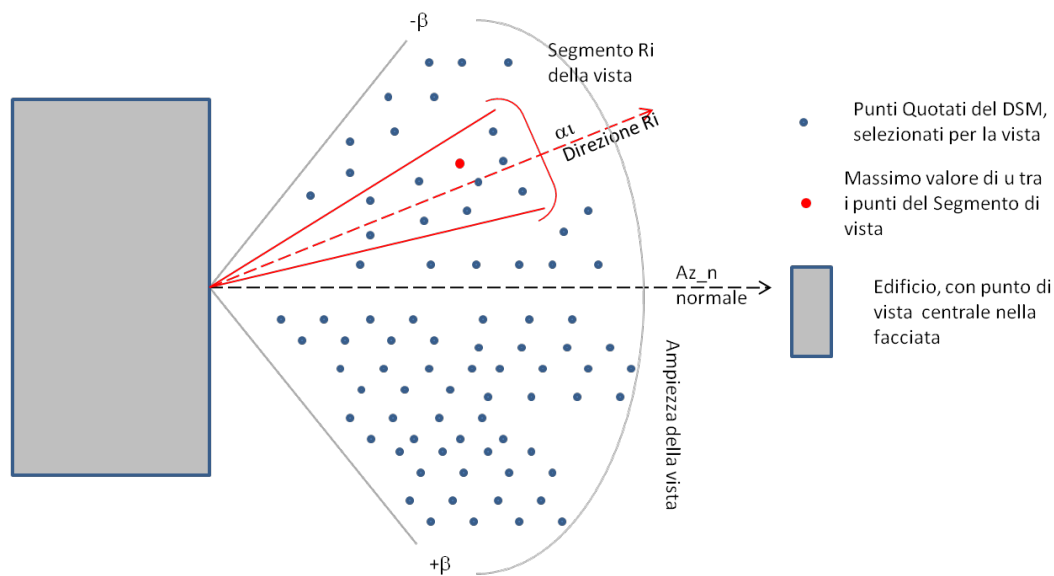


Figura 3.13 - Selezione dei punti nell'intervallo  $R_i$

$$wu = \sum u_i / (2 * \beta) \quad (12)$$

dove:

$$u_i = R_i * u_{\max_i} * \cos(\alpha_i) \quad (13)$$

- $wu$  = angolo  $u$  pesato della facciata, simile al UHA;
- $+/- \beta$  = ampiezza della vista presa in considerazione ( $+/- 90^\circ$  in caso di massima estensione);
- $R$  = ampiezza angolare dell'intervallo  $i$ -esimo, uguale per tutti gli intervalli;
- $u_{\max_i}$  = angolo zenitale massimo dell' $i$ -esimo intervallo di vista  $R_i$ ;
- $\cos(\alpha_i)$  = fattore trigonometrico che pesa  $u_{\max_i}$  con la sua posizione rispetto alla normale;
- $\alpha_i$  = angolo di vista medio tra normale e intervallo  $i$ -esimo della vista.

La stessa procedura è stata utilizzata nel tool B5 per stimare gli angoli di ostruzione generati dalle tettoie ed elementi simili presenti nel DB cartografico. Il punto di vista rispetto al quale si effettua la valutazione corrisponde con il centro del segmento di contatto tra edificio e ostacolo, posto a una quota media tra intradosso della tettoia e terreno. Per questo punto si effettuano sia un calcolo del Fhor con tool B2 sia il calcolo del Fov con tool B5. Poi il successivo tool B6 utilizzerà per il calcolo dell'irraggiamento il minore tra i due. Le due procedure sono molto simili, ma si differenziano nei seguenti punti:

- nella prima fase il tool B5 seleziona solo i punti del DTM ricadenti nel poligono delle tettoie in luogo di una vista più ampia;
- l'angolo di vista della volta celeste è il complementare rispetto a quello zenitale calcolato in precedenza.

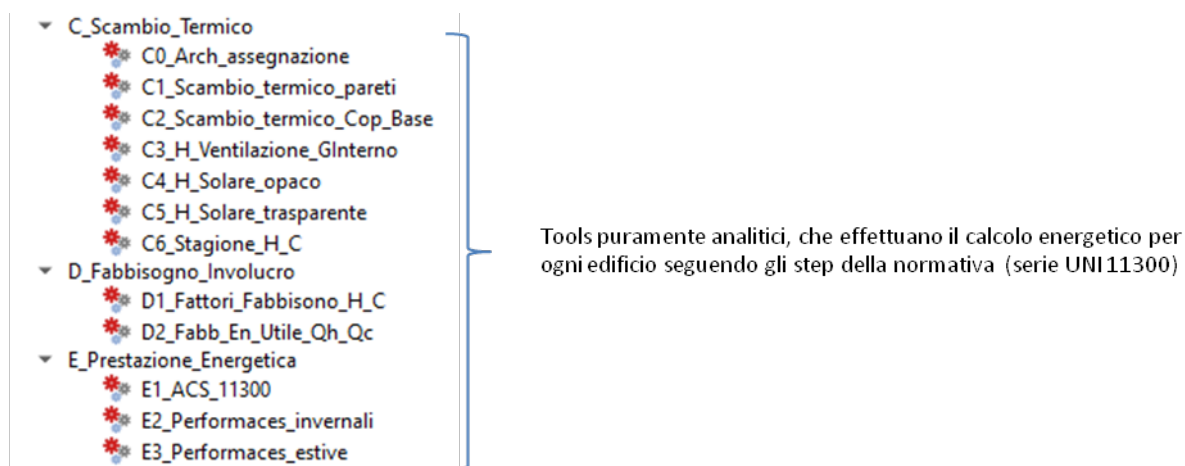
### 3.5 Modellazione energetica

Come già accennato in precedenza, la modellazione energetica riguarda l'impostazione del calcolo della normativa in un tool GIS "UBEP\_11300", che ne segue fedelmente le fasi logiche. I seguenti tools non contengono operazioni spaziali, ma solo comuni attività di modifica e gestione i data base (selezione in base ai valori di un attributo, aggiunta ed eliminazione di campi, somma per righe, calcolo di valori dei campi, etc) che possono anche essere svolte con altri strumenti e con procedure differenti rispetto a quelle proposte.

Si propone un approccio che permette il controllo dei dati di input e di output di ogni fase di calcolo grazie all'uso di database provvisti di riferimento spaziale, che ne facilitano la rappresentazione. Si presenta in questo paragrafo la struttura generale dei tool sviluppati (figura 3.14), che seguendo l'iter logico del calcolo della normativa, si articola su tre toolset consequenziali implementati su modellatore grafico QGIS 3.14:

- Determinazione dei fattori di scambio termico per trasmissione, ventilazione, irraggiamento, attività interne;
- Calcolo del fabbisogno di energia utile dell'involucro, prettamente basato sulla UNI TS 11300:2008 parte 1;
- Calcolo del fabbisogno di energia in ingresso e dei parametri di efficienza, prettamente basati sulla UNI TS 11300:2008 parte 2 ed altre norme collegate.

La successiva descrizione dettagliata della metodologia si focalizza poi maggiormente sulle formule utilizzate per calcolare i principali parametri che influenzano la prestazione energetica degli edifici, esplicandone la differenza rispetto alla procedura contenuta nella normativa, lasciando il dettaglio dei codici utilizzati ai tools compresi nel progetto GIS allegato.



**Figura 3.14 - Albero dei Toolset sviluppati per la modellazione energetica (UNI 11300)**

### 3.5.1 Toolset C per il calcolo dei fattori di scambio termico

Il calcolo degli scambi termici si basa sui risultati delle fasi precedenti. A questo punto sono già stati calcolati tutti i parametri geometrici di ogni superficie disperdente e sono stati raggruppati per edificio: in sostanza i dati geometrici di ingresso sono i file (figura 3.15):

- *B1\_FA\_superfici\_disperdenti*, facciate con analisi elementi confinanti, superfici ed orientamento
- *B1\_BV\_Coperture e basi*
- *B1\_BB\_Superfici\_disperdenti*, somma per edificio delle superfici disperdenti
- *B5\_FA\_ExFhor*, fattori di vista del cielo per il calcolo dell'extraflusso verso la volta celeste
- *B6\_BV\_Isolo*, *B6\_FA\_IsolEV\_IsolSV*, file con irraggiamento unitario utile

A questi dati input si aggiungono i data base delle tipologie di involucro e di impianti con i relativi abachi, alcune tabelle della normativa e il profilo climatico locale.

Il primo step della procedura eseguito dal file tool C0 assegna i codici delle strutture edilizie dell'involucro agli elementi geometrici in ingresso (FA, BV, BB) in funzione del periodo di costruzione e della tipologia assegnata in precedenza.

La metodologia permette di assegnare il codice in maniera indipendente per ogni BV, e da esso a ogni superficie disperdente collegata:

- tipo di copertura obliqua;

- tipo di copertura orizzontale;
- tipo di parete verso esterno;
- tipo parete verso volumi non riscaldati;
- tipo parete verso terra;
- tipo parete verso locali riscaldati;
- tipo parete verso vanni scala interni;
- tipo chiusura di base verso esterno;
- tipo chiusura di base verso terra;
- tipo chiusura di base verso locale non riscaldato;
- tipo chiusura di base verso locale riscaldato.

I successivi tool C1 e C2 calcolano i valori del coefficiente di trasmissione termico  $H_t$ , rispettivamente per le chiusure verticali e orizzontali, considerando le caratteristiche fisiche dei materiali, le superfici disperdenti e i loro coefficienti di trasmissione (vedi il successivo paragrafo 3.5.2). Il tool C1 effettua i calcoli a partire dal layer geografico lineare che rappresenta le superfici disperdenti (CO\_FA\_Superfici\_disperdenti) e poi li aggrega per unità edilizia (BB). Parimenti il tool C2 effettua i calcoli per ogni chiusura orizzontale basata sulle geometrie dei BV (CO\_BV\_Superfici\_disperdenti) e li aggrega per unità edilizie (BB). Queste procedure calcolano anche i valori della dispersione per extraflusso verso la volta celeste, utilizzando i valori di skyview specificatamente ricavati con tool B5.

Il successivo algoritmo C3 ricava i coefficienti relativi alla ventilazione e ai guadagni interni, utilizzando le formule semplificate proposte dalla normativa per il calcolo standard. Tali procedure utilizzano valori standard di apporti interni e fabbisogni di ventilazione principalmente legati alla superficie utile delle unità immobiliari, che è già stata calcolata e salvata nei poligoni delle unità edilizie (CO\_BB\_Superfici\_disperdenti).

L'algoritmo C4 calcola il flusso solare giornaliero medio per le superfici opache verticali e orizzontali, combinando i valori di irraggiamento unitario calcolati dal tool B6 e i risultati del tool C0 delle assegnazioni dei materiali alle facciate e alle coperture. Poi i risultati sono ancora aggregati per unità edilizia BB. L'algoritmo C5 effettua lo stesso tipo di calcolo per le superfici trasparenti, calcolo che richiede anche l'uso dei fattori d'uso delle schermature solari, basati su un prospetto fornito dalla normativa (UNI 11300 parte 1).

I risultati di questi algoritmi sono i layers lineari col flusso solare mensile sulle superfici verticali opache e trasparenti, i layers poligonali delle coperture con i flussi sulle superfici opache e trasparenti e infine i file basati sulle geometrie delle unità edilizie (BB), che riportano la somma di tutti i contributi delle superfici esterne dell'edificio.

Il tool C6 prende i risultati degli algoritmi precedenti, riferiti alle unità edilizie, e calcola la durata delle stagioni di riscaldamento e di rinfrescamento per l'edificio, sia considerando la durata limite della stagione invernale prevista dalla normativa sia con durate completamente calcolate sulla base dell'equilibrio tra apporti e dispersioni. Il risultato complessivo di questa fase di calcolo sono perciò due file geografici basati sulle geometrie delle unità edilizie, che riportano tutti i valori dei fattori di scambio termico necessari al calcolo dei guadagni e delle perdite su base mensile, ma anche altri valori utili per descrivere le caratteristiche dell'involucro edilizio, come ad esempio la trasmittanza media dell'edificio oppure il coefficiente di scambio termico totale:

- C6\_BB\_Dh\_Dc\_norma
- C6\_BB\_Dh\_Dc\_calcolato.

## Scambio Termico

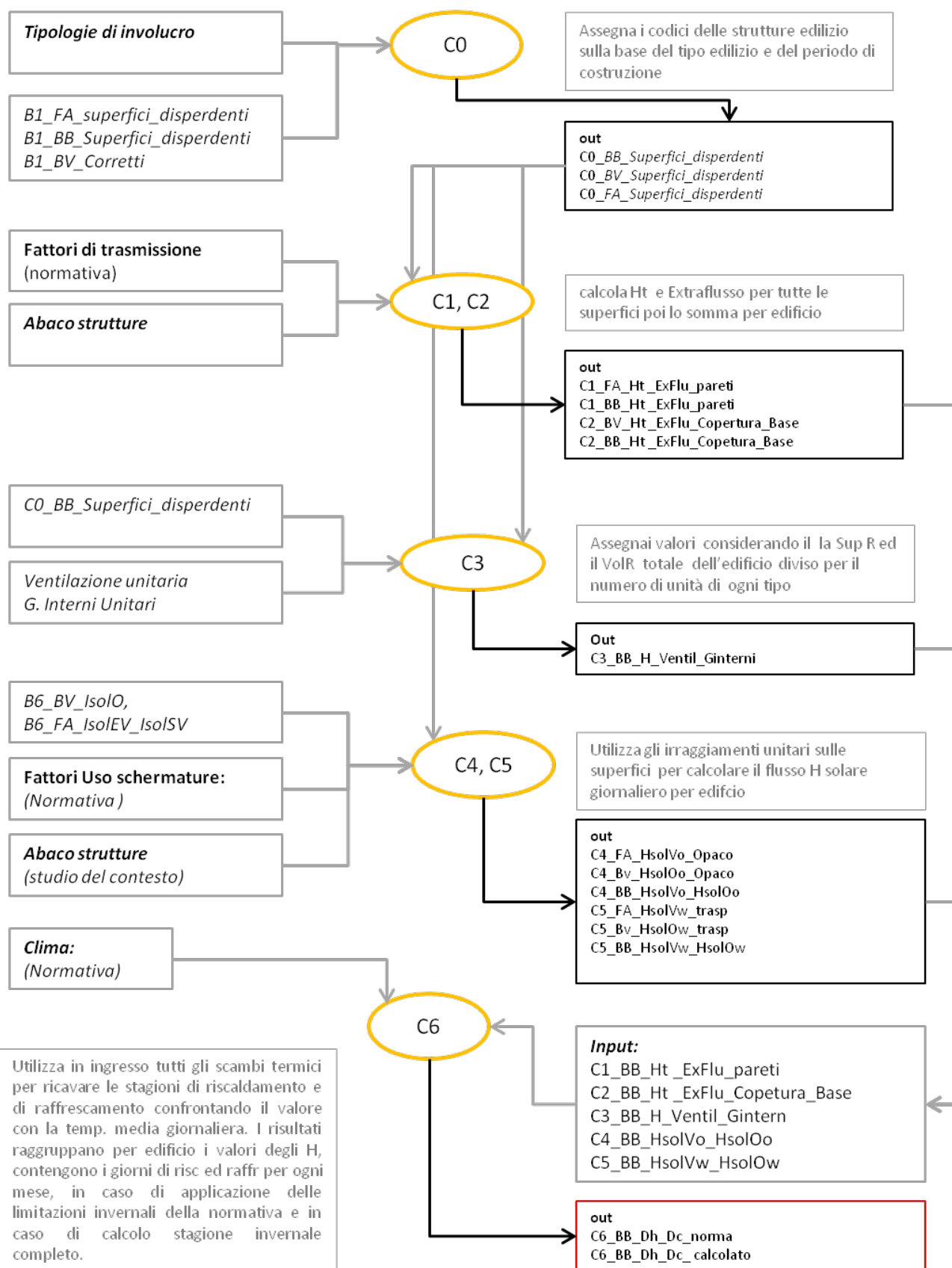


Figura 3.15 – Struttura del toolset C per il calcolo degli scambi termici

### 3.5.2 Toolset D ed E per il calcolo del fabbisogno di energia utile e delle performances

Questi algoritmi hanno una struttura molto semplice, e seguono la logica del calcolo della normativa (*Asset Rating*) ricavando in successione (figura 3.16):

- i guadagni e le perdite di calore mensili (trasmissione, ventilazione, attività interne e irraggiamento solare), (tool D1);
- i fabbisogno di energia utile dell'involucro complessivo per ogni mese (tool D2);
- i fabbisogni per ACS e i parametri di efficienza (tool E1);
- l'energia consegnata e i parametri di efficienza in regime estivo ed invernale (tools E2, E3).

Il tool D1 utilizza come dato geometrico di ingresso il risultato dello step di calcolo precedente, che, unitamente al dato climatico, permette di svolgere il calcolo e delle perdite e dei guadagni di energia termica su base semi stazionaria mensile: per una valutazione più simile all'*Asset Rating* si userà come ingresso i file con la durata standard della stagione invernale (C6\_BB\_Dh\_Dc\_norma), o, in alternativa, si potrà utilizzare l'altro più legato alle reali condizioni d'uso (C6\_BB\_Dh\_Dc\_calcolato). Le perdite per ventilazione e per trasmissione dipendono anche dalla temperatura media mensile esterna, mentre i guadagni solari e interni sono la mera moltiplicazione del flusso unitario per la durata della stagione di riscaldamento e di raffrescamento.

Il tool D2, seguendo la procedura per il calcolo in *Asset Rating*, calcola prima la capacità termica e la costante tempo, poi, utilizzando i fattori calcolati in precedenza, stima i fattori d'uso mensili degli apporti e delle dispersioni termiche e infine ricava il fabbisogno di energia utile mensile di riscaldamento e di raffrescamento e naturalmente i totali e gli indici al mq di tutti i fattori. I risultati della procedura sono due file geografici basati sulle geometrie delle BB che riportano per ogni edificio i guadagni e le perdite e il fabbisogno di energia termica utile mensile per riscaldamento e per il raffrescamento: D2\_BB\_Fabb\_Energia\_Utile\_H, D2\_BB\_Fabb\_Energia\_Utile\_C.

L'algoritmo E1 applica le procedure della normativa (UNI 11300 parte 2) per la stima del fabbisogno di acqua calda sanitaria. La procedura applica dei coefficienti forniti dalla normativa e basati essenzialmente sulla superficie utile della unità immobiliare, considerandole tutte come residenziali. Il fabbisogno così stimato è poi moltiplicato per i rendimenti degli impianti presenti nell'abaco per ricavare i parametri di efficienza, utilizzando formule del tutto simili a quelle degli altri sistemi.

Gli ultimi due tools (E2, E3) partono dal fabbisogno di energia utile mensile per il riscaldamento e per il raffrescamento e ricavano prima l'energia consegnata, applicando i rendimenti tipici dei sistemi impiantistici, poi, applicando i fattori di conversione di energia primaria proposti dalla normativa per diversi vettori energetici, ricavano i parametri di efficienza: fabbisogno di energia primaria totale con la quota rinnovabile (EPren) e non rinnovabile (EPnren), emissioni di CO<sub>2</sub>, costo operativo annuo, rendimenti stagionali, etc.

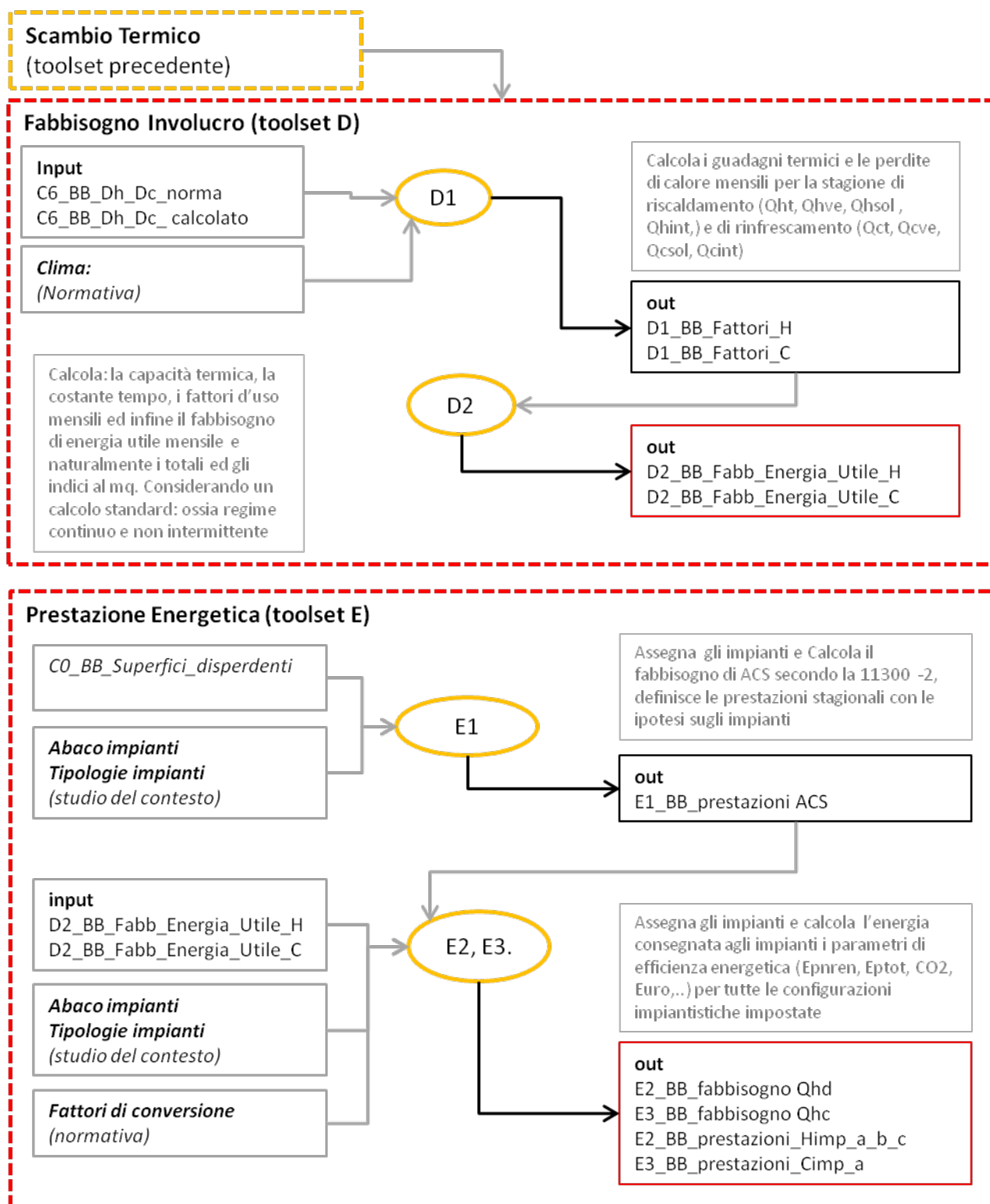


Figura 3.16 – Struttura dei toolset D ed E per il calcolo dei fabbisogni energetici

### 3.5.3 Perdite per trasmissione

Le perdite di calore per trasmissione attraverso l'involucro sono il fattore principale nella stagione invernale, e possono essere importanti anche in quella estiva, in caso di abitazioni dotate di impianti molto efficienti. I principali fattori che la definiscono sono: le superfici disperdenti e le caratteristiche fisiche dei materiali, le temperature esterne. Anche il contesto di ombreggiamento ha un ruolo non trascurabile.

La formule della normativa per il calcolo delle perdite di calore per trasmissione in regime invernale ed estivo sono:

$$Q_{ht} = \sum CU_x * H_{tr} * (\theta_{intx} - \theta_{est}) * t + LwF * t \quad (14)$$

$$Q_{ct} = \sum CU_x * H_{tr} * (\theta_{intx} - \theta_{est}) * t + LwF * t \quad (15)$$

- $Q_{ht}$  = perdita di calore per scambio termico attraverso l'involucro, nella stagione di riscaldamento [kWh];
- $Q_{ct}$  = perdita di calore per scambio termico attraverso l'involucro, nella stagione di raffrescamento [kWh];
- $\theta_{intx}$  = temperatura interna di set point specifica per l'uso  $U_x$  (vedi tabella 3.6);
- $\theta_{est}$  = temperatura media mensile, da standard UNI 10439;
- $t = 3600 * 24 * D * 2,79 * 10^{-7}$ ; con  $D$  = giorni della stagione ( $D_h$  riscaldamento,  $D_c$  raffrescamento);
- $LwF$  = perdite per extraflusso verso volta celeste; funzione di ( $U$ -value,  $F_{sh}$ , superfici, emittanza) (UNI/TS 11300-1:2008, cap 11.4, UNI EN ISO 13790:2008);
- $H_{tr}$  = coefficiente globale di scambio termico per trasmissione;
- $CU_x$  = coefficiente che ripartisce lo scambio termico per  $x$  - esimo uso della superficie interna ricavato da attività di pre - processing sui DB catastali (vedi tabella 3.6);

$$H_{tr} = H_{wa} + H_{wi} + H_{in} + H_{st} + H_g + H_r + H_{rw} + H_{ba} \quad [W/k] \quad (16)$$

$$H_{wa} = U_{wa} * SumS_{wa} \quad (16.1)$$

$$H_{wi} = U_{wicorr} * SumS_{wi} = [U_{wish} * f_{shut} + U_{wi} * (1 - f_{shut})] * A_{wi} \quad (16.2)$$

$$H_{in} = U_{in} * SumS_{in} * btr_{in} \quad (16.3)$$

$$H_{st} = U_{st} * SumS_{st} * btr_{st} \quad (16.4)$$

$$H_g = U_g * SumS_g * btr_g \quad (16.5)$$

$$H_r = U_r * SumS_r * btr_r \quad (16.6)$$

$$H_{rw} = U_{rw} * SumS_{rw} \quad (15.7)$$

$$H_{ba} = U_{ba} * SumS_{ba} * btr_{ba} \quad (16.8)$$

- $H_{wa}$  = coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione dei muri verso l'ambiente esterno;
- $H_{wi}$  = coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione delle finestre verso l'ambiente esterno;
- $H_r$  = coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione della copertura verso l'ambiente esterno;
- $H_{rw}$  = coefficiente scambio termico di finestre nella copertura;
- $H_g$  = coefficiente di scambio termico per trasmissione di pareti verso il terreno (UNI/TS 11300-1: 2008, par 11.3);
- $H_{in}$  = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso ambienti non climatizzati (UNI/TS 11300-1: 2008, par 11.2);
- $H_{st}$  = coefficiente di scambio termico per trasmissione verso vano scala (UNI/TS 11300-1: 2008, par 11.2);
- $H_{ba}$  = coefficiente di scambio termico per trasmissione del pavimento;
- $SumS_{wa} = SumS_g + SumS_{in} + SumS_{wi} + SumS_{ba} + SumS_{st} + SumS_r + SumS_{rw}$  = area delle superfici disperdenti;
- $U_{wa} = U_{wi} = U_r = U_{rw} = U_g = U_{in} = U_{st} = U_{ba}$  = valore di  $U$  delle strutture corretto con l'influenza dei ponti termici stimata come incidenza in percentuale tipica e riportata nell'abaco;
- $btr_{wa} = btr_{wi} = btr_r = btr_{rw} = btr_g = btr_{in} = btr_{st} = btr_{ba}$  = coefficienti di trasmissione definite dalla normativa ed assegnati tramite archetipo, abachi e input manuale;

$$LwF = Re * Fdif * U_x * A_x * [(1 - \cos \alpha) / 2] * hr * (\delta \theta_{ce}) \quad [W/k] \quad (17)$$

- $Fdif$  = fattore di ombreggiamento per irraggiamento diffuso, stimato con i prospetti della normativa valutati per il nord (UNI/TS 11300-1:2008, prospetti D - (la versione aggiornata fornisce una tabella specifica appendice D, UNI/TS 11300-1:2014);

- $U_x$  = Valore U di trasmittanza delle superfici verso esterno, assegnato tramite le procedure C0 e C1;
- $A_x$  = Area [ $m^2$ ] delle superfici verso esterno, stimate dal tool C1
- $\alpha$  = pendenza dell'elemento di chiusura esterno, definite tramite l'archetipo;
- $\delta\theta_{ce}$  = nell'algoritmo è stata utilizzata la differenza di temperatura tra aria e volta celeste ( $11k^\circ$ ) proposta dalla vecchia versione della specifica tecnica (UNI 11300:2008), la versione aggiornata prevede la definizione di questo valore tramite la pressione di vapore che è riportata mensilmente nel file climatico (UNI/TS 11300:2014);
- $hr = 5\varepsilon$  = con  $\varepsilon$  emittanza dei materiali esterni riportate nell'abaco delle strutture edilizie (murature e manti di copertura);
- $Re$  = resistenza termica esterna ( $Re = 0,04$ ), definita dalla norma.

### 3.5.4 Perdite per ventilazione

Nel caso di un edificio ancora non sottoposto ad azioni di efficientamento (tipicamente con fabbisogno di circa 100-150kWh/mq anno), le perdite per ventilazione non hanno un forte impatto sulla prestazione nel calcolo stazionario invernale proposto dalla normativa (meno del 10%). Tuttavia il suo peso cresce col miglioramento della prestazione dell'involucro e degli impianti, per la diminuzione delle perdite per trasmissione e delle inefficienze degli impianti. Naturalmente il peso è maggiore in stagione estiva.

La metodologia valuta le perdite di calore per ventilazione adottando l'ipotesi di assenza di apparecchiature di ricircolo d'aria, considerano quindi la sola influenza della ventilazione naturale. Nel contesto italiano, e ancor più nelle aree del sud Italia, la ventilazione naturale è largamente preponderante negli edifici residenziali e per le piccole attività commerciali. L'influenza della ventilazione meccanica sarà modellata in successivi studi e applicata principalmente alle unità immobiliari non residenziali. Nel calcolo standard della prestazione energetica il coefficiente di scambio termico per ventilazione è calcolato dalla (18) in base alla tipologia d'uso (UNI 10339: 1995) e al volume riscaldato (UNI/TS 11300-1: 2008, par 12.1). Le perdite di calore sono calcolate moltiplicando lo scambio termico per ventilazione ( $Hve$ ) per la differenza di temperatura interna (di set point) e quella media mensile esterna e per i giorni della stagione di riferimento (19,20).

I dati di ingresso sono i file delle unità edilizie (BB), che contengono la superficie utile e il volume riscaldato, con la ripartizione nelle diverse categorie d'uso ricavate dai DB catastali e le ventilazioni di riferimento per tipologia di uso della unità immobiliare (vedi precedente tabella 3.12).

Si sono utilizzate le seguenti formule:

$$Hve_x = c * q * [Cli\_Vol] * CU_x \quad (17)$$

- $Hve_x$  = coefficiente globale di scambio termico per ventilazione [J/hk] per l'uso x-esimo
- $c = 1200$  [J/( $m^3 * K$ )], capacità termica volumica dell'aria
- $q$  = tasso di ricambio dell'aria (UNI 10339: 1995, poi aggiornato nella 10339:2008); per il residenziale = 0,3 [ $m^3/h$ ] (par. 12.1.1 UNI/TS 11300-1:2008)
- $Cli\_Vol$  = volume netto climatizzato calcolato

$$Qhve = \sum Hve_x * (\theta_{intx} - \theta_{est}) * t \quad (18)$$

$$Qcve = \sum Hve_x * (\theta_{intx} - \theta_{est}) * t \quad (19)$$

- $Qhve$  = perdita di calore per ventilazione nella stagione di riscaldamento [kWh];
- $Qcve$  = perdita di calore per ventilazione nella stagione di raffrescamento [kWh];
- $\theta_{intx}$  = temperatura interna di set point specifica per l'uso  $U_x$  (tabella 3.6);
- $\theta_{est}$  = temperatura media mensile estratta dai dati climatici provinciali;
- $t = 24 * D * 10^{-7}$ ; con  $D$  i giorni della stagione ( $D_h$  riscaldamento,  $D_c$  raffrescamento).

### 3.5.5 Guadagno termico per attività interne

Anche i guadagni di calore per attività interne non hanno un forte impatto sulla prestazione energetica invernale di edifici esistenti (meno del 10%), ma possono essere determinanti in caso di calcolo estivo in edifici ad alte

prestazioni.

Nel calcolo standard il guadagno termico dato dalle attività svolte all'interno dell'ambiente è stimato in base alla superficie utile ed a tabelle fornite dalla norma in funzione del tipo di attività svolta (table 8, UNI 11300-1). In questo caso gli apporti sono indipendenti dalle condizioni climatiche o da fattori geometrici dell'involucro.

$$Q_{hint} = \Phi_{int} * t = \sum H_{inx} * [C_{li\_surf}] * C_{U_x} * t \quad (21)$$

$$Q_{cint} = \Phi_{int} * t = \sum H_{inx} * [C_{li\_surf}] * C_{U_x} * t \quad (22)$$

- $Q_{hint}$  = guadagno di calore interni mensili medi nella stagione di riscaldamento[kWh]
- $Q_{cint}$  = guadagno di calore interni mensili medi nella stagione di raffrescamento[kWh]
- $t = 3600 * 24 * D * 2,79 * 10^{-7}$ ; con D i giorni della stagione (Dh riscaldamento, Dc raffrescamento)
- $H_{inx}$  = flusso termico istantaneo dovuto ad apporti interni [W/m<sup>2</sup>] per x-esimo uso (tabella 3.12)
- $C_{li\_surf}$  = superficie utile climatizzata calcolata

dove se si tratta di uso residenziale ( $C_{U1}$ ):

$$H_{in1} = 5,294 * [C_{li\_surf}] + 0,01557 * [C_{li\_surf}]^2, \text{ if } [C_{li\_surf}] > 170 \text{ m}^2 \text{ then } H_{in1} = 450W \quad (23)$$

### 3.5.6 Guadagno termico per irraggiamento solare

Il guadagno solare è il fattore predominante per il calcolo del fabbisogno energetico in regime estivo e, soprattutto nelle regioni del sud Italia, gioca un ruolo importante anche durante la stagione invernale. La norma lo ricava per ogni mese tramite le (24) e (25), che moltiplicano il flusso termico attraverso le superfici opache esterne dell'involucro (verticali e orizzontali) e attraverso le superfici trasparenti per la durata delle stagioni di climatizzazione (invernale, estiva).

Il flusso di calore su ogni superficie esterna è calcolato per ogni mese con le (26), (27), (28), e (29) a partire dai dati climatici ufficiali della normativa (UNI 10349), opportunamente contestualizzati per il comune oggetto di studio. La procedura proposta ha già ricavato il valore efficace di irraggiamento solare sulle superfici esterne tramite il tool B6, ossia, a questo punto della procedura, l'influenza del contesto di ombreggiamento sul valore di irraggiamento unitario è stata già valutata. Si ricorda che il fattore di ombreggiamento è considerato solo per il calcolo nelle superfici verticali, l'irraggiamento sulla copertura è considerato perpendicolare.

Nel caso di superfici trasparenti le formule (28) e (29) introducono il fattore di uso delle schermature mobili calcolato dalla (30), dipendente da un fattore d'uso della schermatura " $shu_u$ " e dal fattore solare del vetro. Il fattore d'uso è tratto per interpolazione dal prospetto 15 della norma, dipendente dalla direzione azimutale della facciata e dal mese preso in considerazione. Questo parametro è la frazione di tempo in cui la schermatura solare è utilizzata, ricavata come rapporto tra la somma dei valori orari di irradianza maggiori di 300 W/m<sup>2</sup> e la somma di tutti i valori orari di irradianza del mese solare considerato incidente sulla finestra. I tools permettono di attivare o disattivare tale fattore, perché nel calcolo estivo è fondamentale per simulare il comportamento razionale dei fruitori degli spazi ed evitare una forte sovrastima del fabbisogno, ma nel calcolo invernale può portare a forti diminuzioni del contributo solare (circa 20- 25%) non verosimili.

Le formule proposte dalla normativa sono:

$$Q_{hsolm} = (\sum F_{sol_v} + \sum F_{sol_o} + \sum F_{sol_{vv}} + \sum F_{sol_{wo}}) * t \quad [kWh] \quad (24)$$

$$Q_{csolm} = (\sum F_{sol_v} + \sum F_{sol_o} + \sum F_{sol_{vv}} + \sum F_{sol_{wo}}) * t \quad [kWh] \quad (25)$$

- $Q_{hsolm}$  = guadagno di calore mensile medio per irraggiamento solare nella stagione di riscaldamento;
- $Q_{csolm}$  = guadagno di calore mensile medio per irraggiamento solare nella stagione di raffrescamento;
- $\sum F_{sol_v}$  = sommatoria dei flussi solari sulle superfici opache verticali appartenenti allo stesso edificio;
- $F_{sol_o}$  = flusso solare sulla copertura opaca dell'edificio;
- $\sum F_{sol_{vv}}$  = sommatoria dei flussi solari sulle superfici trasparenti verticali appartenenti allo stesso edificio;
- $F_{sol_{wo}}$  = flusso solare sulla copertura trasparente dell'edificio;

- $t = D/3,6$ ; D i giorni della stagione (Dh riscaldamento, Dc raffrescamento);

dove per le superfici opache:

$$F_{sol_v} = F_{sh} * R_{se} * abs_x * A_x * U_x * Isol_v \quad (26)$$

$$F_{sol_o} = R_{se} * abs_x * A_x * U_x * Isol_o \quad (27)$$

- $F_{sol_v}$  = flusso termico per irraggiamento nelle superfici opache verticali [W];
- $F_{sol_o}$  = flusso termico per irraggiamento nelle superfici opache orizzontali [W];
- $Isol_o$  and  $Isol_v$  = Irraggiamento giornaliero medio mensile sulle sup. verticali con diversi orientamenti [MJ/ m2];
- $F_{sh}$  = fattore di riduzione solare calcolato dalle (8), nei tools C4 e C5 si utilizza direttamente il valore di irraggiamento efficace stimato nel tool B6 ossia  $F_{sh} * Isol_v$ ;
- $R_{se}$  = resistenza termica superficiale esterna ( $R_{se} = 0,04$ );
- $abs_x$  = fattore di assorbimento del calore basato sul colore (chiaro = 0,3; medio = 0,6; scuro = 0,9);
- $U_x$  = U-Value della struttura esterna;
- $A_x$  = area esposta all'irraggiamento solare [m2];

dove per superfici trasparenti

$$F_{sol_{wv}} = F_{sh} * F_w * Sf_a * F_{shu} * F_r * A_w * Isol_v \quad (28)$$

$$F_{sol_{wo}} = F_w * Sf_a * F_{shu} * F_r * A_w * Isol_o \quad (29)$$

- $F_{sol_{wv}}$  = flusso termico per irraggiamento nelle superfici trasparenti verticali [W];
- $F_{sol_{wo}}$  = flusso termico per irraggiamento nelle superfici trasparenti orizzontali [W];
- $Sf_a$  = fattore di trasmissione solare del vetro, riportato negli abachi degli infissi [%];
- $F_{shu}$  = fattore di riduzione per uso delle schermature (25), il parametro può essere attivato o disattivato;
- $A_w$  = area esposta all'irraggiamento solare [m2];
- $F_r$  = incidenza del telaio nella apertura, riportato negli abachi degli infissi;
- $F_w$  = fattore di esposizione del vetro all'irraggiamento ( $F_w = 0,9$ , punto 14.3.1 UNI/TS 11300:2008); l'aggiornamento degli standard adotta una apposita tabella (prospetto 20, UNI 11300-1:2014) basata sull'angolo di incidenza tra raggi solari e superficie vetrata che però non è stato ancora implementato nel tool;
- $Isol_o$  and  $Isol_v$  = Irraggiamento giornaliero medio mensile sulle sup. verticali con diversi orientamenti [MJ/ m2];
- $F_{sh}$  = fattore di riduzione solare calcolato dalle (8), nei tools C4 e C5 si utilizza direttamente il valore di irraggiamento efficace stimato nel tool B6, ossia  $F_{sh} * Isol_v$ ;

$$F_{shu} = [Sf_a * (1 - shu_u) + Sf_b * (shu_u)] / Sf_a \quad (30)$$

- $Sf_a$  = fattore di trasmissione solare del vetro, riportato negli abachi degli infissi [%];
- $Sf_b$  = fattore di trasmissione solare della schermatura chiusa, riportato negli abachi degli infissi [%];
- $shu_u$  = fattori d'uso delle schermature basati sull'orientamento della facciata (prospetto 15, UNI/TS 11300-1:2008).

### 3.5.7 Stagioni di riscaldamento e raffrescamento

La durata della stagione di riscaldamento è un dato di input fondamentale per il calcolo dei guadagni termici: nel caso di un calcolo standard essa è definita per legge (DPR 412/93) sulla base delle zone climatiche italiane (prospetto 3, UNI/TS 11300-1:2008). La determinazione della stagione di riscaldamento in un calcolo tailored (Par 10.1.2, UNI 11300-1:2008) e la determinazione della stagione di raffrescamento in tutti tipi di calcolo (Par 10.2, UNI 11300-1:2008) sono invece dipendenti dalle caratteristiche del singolo edificio. La norma richiede la verifica delle (21) e (22) per ogni giorno del mese, al fine di ricavare il giorno in cui gli apporti di calore uguagliano le perdite e quindi determinare la durata delle stagioni invernali ed estive.

I dati input sono le tabelle con le temperature esterne giornaliere, ricavate come interpolazione di quelle mensili, e tutti i fattori di flusso termico ricavati precedentemente (trasmissione, ventilazione, solari, guadagni interni).

La procedura effettua le verifiche delle (31) e (32) per ogni giorno del mese sommando quelli che hanno dato risultato positivo, per determinare i giorni che necessitano di climatizzazione.

$$\theta_{est} < \theta_{int} - (Q_{hint_d} + Q_{hsol_d}) / ((H_{tr} + H_{ve}) * t_d) \quad (31)$$

$$\theta_{est} > \theta_{int} - (Q_{hint_d} + Q_{hsol_d}) / ((H_{tr} + H_{ve}) * t_d) \quad (32)$$

- $Q_{cint_d}$  = guadagno di calore interno medio giornaliero;
- $Q_{csol_d}$  = guadagno solare medio giornaliero;
- $H_{ve}$  = coefficiente globale di scambio termico per ventilazione [J/hK], calcolato dal tool;
- $H_{tr}$  = coefficiente globale di scambio termico per trasmissione [W/K];
- $\theta_{int}$  = temperatura interna di set point, (invernale = 20°C, estivo 26°C), ma è un parametro settabile del tool;
- $\theta_{est}$  = temperatura esterna media giornaliera, il calcolo viene effettuato per interpolazione utilizzando le temperature medie mensili, fornite dai dati climatici (10349), assegnate al 15-esimo giorno del mese;
- $t_d$  = durata del giorno 24 [h].

### 3.5.8 Calcolo dei fattori di utilizzo e fabbisogno di energia termica dell'involucro

Il calcolo del fabbisogno di energia utile dell'involucro richiede di avere tutti i parametri delle (1) e (2) ottenuti nelle fasi precedenti del calcolo. La procedura GIS importa i risultati ottenuti nei precedenti tool tramite il codice univoco dell'edificio ed effettua il calcolo ottenendo le due mappe del fabbisogno nello dell'involucro invernale ed estivo. Per effettuare il calcolo rimane però da calcolare il fattore di utilizzazione (35) (38): si tratta di un parametro dinamico definito su base mensile che diminuisce il peso degli apporti termici nel calcolo del fabbisogno di energia utile invernale e delle dispersioni termiche nel calcolo estivo.

Sono necessarie diverse formule (vedi UNI/TS 11300-1:2008, par 15e della UNI ISO EN 13790: 2008) basate su quantità definite nelle fasi precedenti del calcolo (guadagni e perdite di calore mensili, Coefficienti di scambio termico, geometria dell'involucro) ai quali si aggiunge la capacità termica aerica dei materiali interni dell'involucro riportata negli archetipi o negli abachi dei materiali. Il calcolo sarà effettuato su base mensile, con le specifiche per il calcolo standard o di progetto, ossia considerando un regime di funzionamento continuo degli impianti senza attenuazione o spegnimento notturno.

I dati di ingresso necessari a questo calcolo (35,36,37,38,39) sono tutte quantità già note legate al riferimento spaziale della unità edilizia (BB). L'unico parametro ancora da calcolare (tool C6) è la costante tempo che è legata al valore di capacità termica aerica e alla geometria dell'edificio con la formula (33). In caso di valutazione standard, essa può essere determinata con l'approccio semplificato proposto dal prospetto 16 (punto 15.2 UNI 11300-1:2008), in cui viene fornito un valore di capacità termica superficiale unitaria media "Cmu" in funzione delle caratteristiche costruttive dell'edificio. Tale valore dovrà poi essere moltiplicato per le superfici interne dell'edificio, ossia per la superficie interna delle murature perimetrali e per le superfici dei pavimenti e dei soffitti. Il dato unitario di Cmu viene inserito tra gli attributi dell'archetipo mentre, per semplificare, si sono utilizzate le superfici esterne dell'involucro e quella della superficie utile in luogo delle superfici interne (34).

$$\tau = C_m * 1000 / (H_{tr} * 3600 + H_{ve}) \quad [h] \quad (33)$$

- $\tau$  = costante di tempo termica [h], valore caratteristico dell'edificio;
- $H_{ve}$  = coefficiente globale di scambio termico per ventilazione [J/hK];
- $H_{tr}$  = coefficiente globale di scambio termico per trasmissione [W/K];
- $C_m$  = capacità termica interna nella zona termica [kJ/K], valore caratteristico dell'edificio;

$$C_m = C_{mu} * ([Sum_{Sb}] + [Cli\_Surf] * 2) \quad [kJ/K] \quad (34)$$

- $C_{mu}$  = valore unitario della capacità termica [kJ/(m²\*K)], inserito nella definizione dell'archetipo;
- $Sum_{Sb}$  = Gross facades surfaces [m²];
- $Cli\_Surf$  = area utile delle unità immobiliari [m²];

- *Fattore di utilizzazione degli apporti di calore (Futh)*

Se  $g_h > 0$  e non  $g_h = 1$

$$Futh = (1 - g_h^{a_h}) / (1 - g_h^{(a_h+1)}) \quad (35)$$

Se  $g_h = 1$

$$Futh = a_h / (a_h + 1) \quad (36)$$

- $Futh$  = fattore di utilizzazione degli apporti termici
- $g_h = (Q_{hint} + Q_{hsol}) / (Q_{hve} + Q_{ht})$  rapporto tra gli apporti termici mensili e le dispersioni, tale parametro varia ogni mese, ma si possiedono già tutti i dati per il suo calcolo.

$$a_h = a_{h0} + \tau / \tau_{h0} \quad (37)$$

- $a_{h0} = 1$ , per il calcolo mensile
- $\tau_{h0} = 15$  [h]
- $\tau$  = costante di tempo termica [h] valore caratteristico dell'edificio

- *fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche (Futc)*

Se  $g_c > 0$  e non  $g_c = 1$

$$Futc = (1 - g_c^{a_c}) / (1 - g_c^{(a_c+1)}) \quad (38)$$

Se  $g_c = 1$

$$Futc = a_c / (a_c + 1)$$

Se  $g_c < 0$

$$Futc = 1$$

- $g_h = (Q_{cint} + Q_{csol}) / (Q_{cve} + Q_{ct})$  rapporto tra gli apporti termici mensili e le dispersioni, tale parametro varia di mese in mese, ma si possiedono già tutti i dati per il suo calcolo;

$$a_c = a_{c0} + \tau / \tau_{c0} \cdot k \cdot (A_w / A_f) \quad (39)$$

- $a_{c0} = 8,1$ , per il calcolo mensile;
- $\tau_{c0} = 17$  [h];
- $K = 13$ ;
- $A_w$  = superficie finestrata [mq];
- $A_f$  = superficie utile climatizzata [mq];
- $\tau$  = costante di tempo termica [h], valore caratteristico dell'edificio.

### 3.5.9 Calcolo dell'energia da fornire all'impianto

Il calcolo del fabbisogno della energia in ingresso all'impianto prende in considerazione l'efficienza dei sistemi impiantistici, che sono impiegati per mantenere le condizioni di comfort interne e soddisfare il fabbisogno di energia utile dell'involucro calcolato in precedenza ( $Q_h$ ,  $Q_c$ ). La normativa introduce con la (40) i sottosistemi impiantistici per una modellazione delle performance finalizzata al progetto di interventi migliorativi: emissione, regolazione, distribuzione e accumulo, generazione.

Si definisce una formula (41) valida per ogni i-esimo sottosistema, dove è presente una energia di uscita ( $Q_{out}$ ) e una energia di ingresso ( $Q_{in}$ ), che tiene conto delle perdite ( $Q_l$ ) e dei recuperi ( $Q_{lr}$ ) dello stesso e degli ausiliari elettrici.

Il fabbisogno di energia termica in uscita dal sottoinsieme di emissione coincide con il fabbisogno di energia utile dell'involucro, seguono: la regolazione, la distribuzione e l'accumulo. Infine il sottosistema di generazione ricava con i suoi rendimenti caratteristici il consumo teorico del servizio nel suo specifico vettore energetico (elettricità, GPL, GAS naturale, legno, etc).

Per la determinazione dei fattori di rendimento da inserire nel calcolo è in generale necessario avere a disposizione le schede tecniche degli elementi che costituiscono il sistema impiantistico, oppure, in loro mancanza, utilizzare i prospetti semplificativi proposti dalla normativa basati su rendimenti caratteristici di alcuni sottosistemi impiantistici (tabella 3.15). Tali prospetti normativi sono tuttavia piuttosto articolati, e in generale, sono legati a informazioni reperibili durante un sopralluogo nella unità immobiliare o da elaborati progettuali di dettaglio, che non possono essere ragionevolmente noti per uno studio a scala urbana.

Al fine di facilitare le operazioni di impostazione degli abachi degli impianti, si propone una procedura più semplificata che richiede solo l'inserimento del rendimento di generazione e la stima di un rendimento complessivo (massimo, minimo, più probabile) del sistema impiantistico che comprende emissione, distribuzione e regolazione.

Il tool effettua i calcoli delle perdite del sistema (distribuzione, emissione, regolazione) e di generazione con le formule della norma (42) utilizzate con i rendimenti riportati nell'abaco e poi utilizza le (43) e la (44) per il calcolo della energia di fornire all'impianto.

I fattori di rendimento si possono desumere dai coefficienti riportati nella normativa, da analisi tipologiche su casi reali ricorrenti o tramite l'apporto di esperti.

$$Q'_x = Q_x + Q_{lxe} + Q_{lxr} + Q_{lxd} + Q_{lg} - \sum Q_{rxi} \quad (40)$$

- $Q'_x$  = fabbisogno di energia da fornire all'impianto per soddisfare il fabbisogno stagionale x-esimo ( $Q_h$ ,  $Q_c$ );
- $Q_x$  = fabbisogno di energia utile stagionale (calcolato da D2);
- $Q_{lxe}$  = perdite di calore stagionali del sottosistema di emissione;
- $Q_{lxr}$  = perdite di calore stagionali del sottosistema di regolazione;
- $Q_{lxd}$  = perdite di calore stagionali del sottosistema di distribuzione e accumulo;
- $Q_{lg}$  = perdite di calore stagionali del sottosistema di generazione;
- $\sum Q_{rxi}$  = sommatoria dei recuperi di calore del sottosistema i-esimo (emissione, regolazione, distribuzione, generazione);

$$Q_{in,i} = Q_{out,i} + (Q_{li} - Q_{lr,i}) - Q_{aux,lr,i} \quad (41)$$

- $Q_{in,i}$  = il fabbisogno di energia termica (invernale o estiva) richiesto in ingresso del sottosistema i-esimo;
- $Q_{li}$  = le perdite del sottosistema i-esimo;
- $Q_{lr,i}$  = le perdite recuperate del sottosistema i-esimo;
- $Q_{out,i}$  = energia termica utile da fornire in uscita del sottosistema i-esimo;
- $Q_{aux,lr,i}$  energia termica recuperata dagli ausiliari elettrici (tale fattore non è considerato nel metodo di calcolo semplificato);

$$Q_{le,i} = Q_{out,i} * (1 - \eta_i) / \eta_i \quad (42)$$

- $Q_{li}$  = le perdite del sottosistema i-esimo differente per stagione invernale ed estiva;
- $Q_{out,i}$  = energia da fornire in uscita del sottosistema i-esimo differente per stagione invernale ed estiva;
- $\eta_i$  = rendimento del sottosistema i-esimo differente per stagione invernale ed estiva;

$$Qd_x = Q_{ls} + Q_{lg} + Q_{aux} \quad (43)$$

- $Q_{ls}$  = le perdite del sistema impiantistico (emissione, distribuzione, regolazione) differente per stagione invernale ed estiva, calcolate con la (35, 36) ed il rendimento dell'abaco;
- $Q_{lg}$  = perdite di calore stagionali del sottosistema di generazione per stagione invernale ed estiva, calcolate con la (35, 36) ed il rendimento dell'abaco;
- $Q_{aux}$  = fabbisogno di energia elettrica per ausiliari;

$$Q_{aux} = ([aux\_g] + [aux\_s]) * h * G \quad (44)$$

- $aux\_g$  e  $aux\_s$  = consumo orari di ausiliari di generazione del sistema impiantistico tipologico da abaco
- $G$  = giorni stagione (estate inverno),  $h$  = 8 ore a giorno



**Tabella 3.15 – Prospetti semplificativi proposti dalla normativa per i sotto sistemi impiantistici**

| EMISSIONE             | FONTE NORMATIVA                                                                             | PARAMETRI                                                                                  |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\eta_{he}$ Invernale | Prospetti 17 (h interna < 4m) e 18 (h interna > 4m), (UNI/TS 11300-2: 2008)                 | Altezza locali interni,                                                                    |
|                       |                                                                                             | Carico termico annuo medio [W/m <sup>3</sup> ]                                             |
|                       |                                                                                             | Tipo di terminale di erogazione                                                            |
|                       |                                                                                             | Temperature del fluido                                                                     |
| $\eta_{ce}$ Estivo    | Prospetto 6 (UNI/TS 11300-3: 2010)                                                          | Tipo di terminale di erogazione                                                            |
| <i>Regolazione</i>    |                                                                                             |                                                                                            |
| $\eta_{hr}$ Invernale | Prospetto 20, (UNI/TS 11300-2: 2008)                                                        | Tipo di regolazione                                                                        |
| $\eta_{cr}$ Estivo    | Prospetto 7, (UNI/TS 11300-3: 2010)                                                         | Tipo di regolazione                                                                        |
| <i>Distribuzione</i>  |                                                                                             |                                                                                            |
| $\eta_{hd}$ Invernale | Prospetti semplificati: 21a, 21b, 21c, 21d, 21e (UNI/TS 11300-2: 2008)                      | Tipologia di rete (centralizzata, autonoma, etc)                                           |
|                       | Calcolo analitico: appendice A (UNI/TS 11300-2: 2008)                                       | Anno di costruzione, Isolamento tubi                                                       |
|                       |                                                                                             | Tipo di edificio (piani fuori terra, etc)                                                  |
|                       |                                                                                             | Progetto della rete per il calcolo analitico                                               |
| $\eta_{cd}$ Estivo    | Appendice A, UNI/TS 11300-3: 2010                                                           | Temperature del fluido                                                                     |
|                       |                                                                                             | Tipologia di rete (centralizzata, autonoma, etc)                                           |
|                       |                                                                                             | Anno di costruzione, Isolamento tubi                                                       |
|                       |                                                                                             | Tipo di edificio (piani fuori terra, etc)                                                  |
| <i>Accumulo</i>       |                                                                                             | Progetto della rete per il calcolo analitico                                               |
| $\eta_{ha}$ Invernale | Par 6.9.3 UNI/TS 11300-2: 2008                                                              | Temperature del fluido                                                                     |
| $\eta_{ca}$ Estivo    | Appendice B UNI/TS 11300-3:2010                                                             | Geometria superficie disperdente, strato isolante, temperatura del fluido ed dell'ambiente |
| <i>Ausiliari</i>      |                                                                                             |                                                                                            |
| Invernale             | Emissione: punto 6.7.1 (UNI/TS 11300-2: 2008, prospetto 25)                                 | Tipologia e condizioni d'uso delle ventole e delle pompe del sottosistema i-esimo          |
|                       | Distribuzione: punto 6.7.3 (UNI/TS 11300-2: 2008, prospetti 25-26)                          | Temperature del fluido                                                                     |
|                       | Generazione: Appendice B (UNI/TS 11300-2: 2008)                                             |                                                                                            |
| $Q_{aux_i}$           | Emissione: punto 5.4.2 (UNI/TS 11300:2010-3, prospetto 8)                                   | Tipologia e condizioni d'uso delle ventole e delle pompe del sottosistema i-esimo          |
| Estivo                | Distribuzione: punto 5.4.3 (UNI/TS 11300:2010-3)                                            |                                                                                            |
|                       | Generazione: punto 5.4.4 (UNI/TS 11300:2010-3, prospetto 9)                                 |                                                                                            |
| <i>Generazione</i>    |                                                                                             |                                                                                            |
| $\eta_{ha}$ Invernale | Sistemi a bruciatori: prospetti 23a, 23b, 23c, 23d, 23 e Appendice B (UNI/TS 11300-2: 2008) | Dati tecnici, tipo di installazione, fattori di utilizzo, fattori di carico termico        |
|                       | Altri Sistemi (HP, etc): UNI/TS 11300 - 4: 2016                                             |                                                                                            |
| $\eta_{ca}$ Estivo    | Generazione HP: punto 5.5, appendici C –D (UNI/TS 11300:2010-3,)                            | Dati tecnici, tipo di installazione, fattori di utilizzo, fattori di carico termico        |

### 3.5.10 Calcolo del fabbisogno energetico di acqua calda sanitaria (ACS)

Il calcolo della normativa comprende anche il servizio di ACS, che, in caso di calcolo standard, adotta una procedura semplificata che esclude la componente umana dalla determinazione del fabbisogno, in favore di una valutazione basata interamente su parametri dipendenti dalla destinazione d'uso.

In caso di calcolo standard e di assenza di impianti centralizzati, si possono usare i prospetti forniti dalla norma (prospetto 31, UNI/TS 11300-2:2008) dai quali ricavare direttamente i valori di rendimento medio stagionale per diversi tipi di sistemi di produzione di ACS. Nel caso di impianti integrati con il riscaldamento, il fabbisogno netto per ACS viene aggiunto in generazione nel calcolo dell'energia primaria per riscaldamento. Il tool sviluppato (tool E1) adotta la procedura per il calcolo standard calcolando con le (40) (41) il fabbisogno sulla base della superficie

utile delle unità immobiliari considerate tutte come residenziali o assimilabili, in quanto i parametri proposti dalla normativa per il calcolo standard (prospetto 13) nel caso di altri usi non sono facilmente recuperabili per un'analisi alla scala urbana (n° posti letto, n° di docce, n° studenti, etc).

Il fabbisogno di energia per DHW non soddisfatto da impianti combinati con il servizio di riscaldamento è poi utilizzato per calcolare con le (36) (37) (38) il fabbisogno di energia in ingresso del sistema.

$$Q_{dhw} = \rho * c * V_w * (\sigma_{er} - \sigma_o) * G \quad [Wh] \quad (45)$$

- $\rho$  = massa volumica dell'acqua [kg/m<sup>3</sup>]
- $c$  = calore specifico dell'acqua pari a 1,162 [Wh/kg °C]
- $V_w$  = volume dell'acqua richiesta durante il periodo di calcolo [m<sup>3</sup>/G]
- $\sigma_{er}$  temperatura di erogazione [°C], ossia 40°C
- $\sigma_o$  = temperatura di ingresso dell'acqua fredda sanitaria, ossia 15°C [°C]
- $G$  = numero dei giorni del periodo di calcolo [G] (mesi)

$$V_w = a * Nu \quad [l/G] \quad (46)$$

- $a$  è il fabbisogno giornaliero specifico [l/G] (prospetti 12, 13, UNI/TS 11300-2:2008), per il residenziale è:
  - $a = 1,8$  per Superficie utile <= 50mq
  - $a = 4,514 * \text{Sup utile}^{-0,2356}$  per tra 51<sup. utile <= 200;
  - $a = 1,3$  per sup utile > 200 mq
- $Nu$  è il parametro che dipende dalla destinazione d'uso dell'edificio (prospetti 12, 13, UNI/TS 11300-2:2008), nel caso di abitazione coincide con la superficie utile della unità abitativa che nel presente caso sarà ricavata dividendo la superficie climatizzata per il n° di unità immobiliari presenti nell'edificio.

### 3.5.11 Parametri di efficienza ed etichetta energetica

I principali parametri di efficienza energetica adottati dalla normativa (Energia Primaria, Emissioni di CO<sub>2</sub>, Costo operativo annuo, etc) sono ricavati moltiplicando il consumo teorico dei vari vettori energetici utilizzati (Q<sub>dh</sub>, Q<sub>dc</sub>, Q<sub>dacs</sub>) calcolato in precedenza per i servizi energetici (riscaldamento, raffrescamento, ACS) per semplici coefficienti di conversione forniti dalla normativa (tabella 3.16).

Le tabelle di conversione sono oggetto di periodici aggiornamenti. Per aggiornare il tool basta sostituire la tabella con quella nuova, inoltre altri coefficienti possono essere facilmente inseriti per ricavare nuovi parametri e indicatori.

**Tabella 3.16 – Fattori di conversione in energia primaria (allegato 1, Decreto Requisiti Minimi 26.06.2015)**

| VEETTORE ENERGETICO                                                   | fP,nren | fP,ren | fP,tot | fCO2<br>[Kg/kWh] | EURO/kWh |
|-----------------------------------------------------------------------|---------|--------|--------|------------------|----------|
| Energia elettrica                                                     | 1,95    | 0,47   | 2,42   | 0,433            | 0,204    |
| Gas naturale                                                          | 1,05    | 0      | 1,05   | 0,197            | 0,084    |
| GPL: Propano (C3H8)                                                   | 1,05    | 0      | 1,05   | 0,228            | 0,174    |
| GPL: Butano (C4H10)                                                   | 1,05    | 0      | 1,05   | 0,231            | 0,174    |
| GPL: Miscela 70% di (C3H8) + 30% di (C4H10)                           | 1,05    | 0      | 1,05   | 0,229            | 0,174    |
| Gasolio                                                               | 1,07    | 0      | 1,07   | 0,264            | 0,113    |
| Olio combustibile                                                     | 1,07    | 0      | 1,07   | 0,27             | 0,113    |
| Carbone                                                               | 1,1     | 0      | 1,1    | 0,34             | 0,120    |
| Biomasse solide                                                       | 0,2     | 0,8    | 1      | 0,041            | 0,063    |
| Biomasse liquide                                                      | 0,4     | 0,6    | 1      | 0,082            | 0,063    |
| Biomasse gassose                                                      | 0,4     | 0,6    | 1      | 0,082            | 0,063    |
| Teleriscaldamento                                                     | 1,5     | 0      | 1,5    | 0,309            | 0,111    |
| Teleraffrescamento                                                    | 0,5     | 0      | 0,5    | 0,103            | 0,111    |
| fP,nren = Fattore di Energia primaria da fonti non rinnovabili al kWh |         |        |        |                  |          |
| fP,ren = Fattore di Energia primaria da fonti rinnovabili al kWh      |         |        |        |                  |          |
| fP,tot = Fattore di Energia primaria totale al kWh                    |         |        |        |                  |          |
| CO2 [Kg/kWh] = fattore di emissione di CO <sub>2</sub> al kWh         |         |        |        |                  |          |
| Euro/kWh = costo al kWh                                               |         |        |        |                  |          |

### 3.6 Validazione preliminare

La metodologia proposta si compone di alcune fasi meno strutturate (pre-processing, rappresentazione dei risultati, etc) che dipendono fortemente dai dati di base disponibili e dalle risorse, che sono state testate tramite lo sviluppo del caso studio.

In questa sede si riportano i risultati di una preliminare attività di validazione del solo modello energetico impostato su UBEP\_11300, volta a valutare la *coerenza* col calcolo della normativa e l'*affidabilità* generale dei risultati.

Trattandosi di un calcolo di performance energetica e in mancanza di dati reali di consumo, l'attività si basa sul confronto tramite la (47) dei risultati dei UBEP\_11300 con alcuni software di controllo in riferimento ad un edificio tipo valutato con diverse configurazioni al contorno.

$$Erx = (\sum (UBEP_i - S_{ix})) / \sum S_{ix} * 100 \quad (47)$$

- Erx = Scostamento del valore stimato da UBEP per i-esimo mese rispetto a quello del x-esimo software di controllo

#### 3.6.1 Metodologia: valutazione di coerenza

L'analisi di *coerenza* è impostata come un confronto tra i risultati ottenuti da UBEP\_11300 e quelli di un software di controllo, avente una procedura validata e accettata per l'esecuzione del calcolo della normativa per la redazione delle APE.

La scelta è ricaduta sul software gratuito DOCET3 (ITC-CNR 2019), che utilizza una procedura semplificata di calcolo sviluppata dal CNR, coerente con la norma UNI 11300 utilizzabile per la APE degli edifici esistenti, per unità immobiliari molto grandi e alcuni specifici tipi di impianti. Il software è risultato idoneo perché per effettuare la APE nella modalità edificio (UNI 11300 cap 8.1) assume semplificazioni simili alla metodologia UBEP\_11300. Inoltre, grazie all'approccio semplificato del software, si ha la possibilità di compiere i calcoli in poco tempo, in modo da poter confrontare un numero più vasto di casistiche. Il codice DOCET3, così come la procedura UBEP\_11300, effettua i calcoli in maniera coerente con la normativa, ma non in modo perfettamente coincidente, perciò, per effettuare il confronto, è stato necessario definire un edificio ideale che garantisse il più

possibile le stesse condizioni di calcolo (vedi tabella 3.17 e figura 3.17 seguenti).

L'input dei dati di ingresso riguardanti l'involucro edilizio sono simili nelle due metodologie di calcolo, in quanto entrambe adottano una sola tipologia di struttura per ogni elemento di fabbrica dell'involucro (muri, coperture, basi, muri verso locali non riscaldati, finestre) ed effettuano solo la valutazione forfettaria dei ponti termici. In altre parole in entrambe le metodologie non è presente un input grafico che permette la modellazione analitica delle geometrie, ma la scatola edilizia è modellata sulla base delle sue dimensioni esterne lorde. DOCET può ricavare i dati termo-fisici delle strutture dagli abachi della normativa, ma i valori possono essere settati anche manualmente così da avere la perfetta coincidenza con gli input di UBEP\_11300. Similmente a UBEP\_11300, il calcolo dei volumi climatizzati e delle superfici utili in DOCET3 richiede alcuni dati generali (n° livelli, altezza dell'interpiano) e poi utilizza le formule della normativa, tuttavia permette anche la modifica manuale del dato. Così come modellato negli archetipi di UBEP\_11300, le superfici disperdenti verso aree non riscaldate adiacenti sono valutate tramite il perimetro e l'altezza media dell'interpiano.

La modellazione delle superfici trasparenti è simile perché, mancando l'interfaccia grafica, anche DOCET3 valuta le superfici finestrate come percentuali di apertura sulla facciata, ma è possibile settare un solo fattore di riduzione solare per aggetti orizzontali (baconi, tettoie, etc) coincidente ad un angolo di 10°.

La maggiore differenza tra le due metodologie è il settaggio del contesto urbano: DOCET possiede solo tre configurazioni fisse impostabili per le sole otto direzioni azimutali principali: spazio libero (no ombreggiamento), contesto urbano (ostacolo a 10m), periferia (ostacolo a 20m). L'altezza della ostruzione esterna può essere impostata solo inserendo il numero di livelli dell'edificio oscurante la vista, il calcolo è effettuato considerando l'ostacolo posto in posizione centrale e di una altezza pari a 3m per livello. Perciò, per il confronto la CXMap della metodologia UBEP\_11300, tale valore è stata impostato in modo da ottenere delle condizioni del contesto equivalenti.

La procedura adottata da UBEP\_11300 per la valutazione del fabbisogno di energia primaria, ossia per valutare le efficienze degli impianti, si discosta fortemente da quella della normativa, basandosi sulla semplice impostazione di rendimenti tipologici degli impianti definiti tramite abaco, perciò il confronto verrà attuato solamente sui parametri che influenzano il fabbisogno termico utile dell'involucro.

Per questi motivi la comparazione tra i due software è basata sui risultati del fabbisogno di energia utile invernale ed estiva ( $Q_h$ ,  $Q_c$ ) e altri parametri delle (1) e (2) valutati in diverse configurazioni di involucro edilizio e contesto (circa 60 configurazioni).

### 3.6.2 Metodologia: valutazione di affidabilità

La valutazione di affidabilità dei risultati di UBEP\_11300, è invece effettuata sulla comparazione dei valori di fabbisogno di energia utile invernale ed estiva ( $Q_h$ ,  $Q_c$ ) ricavati su alcune delle configurazioni precedenti con un software di controllo (TermologEpix 10, Logical soft) capace di effettuare partendo dagli stessi dati di ingresso sia il calcolo standard adeguato alla normativa vigente (UNI TS 11300 - parti 1 e 2:2014, UNI TS 11300-3:2010 e UNI TS 11300 - parti 4 e 5:2016 oltre alla UNI 10349:2016), che il calcolo dinamico recentemente introdotto recentemente dalla normativa europea (ISO EN 52016-17) per la quale il software utilizzato ha già superato una procedura di validazione (ASHRAE) [32]. La scelta del software permette di facilitare le operazioni di comparazione in quanto i risultati sono già organizzati su base mensile ed inoltre le procedure condividono i dati di ingresso (profilo climatico, geometria e materiali delle strutture, etc).

L'edificio ideale utilizzato per le comparazioni (tabella 3.17) si trova nel contesto climatico del caso studio e ha le caratteristiche tipiche di una piccolo edificio molto comune nel contesto analizzato. Si tratta di un edificio due livelli fuori terra con forma regolare, tetto piano, chiusure verticali lapidee e orizzontamenti latero-cementizi, completamente privo di isolamento termico.

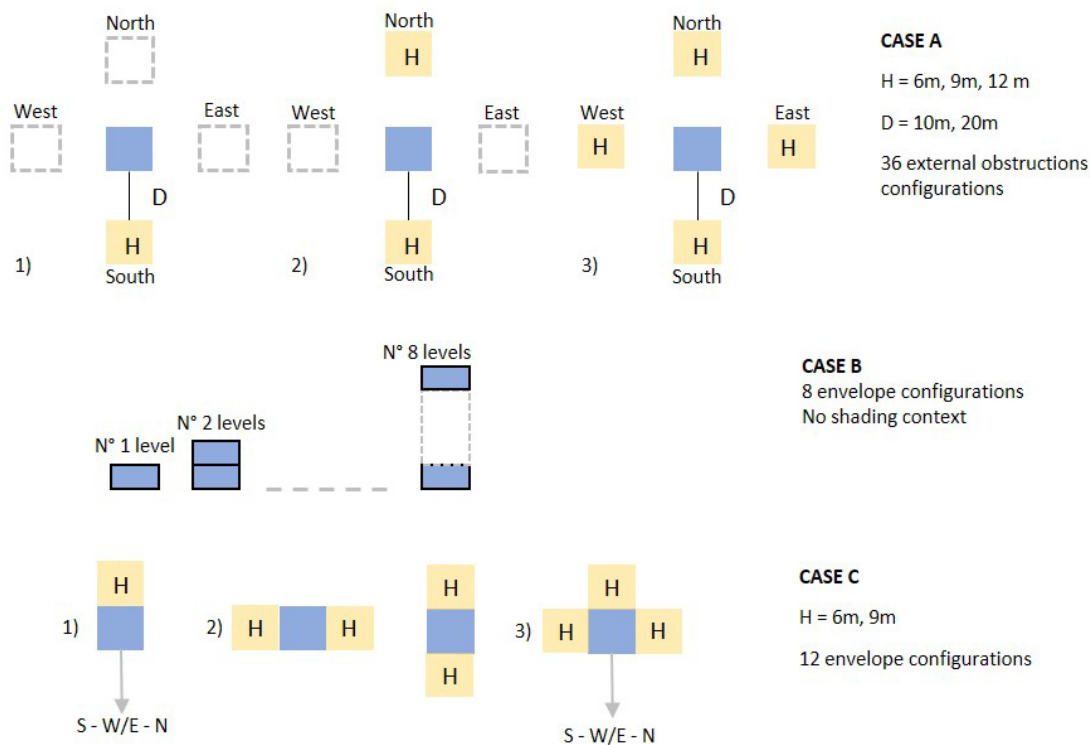
La valutazione di coerenza prevede la comparazione dei risultati di fabbisogno di energia utile (DOCET e UBEP\_11300) e di altri parametri della (1), per alcune configurazioni dell'edificio tipo:

- CASO\_0, di assenza di contesto;
- CASI\_A, inserendo alcune condizioni al contorno relative all'ombreggiamento del contesto urbano;
- CASI\_B, variando il numero di livelli dell'edificio;
- CASI\_C, considerando la presenza di edifici adiacenti.

La valutazione di affidabilità adotta la configurazione del caso A3 (con distanza  $D = 10\text{m}$ ) e del caso B per effettuare una comparazione tra la stima dei fabbisogni di energia utile ( $Q_h$ ,  $Q_c$ ) del tool GIS e quelli ricavati dai software di controllo (DOCET, UNI\_11300, ISO\_52016).

**Tabella 3.17 – Sintesi dei dati di input dell'edificio tipo**

| CARATTERISTICHE GEOMETRICHE                                 |               | CARATTERISTICHE INVOLUCRO                                                                                   | U-VALUE      |
|-------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Glaze ratio, su tutte le facciate                           | 15 [%]        | Chiusure verticali opache: muratura portante lapidea intonacata, 0,6m spessore                              | 1,61         |
| Interpiano lordo                                            | 3 [m]         | Solaio di base: latero-cementizio contro terra, massetto e pavimentazione ceramica                          | 1,65         |
| Lato nord e sud                                             | 10 [m]        | Copertura orizzontale: solaio latero-cementizio, massetto e pavimentazione ceramica                         | 1,5          |
| Lato Est/Ovest                                              | 10 [m]        | Chiusure verticali trasparenti: finestre con telaio in legno, vetro singolo, cassonetti e tapparella in PVC | 4,9          |
| Vano scala verso l'area riscaldata (perimetro e superficie) | no            | Parete verso il vano scala, laterizio forato (10cm) intonacato su due lati                                  | 1,25         |
| Superficie lorda piano tipo                                 | 100           | N° unità immobiliari, N° piani                                                                              | 1; 2         |
| Colore muratura                                             | 0,6 (average) | Fattori di ombreggiamento edificio (Fin, Fov )                                                              | Non presenti |



**Figura 3.17 – Configurazione dei casi ideali utilizzati per la validazione**

## 4 Il caso studio

Carbonia, la principale città di fondazione italiana degli anni '30 del '900, nasce come polo della politica autarchica dell'energia, e come tale si sviluppa dalla sua pianificazione e progettazione avviata nel 1937 sino a diventare nell'immediato dopoguerra, con i suoi 50 mila abitanti, il terzo polo urbano della Sardegna. Come è noto, la fragile base della "monocoltura del carbone" su cui era basata, un materiale peraltro di qualità non pregiata e destinato quindi a diventare economicamente insostenibile non appena la riapertura dei mercati internazionali riattivò un regime concorrenziale, produssero con la stessa rapidità della sua ascesa un veloce declino. Dagli anni '60-'70, l'impianto nel territorio del polo dell'alluminio e nel contempo la trasformazione

della città in un polo di servizi per l'area vasta arrestarono l'esodo della popolazione sino a stabilizzarlo intorno all'attuale dimensione di 30 mila. Il patrimonio edilizio della fondazione, in origine tutto pubblico, fu progressivamente – ma solo in parte – privatizzato (non senza conseguenze non irrilevanti di modificazioni incongrue) mentre nuovi complessi abitativi, ancora pubblici ma soprattutto privati, davano risposta, nelle fasce di espansione recente, alla crescente domanda di spazi abitativi meno costrittivi dell'*existenz minimum* della prima fondazione.

Nei primi anni del terzo millennio, la municipalità diede il via ad un importante programma di recupero del patrimonio pubblico e infrastrutturale, affidando all'Università di Cagliari ricerche e studi finalizzati al recupero della sua identità storica che diedero il via a progetti e piani di recupero e riqualificazione della *company town* degli anni '30-'40 e della sua miniera. A seguito dell'approvazione del Piano Paesaggistico Regionale, questo patrimonio fu incluso nel Centro di prima fondazione e identificato come Bene paesaggistico e quindi tutelato. Per passare dal vincolo meramente passivo ad una tutela "attiva", capace di orientare l'intervento con una solida base di conoscenza ed opportune Linee Guida è stata approntata all'interno della pianificazione attuativa una "Manualistica del Recupero" che è attualmente in fase di completamento. Nel frattempo tuttavia la crisi ambientale e climatica, con la connessa esigenza di risparmio ed efficientamento energetico degli edifici e di conseguente riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, ha dato un forte impulso alla ricerca ed alla sperimentazione di strumenti capaci di sostenere efficacemente la parte in questo senso più problematica del patrimonio edilizio stesso, che coincide con il grande stock abitativo di Carbonia. Che tra l'altro non è solo riducibile agli edifici prebellici, che pure presentano tipologie edilizie e caratteri costruttivi non poco problematici, ma si estende alle costruzioni che dagli anni '60 in poi hanno raddoppiato lo stock di alloggi approntato dall'IFCP (l'Istituto Fascista per le Case Popolari).

#### 4.1 Identificazione area di studio

Come già evidenziato nei paragrafi precedenti e nel report inerente la LA 1.26, il patrimonio edilizio del Comune di Carbonia è caratterizzato da un esteso nucleo storico (ante anni '50), costituito dall'edilizia della Fondazione per il quale è disponibile una grande quantità di informazioni tecnico – documentali.

A queste si aggiungono delle aree di espansione più recenti, dove sono presenti diffusi esempi di edilizia spontanea ed estesi comparti di edilizia pianificata prevalentemente convenzionata (PEEP e PdZ) (figura 4.1-2). Per questi ultimi tipi di edilizia le informazioni documentali disponibili sono molto inferiori, perciò in linea generale si dovrà fare ricorso a definizioni di tipo più generiche rispetto a quelle del centro storico.

L'altra principale fonte di informazione sul patrimonio edilizio sono i dati ISTAT (CPA 2001, 2011) dai quali è possibile ricavare dati quanto – qualitativi sugli edifici, sulle unità immobiliari e sui sistemi impiantistici più utilizzati, con il dettaglio spaziale massimo della sezione censuaria.

L'area selezionata per testare la metodologia e gli strumenti di modellazione energetica e di rappresentazione e condivisione dei risultati riguarda una porzione del patrimonio edilizio di Carbonia con edifici storici e recenti, in modo da valutare le procedure in casi di diversa disponibilità di dati base. Inoltre i confini di tale area sono coerenti con le sezioni censuari ISTAT, in modo da permettere un confronto diretto con tali dati.

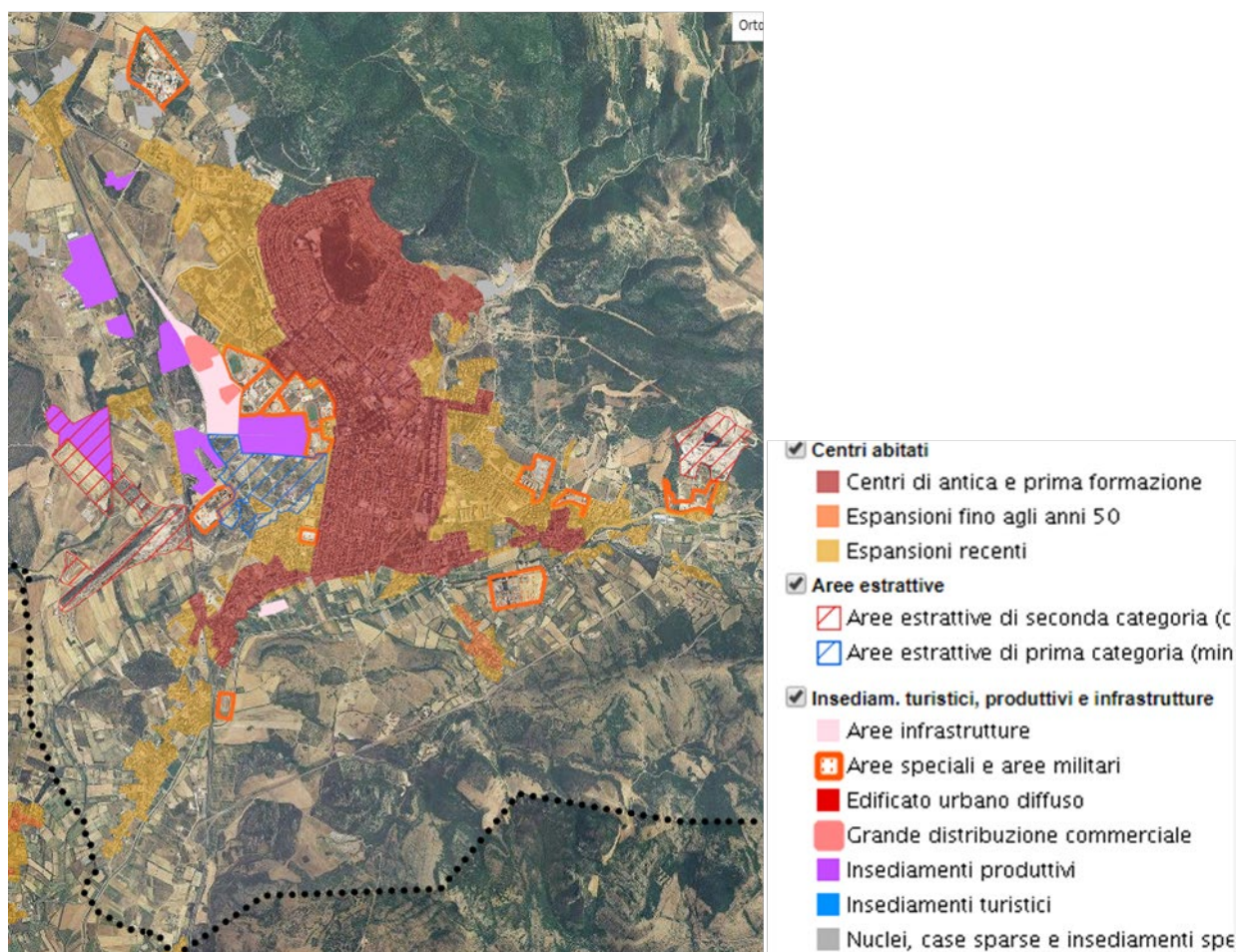


Figura 4.1. Contesto insediativo (dati Geo Portale RAS: <http://www.sardegnaegeoportale.it/>)

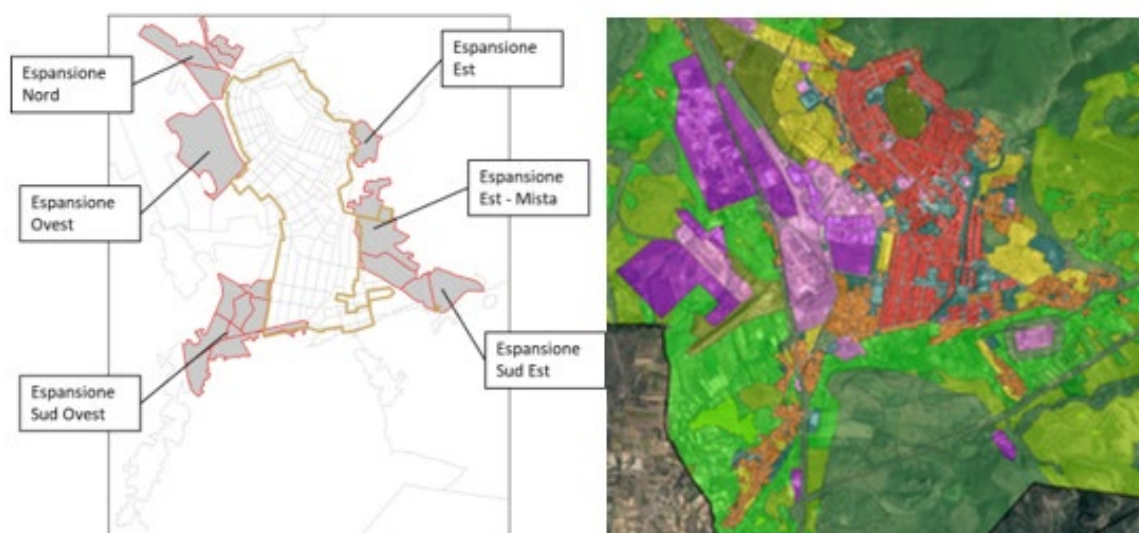


Figura 4.2. Espansioni della città di fondazione

Sulla base degli studi condotti nella scorsa annualità è stata selezionata una porzione di area urbana che contiene sia espansioni pianificate che di tipo spontaneo, con una parte del tessuto storico adiacente. Nello specifico si sono selezionati gli edifici della sezione censuaria 72 della “Espansione Est-Mista” (figura 4.3) a cui si sommano

le sezioni 39 e 68 interamente ricadenti in centro storico. Si tratta di un'area di circa 350 edifici edificati in diversi periodi storici con diverse modalità: espansioni pianificate, edilizia in concessione edilizia singola e alcuni complessi della fondazione.

Più specificatamente:

- le zone C1.1 e C3.1 riferite a dei Piani di Zona prevalentemente attuati tra la fine degli anni '90 ed i primi del 2000 ma ancora in via di completamento;
- la zona B2.2 con alcuni vecchi piani di lottizzazione (anni '80);
- due complessi della fondazione, due stecche di edilizia intensiva dei palazzi O/5 e il complesso dell'ex poliambulatorio, con edifici a uno e due livelli;
- le zone B2.1 e B2.5 di edilizia a concessione singola realizzati in diversi periodi dai primi anni 50 ad ora.



Figura 4.3. Individuazione dell'area di studio

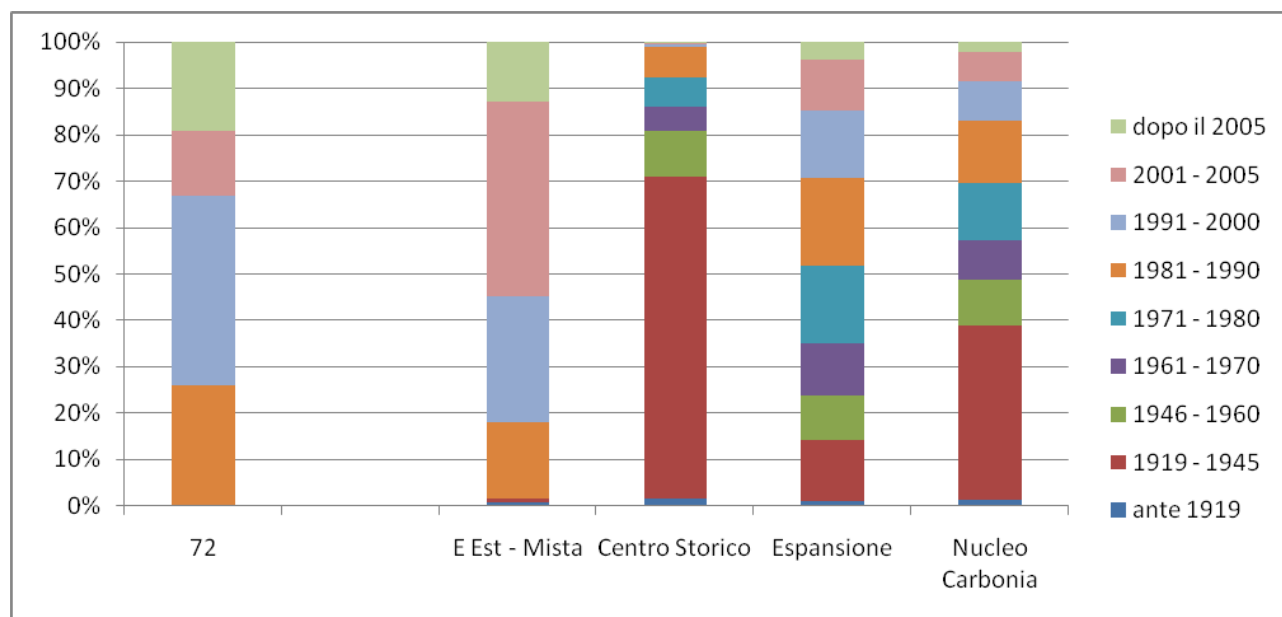


Figura 4.4. Distribuzione degli edifici per periodo di costruzione nella sezione 72 (ISTAT CPA 2011)

#### 4.1.1 Edifici storici riscontrati nell'area di studio

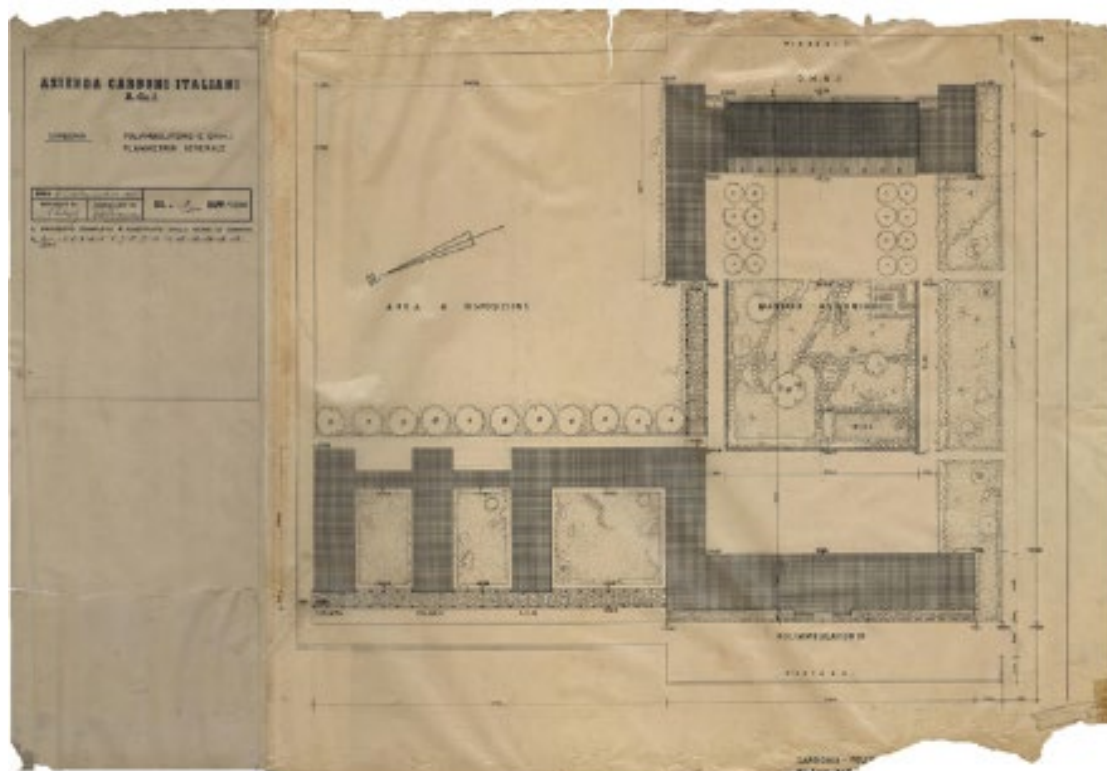
Nel 1941 l'ACal (Azienda Carbonia Italiana) avvia la costruzione di un Poliambulatorio per la cura di alcune malattie infettive e di un edificio dedicato all'OMNI (Opera Nazionale Maternità e Infanzia), che comprendeva un asilo-nido per *"lattanti ed eventualmente per bambini appena divedzi"*. Un aspetto che contraddistingue la storia di questo complesso è la marginalità dell'area individuata per la sua edificazione posizionata in un terreno pianeggiante oltre il Rio Cannas, dislocato a un'equa distanza dal centro e dal quartiere delle tipologie intensive, contrariamente alle indicazioni generali dell'OMNI che prevedevano la costruzione delle Case della Madre e del Bambino in immediata vicinanza ai rioni popolari e posizionata al centro dell'abitato.

Il progetto dell'opera porta la firma dell'architetto Eugenio Montuori, che elabora la prima versione del progetto nel 1939 e una seconda versione, datata 1940, che stravolge il progetto originario quasi totalmente.

Nel progetto del 1939, la planimetria restituisce un impianto formato da due fabbricati inseriti all'interno di un lungo lotto rettangolare. L'organismo principale si sviluppa lungo la direzione longitudinale e comprende il Poliambulatorio, formato da un corpo a pettine e da uno a C, e senza soluzione di continuità l'edificio OMNI attestato al volume che si affaccia sulla strada principale. Sul lato opposto del lotto, il progetto prevede un fabbricato di due piani dedicato agli alloggi per i medici e collegato al resto del complesso tramite un percorso porticato.

Nella nuova planimetria l'OMNI occupa il fronte prima destinato al Poliambulatori, che a sua volta soppianta l'edificio dedicato agli alloggi disposto sul fronte opposto. In un successivo ampliamento l'OMNI assume una forma a L composta da un corpo principale articolato su due piani e rivolto sulla strada e un volume trasversale a un solo piano, che prosegue all'interno del lotto fino a cedere il passo a un percorso porticato che lo collega al Poliambulatorio (vedi figura 4.5-a)).

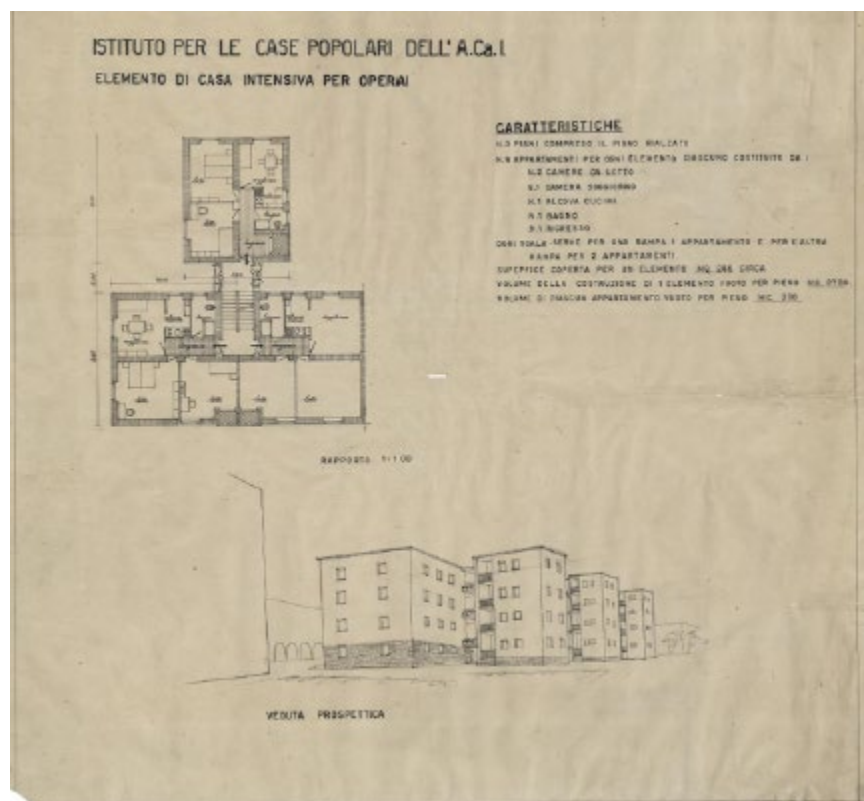
La configurazione attuale del complesso si presenta molto modificata, con superfetazioni e sopraelevazioni soprattutto per la parte dei poliambulatori, attualmente dedicati a residenza. Il corpo edilizio dell'OMNI invece ha sempre mantenuto un uso pubblico: recentemente ha ospitato gli uffici della Provincia e attualmente quelli della Camera di Commercio (figura 4.5 – b)).





Gli edifici O/5, nascono a colmare l'esigenza di fabbricati a carattere intensivo da adibirsi ad abitazioni per operai con appartamenti muniti di impianti igienico sanitari, cosa non comune per il periodo. Essi risultano ricavati in un'area compresa tra l'allora centro urbano e il Rio Cannas, e formati originariamente da nove case intensive per operai di tipo Montuori, che con quattro piani fuori terra ospitano ventiquattro alloggi ciascuna.

Gli edifici, più noti come Pistoni per la loro conformazione esterna, costituiscono una novità assoluta nell'edilizia abitativa della Sardegna: per la prima volta, a dispetto e a causa dei limiti e delle restrizioni imposte dall'autarchia, il telaio in cemento armato s'innesta nel tradizionale apparecchio murario per sperimentare un sistema strutturale fino a quel momento inedito nell'edilizia intensiva a carattere popolare. L'impianto distributivo delle case intensive utilizza come riferimento la maglia strutturale ed è composto da una scala centrale che serve due volumi sfalsati: un corpo principale, che accoglie due alloggi per piano, e un pistone che ospita su ogni livello un alloggio da circa 50 mq, per un totale di 24 unità immobiliari per edificio (figura 4.6-a)). Attualmente gli edifici mantengono essenzialmente la stessa articolazione di quelli storici e costituiscono uno dei tipi storici caratteristici più riconoscibili della città (figura 4.6-b)). Nell'area di studio sono presenti 18 edifici per un totale di 42 in tutto il centro urbano.



<sup>1</sup> A. Sanna, G. Monni. Carbonia, Progetto e Costruzione al tempo dell'autarchia. EdicomEdizioni.



**Figura 4.6- Palazzi della fondazione O/5: a) Scheda riassuntiva della tipologia elaborata dal Montuori, immagine tratta da <sup>2</sup> ; b) vista di parte del complesso attuale**

## 4.2 Rilievo

La fase di rilievo sviluppata per il progetto ha avuto il duplice ruolo di raccolta di informazioni per l'impostazione dei tipi edilizi e degli abachi e di raccolta dei dati direttamente da utilizzare per la modellazione energetica. In questa fase dello sviluppo della metodologia, il rilievo e le conseguenti attività di analisi hanno richiesto una non trascurabile quantità di risorse. In un'ottica di espansione del modello in un'area maggiore le attività di rilievo dovrebbero riguardare solo i dati strettamente funzionali alla esecuzione del modello energetico.

I sopralluoghi hanno riguardato l'area centro orientale dell'agglomerato urbano del comune di Carbonia (figura 4.7). La fase di rilievo in situ è stata preceduta dalla individuazione preliminare delle tipologie edilizie riscontrabili in ogni periodo temporale individuato dalle ortofoto storiche disponibili nei servizi di interoperabilità della RAS (figura 4.8). Questi tipi edilizi di "rilievo" sono stati così assegnati a ogni poligono rappresentate gli edifici dell'area di studio (figura 4.9), insieme a una serie di variabili utili alla definizione dell'approccio tipologico.

Le fonti di dati per il rilievo urbano che sono state utilizzate sono così riassumibili:

- navigatori RAS con ortofoto storiche;
- foto oblique RAS (2008);
- cartografia disponibile nel web (GMaps, street view, etc)
- rilievo sul posto.

L'attività di rilievo è stata svolta col supporto di moduli appositamente sviluppati all'interno del software QGIS (figura 4.7) e nell'App QFiedl per Android a supporto dei sopralluoghi sul posto. L'impostazione di tali strumenti ha reso l'attività rilievo abbastanza speditiva, e inoltre può essere svolta anche da personale non esperto nell'uso degli strumenti GIS e CAD.

<sup>2</sup> A. Sanna, G. Monni. Carbonia, Progetto e Costruzione al tempo dell'autarchia. EdicomEdizioni.

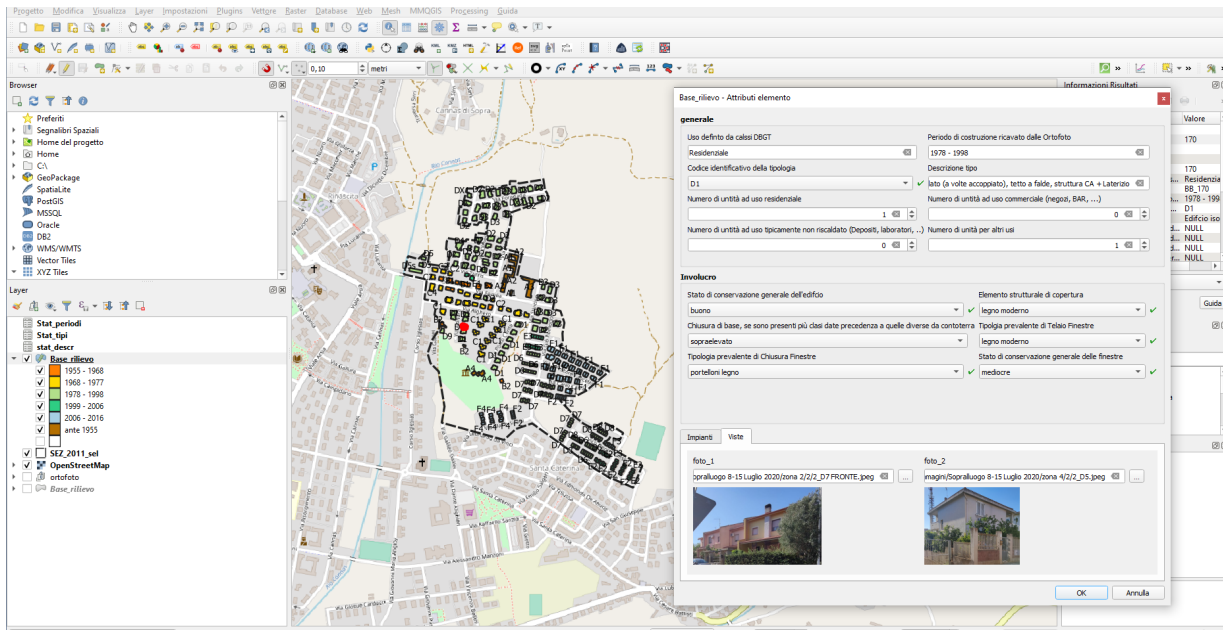


Figura 4.7 - Interfaccia personalizzata di input dati



1954-55, RAS



2006, RAS



1968, RAS



2008 costa, RAS



1977-78, RAS

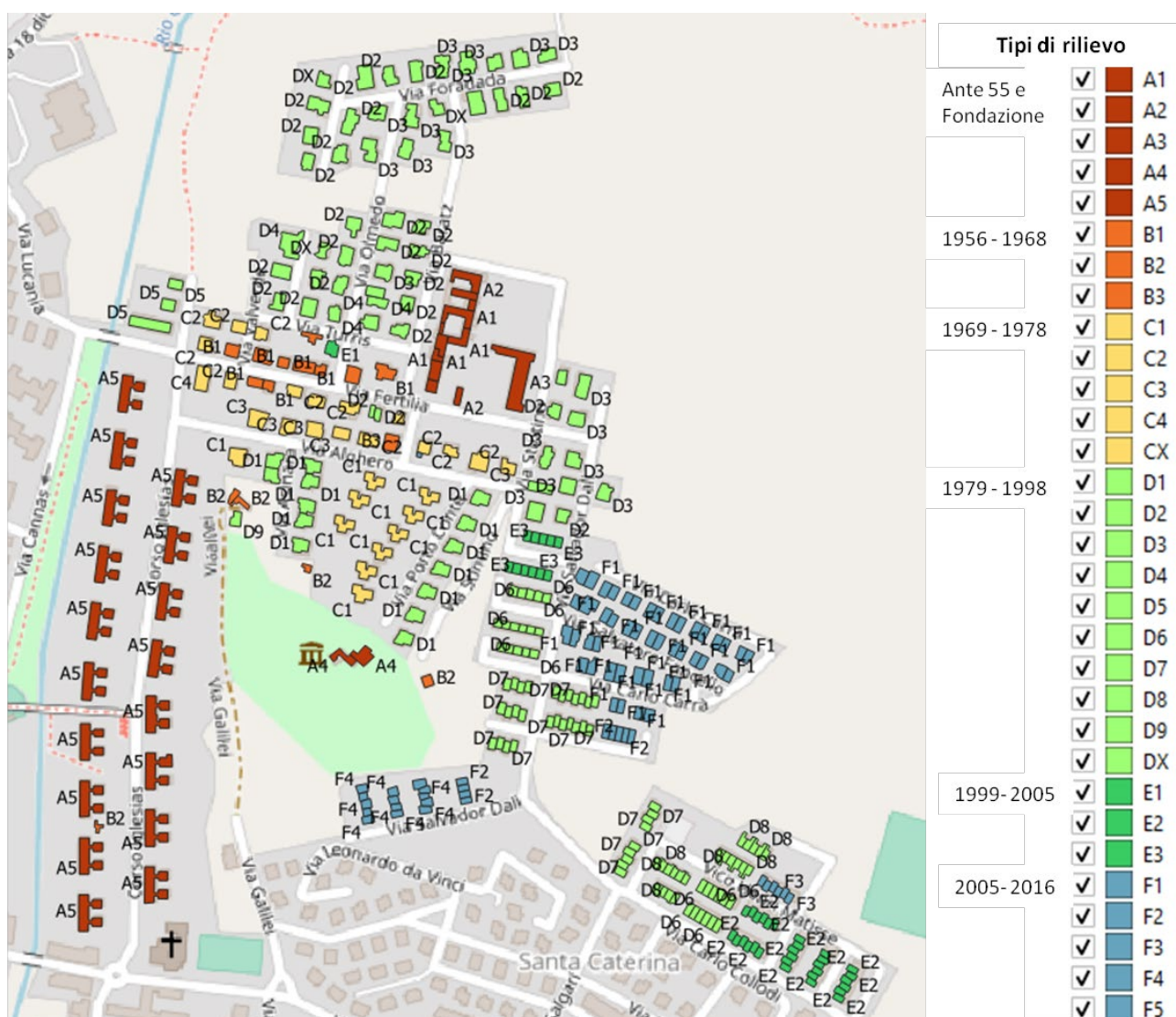


2013, RAS



1998-99, RAS

**Figura 4.8 - Stralcio delle ortofoto RAS per l'area di studio**



**Figura 4.9 - Mappa dei tipi di rilievo con i periodi di costruzione**

#### 4.2.1 Schede delle tipologie di rilievo

Di seguito è mostrata una presentazione analitica dei risultati del rilievo urbano, che si è concentrato nella raccolta di informazioni sui seguenti aspetti:

- stato di conservazione generale dell’immobile: informazione riguardante la condizione delle facciate, la eventuale presenza di distacchi, crepe, tinteggiatura, eventuale presenza di umidità o di fenomeni di risalita;
- numero di unità immobiliari facenti parte dell’edificio;
- chiusura orizzontale di base che isola l’edificio dal terreno;
- elemento di copertura degli edifici;
- tipologia di telaio degli infissi e tipo di schermature prevalenti;
- stato di conservazione generale degli infissi;
- numero di unità esterne per sistemi a pompa di calore;
- presenza di impianti rinnovabili.

Gli edifici censiti sono stati ordinati in funzione del periodo di costruzione e della tipologia edilizia, secondo quanto riportato nel seguito. Nelle schede riassuntive (scheda 1 - 7), a ciascun gruppo è stata associata una foto rappresentativa della tipologia e una breve descrizione della stessa:

**SCHEDA 1: *Periodo di costruzione A – Ante 1955:***

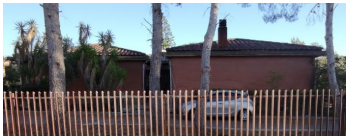
Appartengono a tale periodo storico gli immobili edificati nella prima metà del secolo scorso, risalenti per lo più agli anni '30, a cui sono state associate 4 tipologie edilizie A1, A2, A3, A4.

| PERIODO DI COSTRUZIONE A - ANTE 1955 |                                                                                      |                                                    |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| TIPOLOGIA EDILIZIA                   | FOTO TIPOLOGIA                                                                       | DESCRIZIONE                                        |
| A1                                   |    | Edifici a corte (1935),<br>parzialmente modificati |
| A2                                   |    | Edifici a corte (1935),<br>fortemente modificati   |
| A3                                   |   | Edificio della fondazione<br>(1935), ex provincia  |
| A4                                   |  | Casa a corte antistante<br>tradizionale            |

SCHEDA 2: Periodo di costruzione B – 1955-1968: ne fanno parte le tipologie edilizie B1, B2, B3.

| PERIODO DI COSTRUZIONE B - 1955-1968 |                                                                                    |                                       |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| TIPOLOGIA EDILIZIA                   | FOTO TIPOLOGIA                                                                     | DESCRIZIONE                           |
| B1                                   |   | Edificio isolato con 1-2 livelli, '50 |
| B2                                   |   | Casa rurale                           |
| B3                                   |  | Edificio isolato a 3 livelli, '60     |

SCHEDA 3: Periodo di costruzione C – 1968-1977: caratterizzano questo periodo le tipologie edilizie C1, C2, C3, C4.

| PERIODO DI COSTRUZIONE C - 1968-1977 |                                                                                      |                                            |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| TIPOLOGIA EDILIZIA                   | FOTO TIPOLOGIA                                                                       | DESCRIZIONE                                |
| C1                                   |    | Villetta a tre corpi di fabbrica           |
| C2                                   |    | Edificio isolato con 1-2 livelli, fine '60 |
| C3                                   |   | Edificio isolato                           |
| C4                                   |  | Palazzo                                    |

SCHEDA 4: Periodo di costruzione D – 1977-1998: le tipologie edilizie individuate sono D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8.

| PERIODO DI COSTRUZIONE D - 1977-1998 |                                                                                      |                                        |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| TIPOLOGIA EDILIZIA                   | FOTO TIPOLOGIA                                                                       | DESCRIZIONE                            |
| D1                                   |    | Casa singola monofamiliare             |
| D2                                   |    | Edificio isolato mono o plurifamiliare |
| D3                                   |   | Edificio isolato mono o plurifamiliare |
| D4                                   |  | Edificio anni 80-90 a tetto piano      |
| D5                                   |  | Edificio isoato 2-3 piani              |
| D6                                   |  | Casa a schiera '90 tipo 1              |
| D7                                   |  | Casa a schiera fine anni 90, tipo 2    |

|                  |                                                                                    |                                                       |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <p><b>D8</b></p> |  | <p><b>Casa a schiera fine anni 90,<br/>tipo 3</b></p> |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|

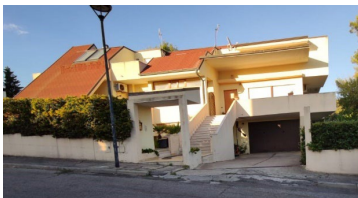
SCHEDA 5: Periodo di costruzione E – 1999-2006: ne fanno parte le tipologie edilizie E1, E2, E3, E4.

| PERIODO DI COSTRUZIONE E - 1999-2006 |                                                                                     |                                |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| TIPOLOGIA EDILIZIA                   | FOTO TIPOLOGIA                                                                      | DESCRIZIONE                    |
| E1                                   |   | Casa singola bifamiliare       |
| E2                                   |   | Casa a schiera primi anni 2000 |
| E3                                   |  | Casa a schiera                 |

SCHEDA 6: Periodo di costruzione F – 2006-2016: tipologie edilizie F1, F2, F3, F4.

| PERIODO DI COSTRUZIONE F - 2006-2016 |                                                                                     |                                  |
|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| TIPOLOGIA EDILIZIA                   | FOTO TIPOLOGIA                                                                      | DESCRIZIONE                      |
| F1                                   |    | Casa singola bifamiliare         |
| F2                                   |   | Casa a schiera post 2005, tipo 1 |
| F3                                   |  | Casa a schiera post 2005, tipo 2 |

SCHEDA 7: *Edifici particolari*: fanno parte di questa categoria gli edifici che non ricadono in nessuna delle tipologie costruttive descritte in precedenza.

| EDIFICI PARTICOLARI |                                                                                     |                        |                                  |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------|
| TIPOLOGIA EDILIZIA  | FOTO TIPOLOGIA                                                                      | PERIODO DI COSTRUZIONE | DESCRIZIONE                      |
| DX                  |    | 1977-1998              | Villa monofamiliare              |
| DX1                 |    | 1977-1998              | Edificio ad uso non residenziale |
| DX2                 |   | 1977-1998              | Edificio rurale                  |
| DX3                 |  | 1977-1998              | Villa monofamiliare              |
| D5S                 |  | 1977-1998              | Edificio pubblico                |
| CX                  |  | 1968-1977              | Edificio ad uso residenziale     |

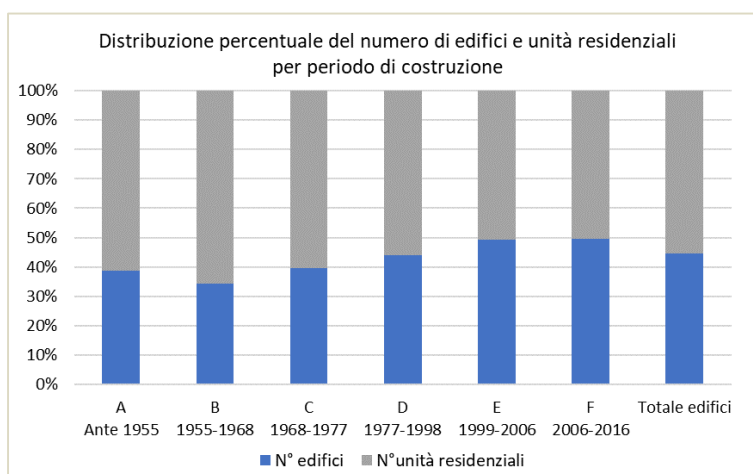
#### 4.2.2 Numero di edifici e di unità residenziali

Come riportato in tabella 4.1, l'indagine, condotta durante la stagione estiva 2020, ha interessato un totale di 329 edifici per complessive 407 unità immobiliari. Dalla distribuzione percentuale è emerso che:

- il 48% degli edifici e il 49% delle unità residenziali sono stati fabbricati tra il 1977 e il 1998;
- il 22% degli edifici e il 18% delle unità residenziali sono risalenti al decennio 2006-2016;
- il 13% degli edifici e l'11% delle unità residenziali ricadono nel periodo costruttivo E;
- il 9% degli edifici e l'11% delle unità residenziali risalgono al periodo di costruzione C;
- il rimanente 8% degli edifici è distribuito in pari percentuale tra il periodo di costruzione A (4%) e B (4%), con il 5% di unità residenziali attribuibili al periodo B e il 4% al periodo A.

**Tabella 4.1 - Edifici e unità residenziali.**

| Periodo di costruzione | N° edifici | N°unità residenziali |
|------------------------|------------|----------------------|
| A - Ante 1955          | 12         | 19                   |
| B - 1955-1968          | 12         | 23                   |
| C - 1968-1977          | 29         | 44                   |
| D - 1977-1998          | 159        | 202                  |
| E - 1999-2006          | 43         | 44                   |
| F - 2006-2016          | 74         | 75                   |
| <b>Totale</b>          | <b>329</b> | <b>407</b>           |

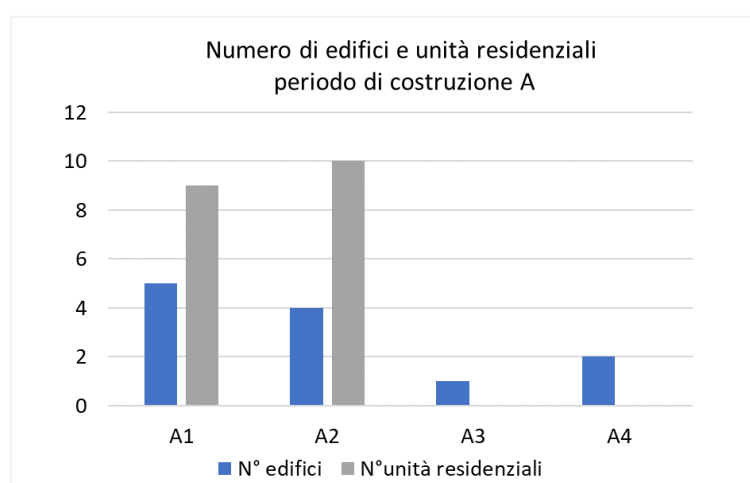


**Figura 4.10 - Distribuzione percentuale edifici e unità residenziali.**

Nel seguito sono stati analizzati nel dettaglio i periodi costruttivi, indagando per ogni tipologia edilizia individuata, sul numero di edifici e di unità residenziali.

**Tabella 4.2 - Edifici e unità residenziali – periodo di costruzione A.**

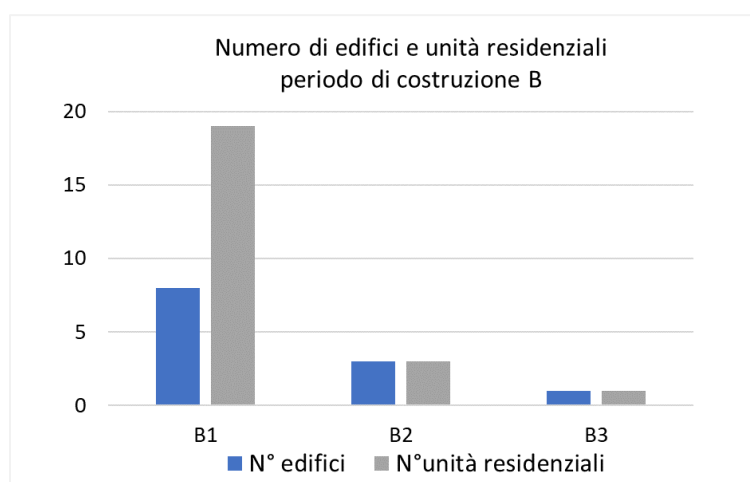
| Periodo di costruzione A -Ante 1995 |            |                      |
|-------------------------------------|------------|----------------------|
| Tipologia edilizia                  | N° edifici | N°unità residenziali |
| A1                                  | 5          | 9                    |
| A2                                  | 4          | 10                   |
| A3                                  | 1          |                      |
| A4                                  | 2          |                      |
| <b>Totale</b>                       | <b>12</b>  | <b>10</b>            |



**Figura 4.11 - Distribuzione percentuale edifici e unità residenziali – periodo di costruzione A.**

**Tabella 4.3 - Edifici e unità residenziali – periodo di costruzione B**

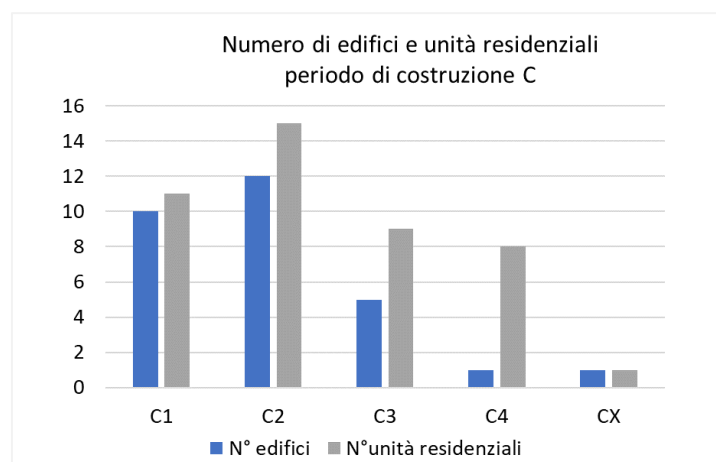
| Periodo di costruzione B – 1995-1968 |            |                      |
|--------------------------------------|------------|----------------------|
| Tipologia edilizia                   | N° edifici | N°unità residenziali |
| B1                                   | 8          | 19                   |
| B2                                   | 3          | 3                    |
| B3                                   | 1          | 1                    |
| <b>Totale</b>                        | <b>12</b>  | <b>23</b>            |



**Figura 4.12 - Distribuzione percentuale edifici e unità residenziali – periodo di costruzione B**

**Tabella 4.4 - Edifici e unità residenziali – periodo di costruzione C**

| Periodo di costruzione C – 1968-1978 |            |                      |
|--------------------------------------|------------|----------------------|
| Tipologia edilizia                   | N° edifici | N°unità residenziali |
| C1                                   | 10         | 11                   |
| C2                                   | 12         | 15                   |
| C3                                   | 5          | 9                    |
| C4                                   | 1          | 8                    |
| CX                                   | 1          | 1                    |
| <b>Totale</b>                        | <b>29</b>  | <b>44</b>            |



**Figura 4.13 - Distribuzione percentuale edifici e unità residenziali – periodo di costruzione C**

**Tabella 4.5 - Edifici e unità residenziali – periodo di costruzione D**

| Periodo di costruzione D – 1978-1998 |            |                      |
|--------------------------------------|------------|----------------------|
| Tipologia edilizia                   | N° edifici | N°unità residenziali |
| D1                                   | 14         | 14                   |
| D2                                   | 29         | 50                   |
| D3                                   | 20         | 34                   |
| D4                                   | 5          | 11                   |
| D5                                   | 2          | 5                    |
| D6                                   | 28         | 28                   |
| D7                                   | 35         | 35                   |
| D8                                   | 21         | 21                   |
| DX                                   | 5          | 4                    |
| <b>Totale</b>                        | <b>159</b> | <b>202</b>           |

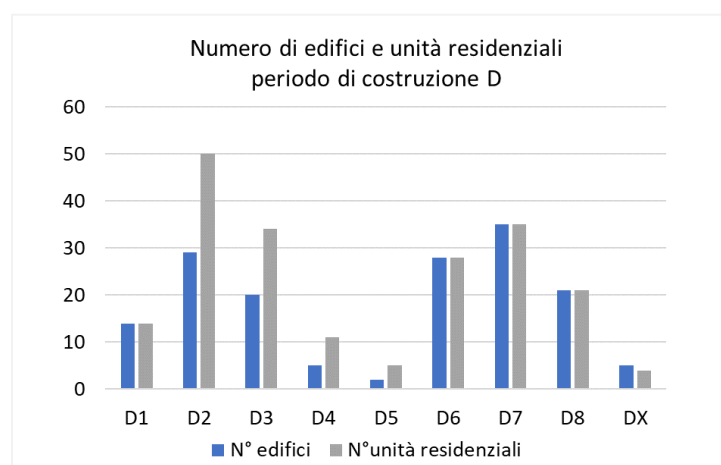
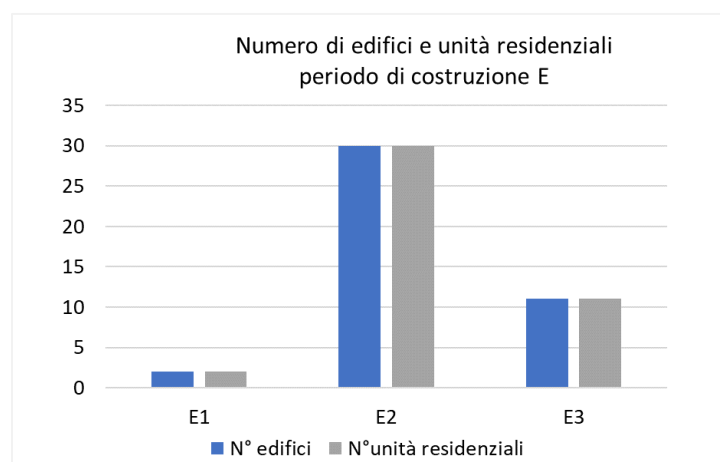


Figura 4.14 Distribuzione percentuale edifici e unità residenziali – periodo di costruzione D

**Tabella 4.6 - Edifici e unità residenziali – periodo di costruzione E**

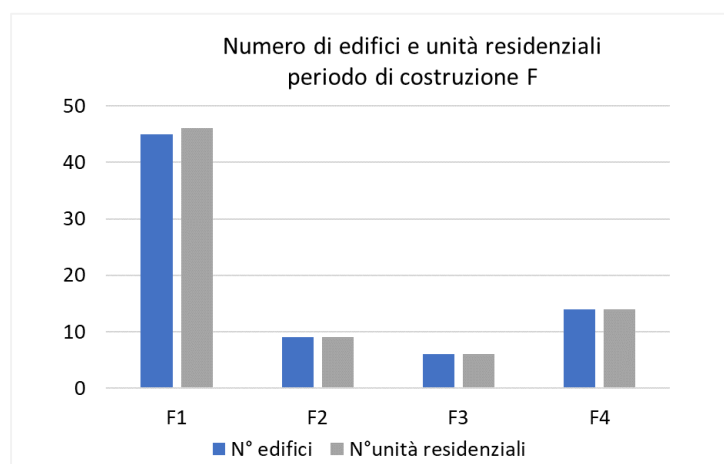
| Periodo di costruzione B – 1995-1968 |            |                      |
|--------------------------------------|------------|----------------------|
| Tipologia edilizia                   | N° edifici | N°unità residenziali |
| E1                                   | 2          | 2                    |
| E2                                   | 30         | 30                   |
| E3                                   | 11         | 11                   |
| <b>Totale</b>                        | <b>43</b>  | <b>43</b>            |



**Figura 4.15 - Distribuzione percentuale edifici e unità residenziali – periodo di costruzione E**

**Tabella 4. - Edifici e unità residenziali – periodo di costruzione F**

| Periodo di costruzione B – 1995-1968 |            |                      |
|--------------------------------------|------------|----------------------|
| Tipologia edilizia                   | N° edifici | N°unità residenziali |
| F1                                   | 45         | 46                   |
| F2                                   | 9          | 9                    |
| F3                                   | 6          | 6                    |
| F4                                   | 14         | 14                   |
| <b>Totale</b>                        | <b>74</b>  | <b>75</b>            |



**Figura 4.16 - Distribuzione percentuale edifici e unità residenziali – periodo di costruzione F**

Dall'indagine è emerso che:

- periodo di costruzione A- ante 1955:  
tipologia edilizia più frequente: A1, *edifici a corte parzialmente modificati*;  
numero maggiore di unità residenziali: A2, *edifici a corte fortemente modificati*.
- periodo di costruzione B 1955-1968:  
tipologia edilizia più frequente: B1, *edificio isolato con 1-2 livelli anni 50*;  
numero maggiore di unità residenziali: B1, *edificio isolato con 1-2 livelli anni 50*.
- periodo di costruzione C 1968-1977:  
tipologia edilizia più frequente: C2, *edificio isolato 1-2 livello fine anni 60*;  
numero maggiore di unità residenziali: C2, *edificio isolato 1-2 livello fine anni 60*.
- periodo di costruzione D 1977-1998:  
tipologia edilizia più frequente: D7, *casa a schiera anni 90, tipo2*;  
numero maggiore di unità residenziali: D2, *edificio isolato mono o plurifamiliare*.
- periodo di costruzione E 1999-2006:  
tipologia edilizia più frequente: E2, *casa a schiera plurifamiliare anni 2000*;  
numero maggiore di unità residenziali: E2, *casa a schiera plurifamiliare anni 2000*;
- periodo di costruzione F 2006-2016:  
tipologia edilizia più frequente: F1, *casa singola bifamiliare*;  
numero maggiore di unità residenziali: E2, *casa singola bifamiliare*.

#### 4.2.3 Stato di conservazione degli edifici

Un altro aspetto importante dello studio ha riguardato lo stato di conservazione generale degli edifici permettendo di inquadrarli in funzione di quest'ultimo.

Dalle analisi svolte, si è riscontrato globalmente che una percentuale pari al 53,56% degli edifici censiti è risulta essere in buono stato, il 39,94% in uno stato di conservazione ottimo, la rimanente percentuale presenta invece un cattivo stato di conservazione. Quest'ultimo aspetto si evidenzia particolarmente negli immobili edificati prima del 1955 e nel decennio successivo, le cui facciate presentano ammaloramenti diffusi e criticità strutturali.

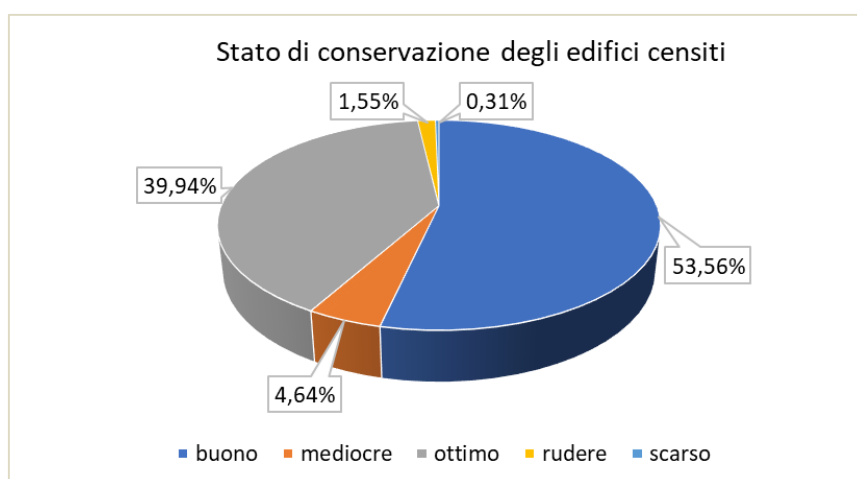
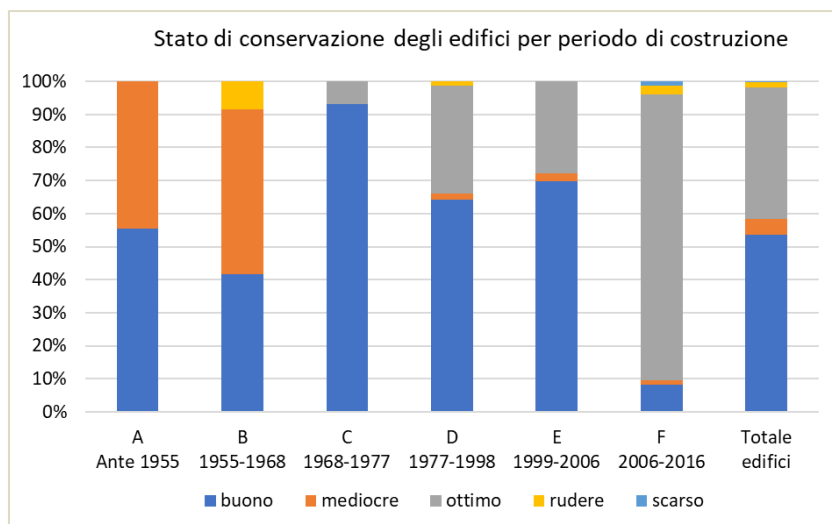
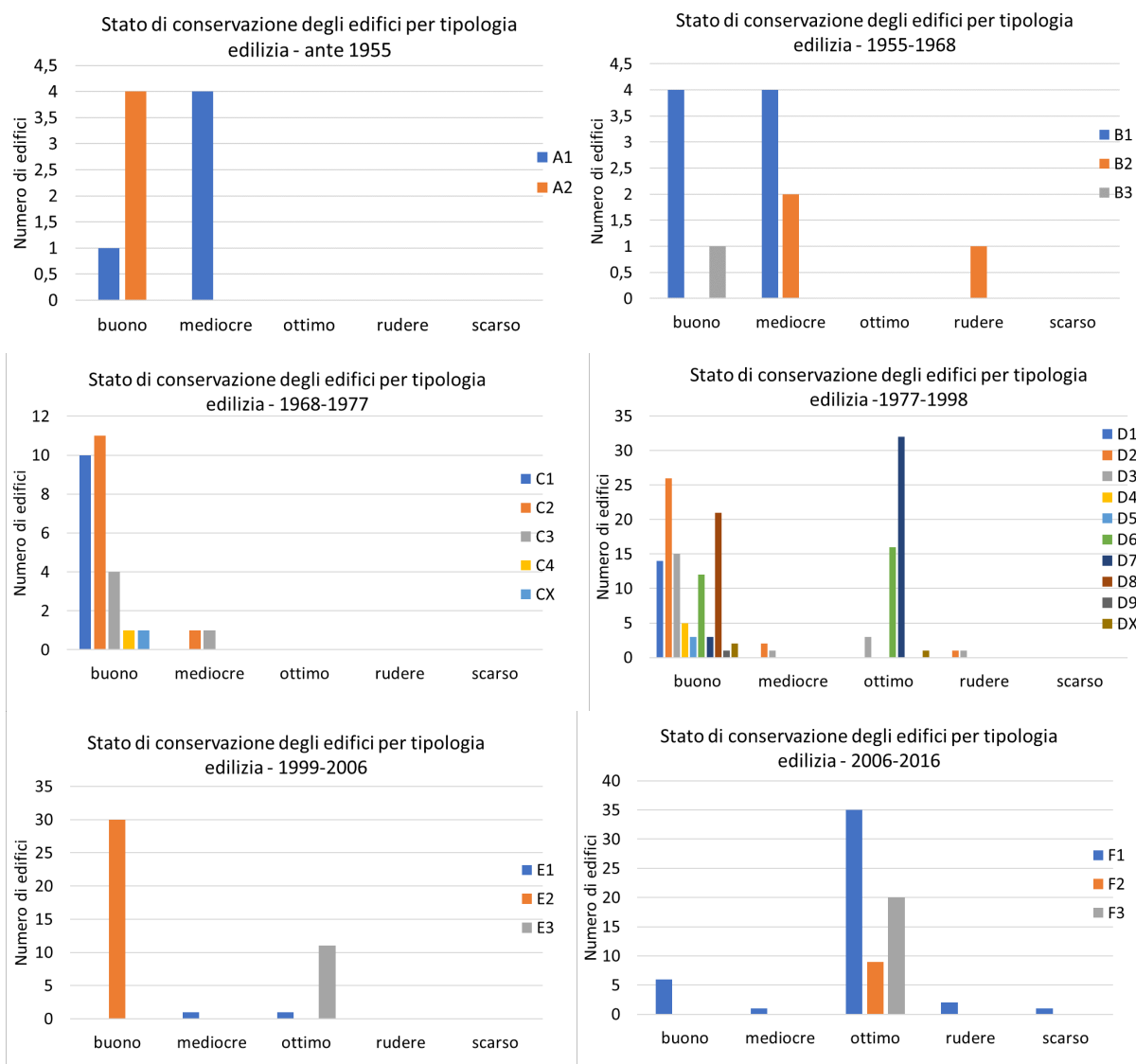


Figura 4.17 – Distribuzione percentuale degli edifici nell'area di studio in base allo stato di conservazione

Nelle illustrazioni che seguono sono stati riassunti i risultati discretizzati per tipologia edilizia – rispetto alla quale si è individuato lo stato di conservazione – e il relativo periodo di costruzione.



**Figura 4.18 - Distribuzione percentuale stato di conservazione degli edifici**



**Figura 4.19 – Stato di conservazione degli edifici per tipologia e anno di costruzione**

#### 4.2.4 Chiusura orizzontale di base

I sopralluoghi hanno permesso di verificare cosa gli edifici presentassero al di sotto della chiusura orizzontale di base. Complessivamente si è potuto apprendere che al di sotto della stessa è presente:

- per il 54,6% degli edifici un *interrato-seminterrato non riscaldato*;
- per il 26,38% degli edifici un *interrato-seminterrato riscaldato*;
- per l'1,23% degli edifici un *livello fuori terra non riscaldato*;
- il 14,42% degli edifici risulta avere una chiusura di base *controterra*,
- per il 3,37% degli edifici non è stato possibile rilevarlo.

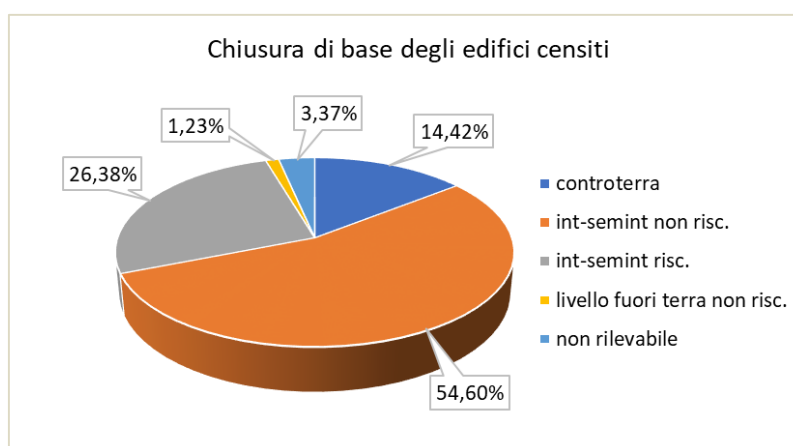


Figura 4.20 – Distribuzione delle tipologie di chiusura di base

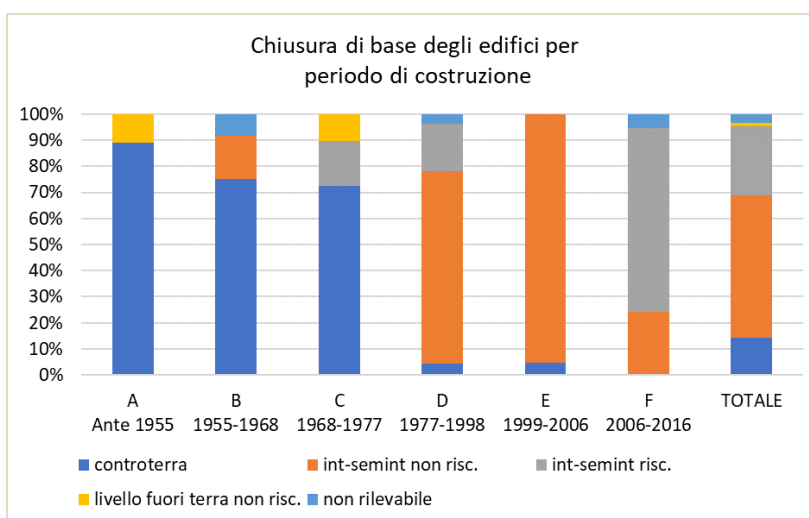
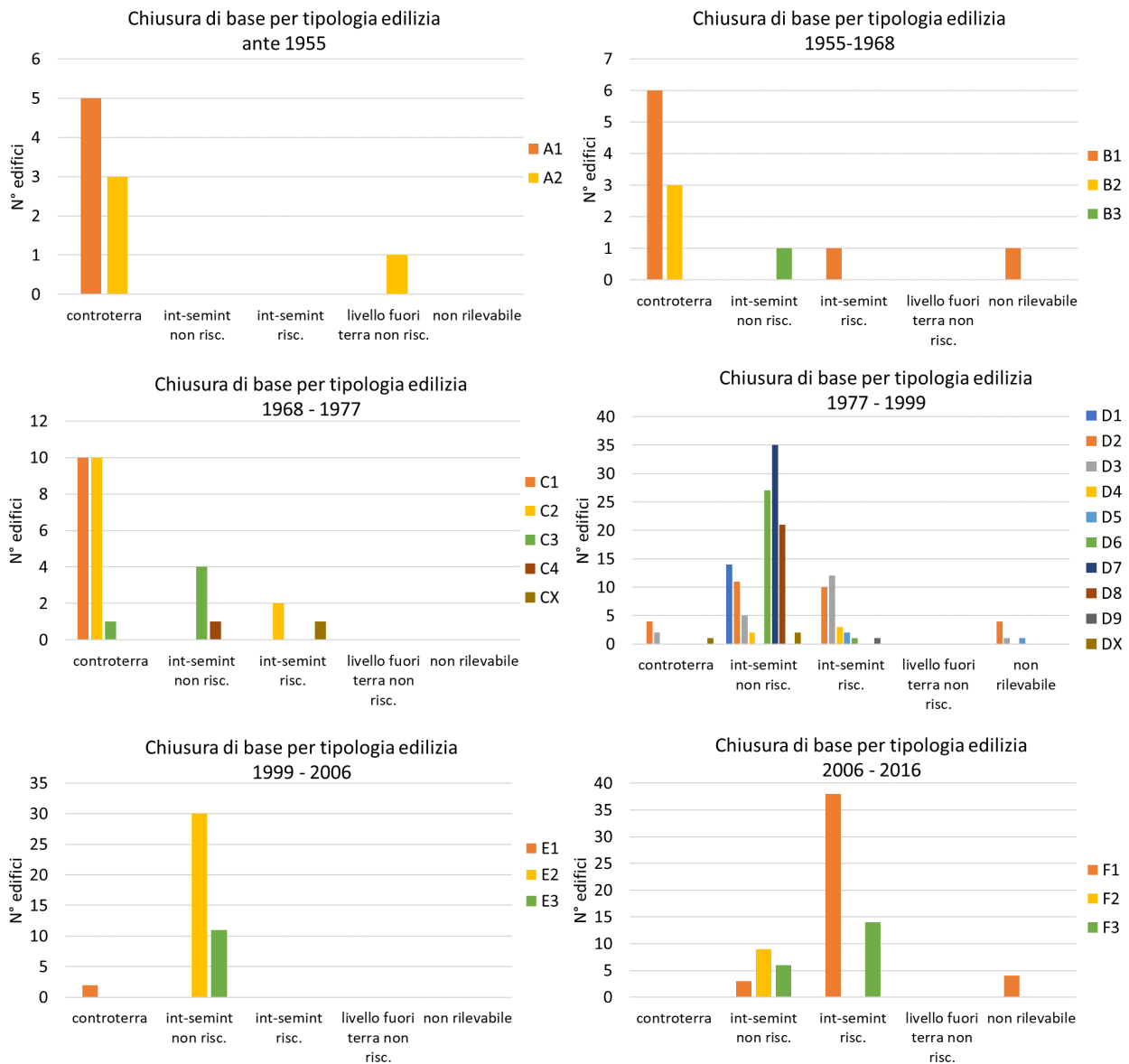


Figura 4.21 – Distribuzione delle tipologie di chiusura di base per anno di costruzione

Nella figura 4.22, riportante le tipologie di chiusura di base in termini di tipologia edilizia e anno di costruzione, si nota come fino alla metà degli anni '70 la chiusura di basa più frequente fosse *controterra*. A partire dai primi anni '80 prende piede la realizzazione di *interrati – seminterrati non riscaldati*, lasciando spazio, dalla seconda metà del primo decennio del 2000, agli *interrati-seminterrati riscaldati*.

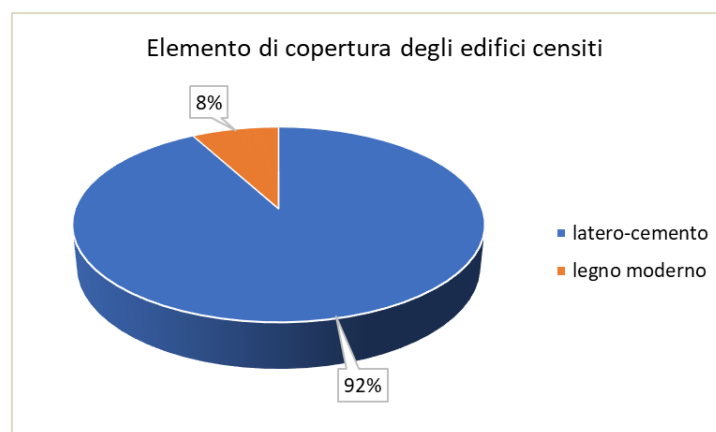
L'approfondimento dell'analisi ha portato ad ottenere i seguenti grafici nei quali si riportano le specifiche analizzate globalmente al punto precedente, discretizzandole per tipologia edilizia e conseguente fascia d'età.



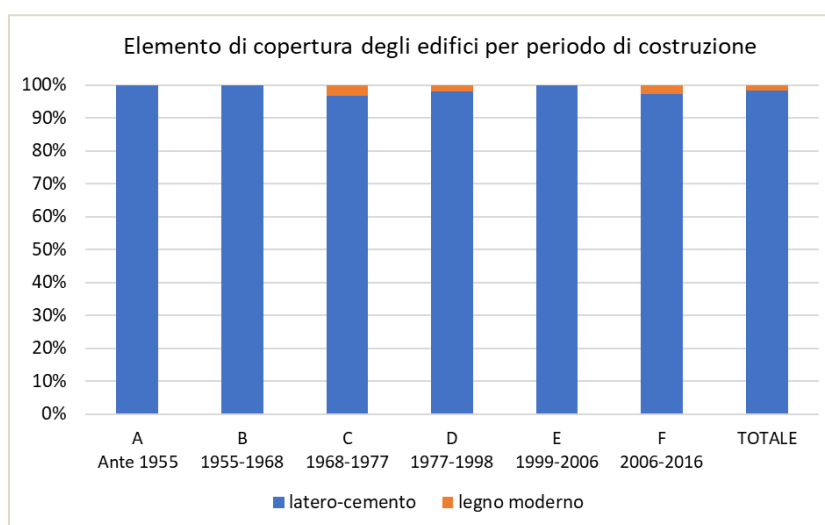
**Figura 4.22 – Tipologie di chiusura di base per tipologia edilizia e anno di costruzione**

#### 4.2.5 Elemento di copertura

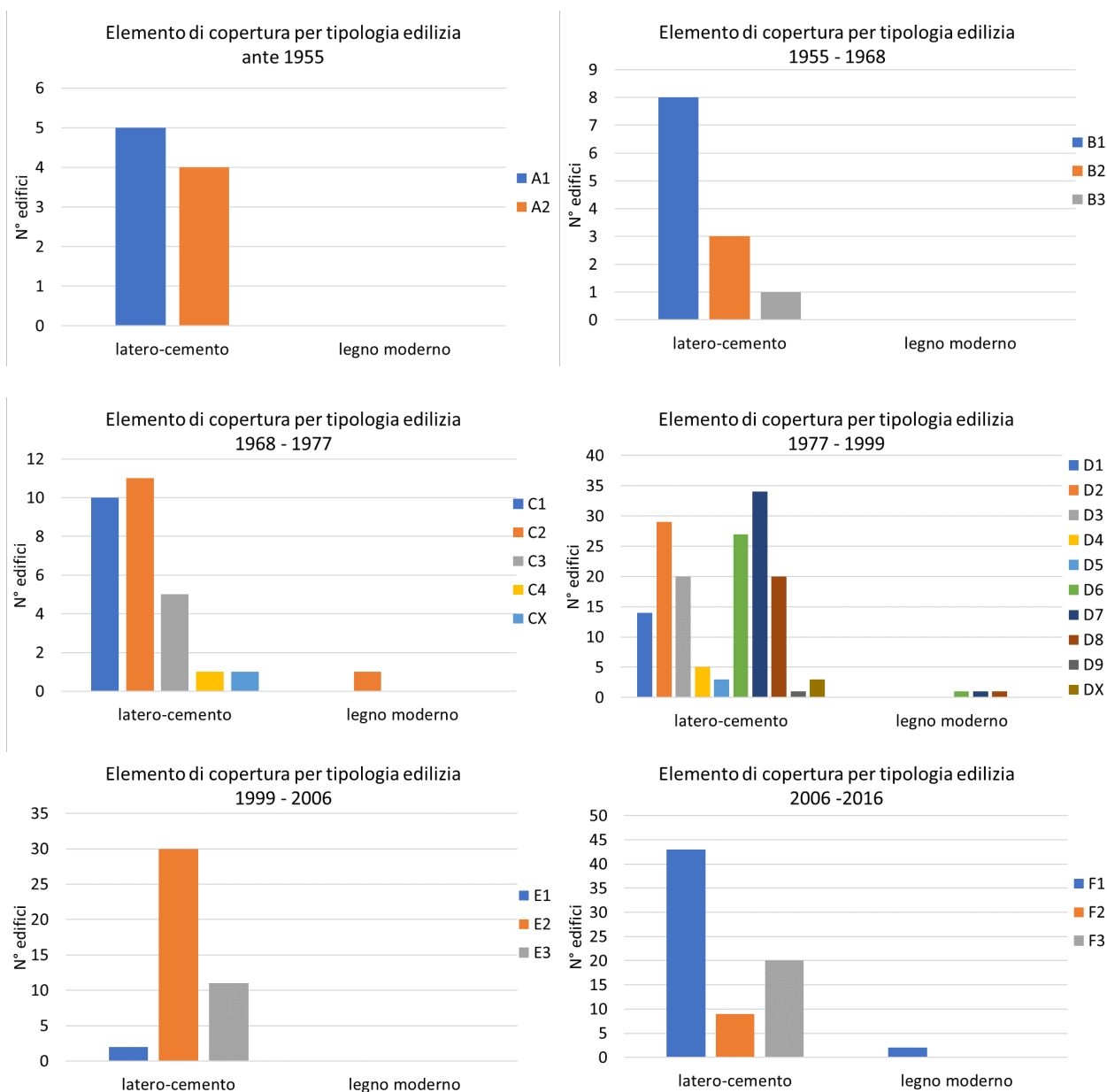
Gli edifici censiti hanno evidenziato come, la tipologia costruttiva degli elementi di copertura sia largamente quella latero-cementizia presentando una percentuale del 92% a fronte della restante parte realizzata invece in legno moderno. Si riporta nel seguito un focus dell'analisi per tipologia edilizia e corrispondente fascia d'età.



**Figura 4.23 - Distribuzione delle tipologie di elementi di copertura**



**Figura 4.24 - Distribuzione delle tipologie di elementi di copertura per anno di costruzione**

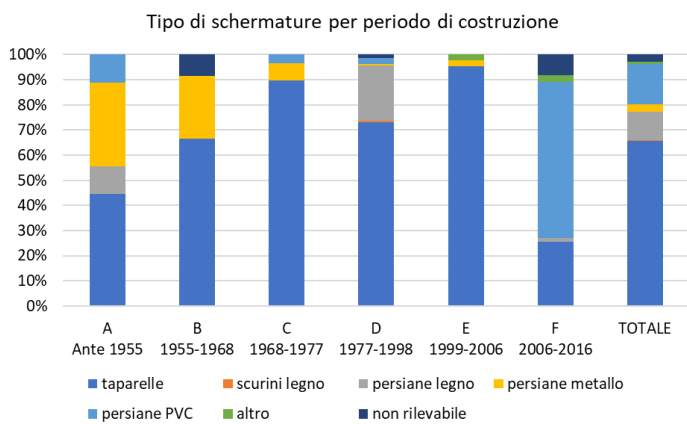
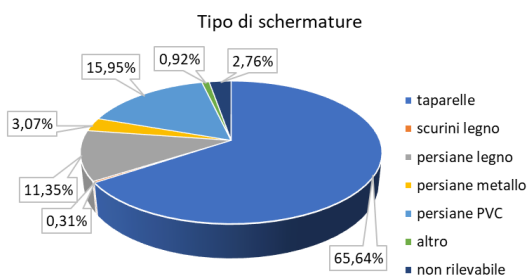
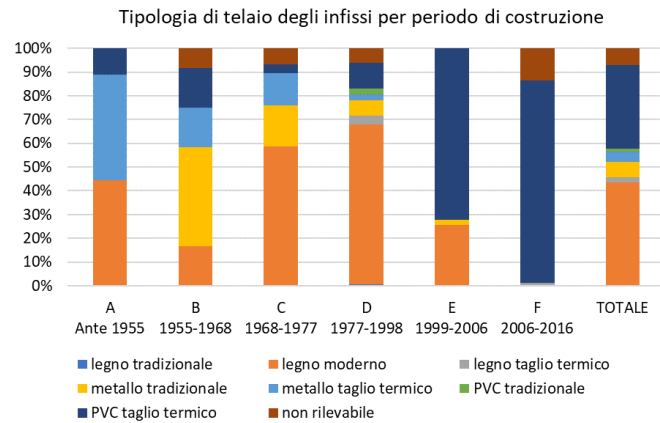
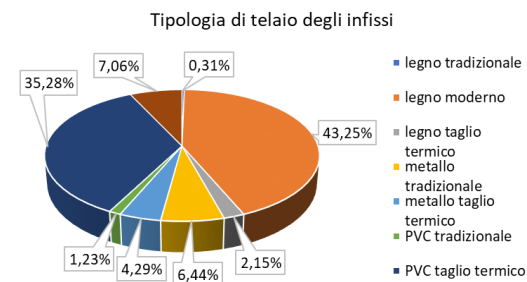


**Figura 4.25 – Tipologie di elementi di copertura per tipologia edilizia e anno di costruzione**

#### 4.2.6 Tipologia di telaio degli infissi e tipo di schermature

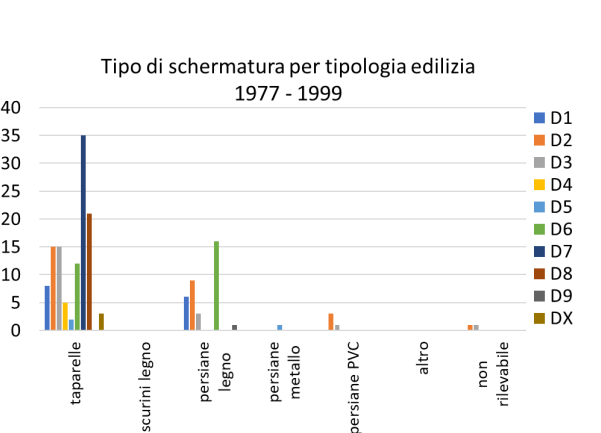
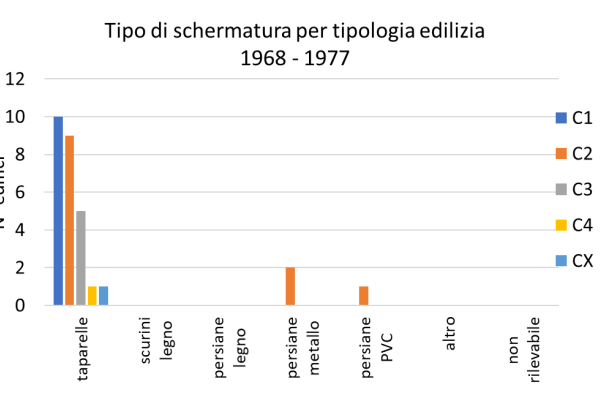
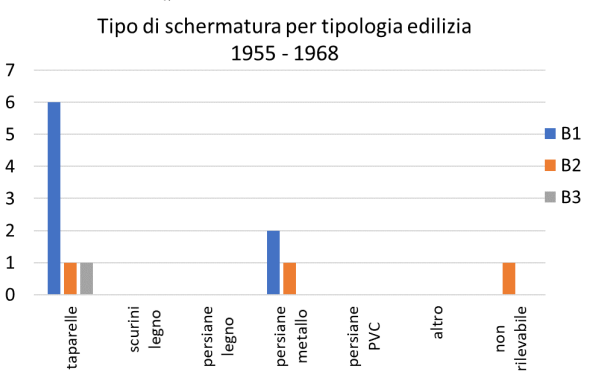
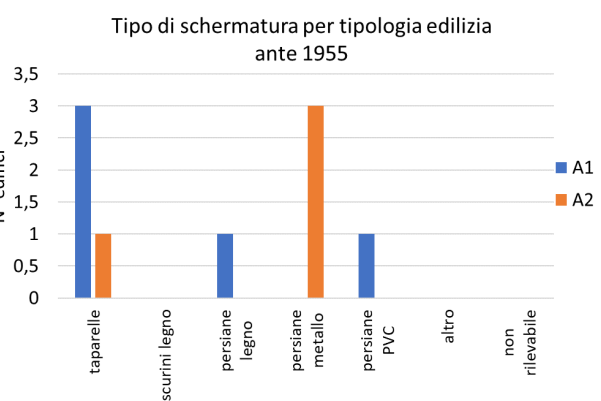
L'analisi sulla tipologia di telaio degli infissi ha permesso di individuare il *legno moderno* quale materiale più diffuso a partire dalle edificazioni precedenti al 1955 fino ai primi anni 2000, nei quali ha iniziato a diffondersi in modo marcato l'utilizzo del PVC a taglio termico.

Per quanto riguarda le schermature, le *tapparelle* rappresentano col 65,64% la tipologia più diffusa, seguita al 15,95% dalle *persiane in PVC concentrate prevalentemente nel decennio 2006-2016*.



**Figura 4.26 – Tipologie di infissi e schermature: distribuzione percentuale e per anno di costruzione**

Si riporta di seguito nel dettaglio la tipologia di infissi e di schermature inquadrati per tipologia edilizia e corrispondente periodo di costruzione.



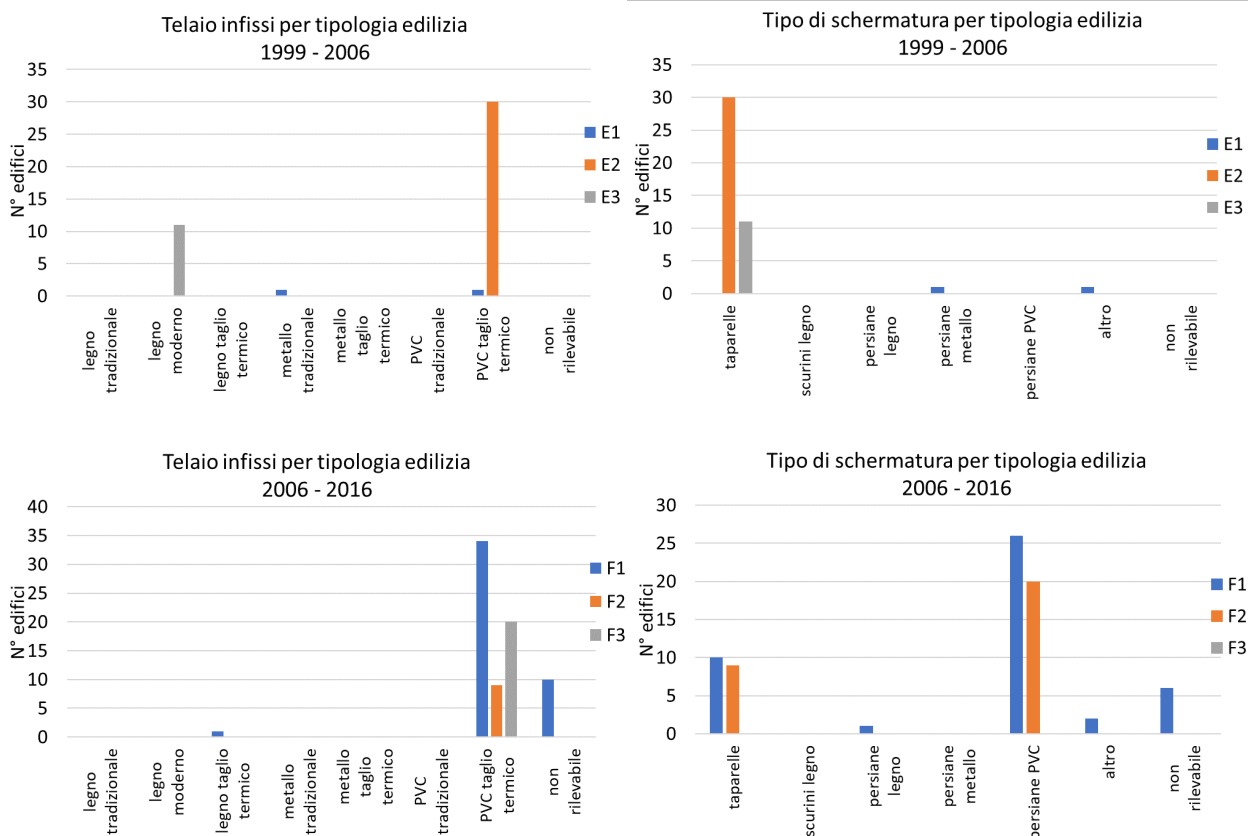


Figura 4.27 - Tipologie di infissi e schermature per tipologia edilizia e anno di costruzione

#### 4.2.7 Stato di conservazione generale degli infissi

Per quanto riguarda lo stato di conservazione e manutenzione generale degli infissi, di questi l'83,13% appare in *buono stato*, *ottimale* l'11,04%, *mediocre-scarso* il 5% e *non rilevabile* la restante percentuale.

Come per gli altri parametri su cui si è indagato, anche in questo caso viene fornito, nelle rappresentazioni che seguono, un quadro più approfondito relativo alle singole tipologie edilizie.

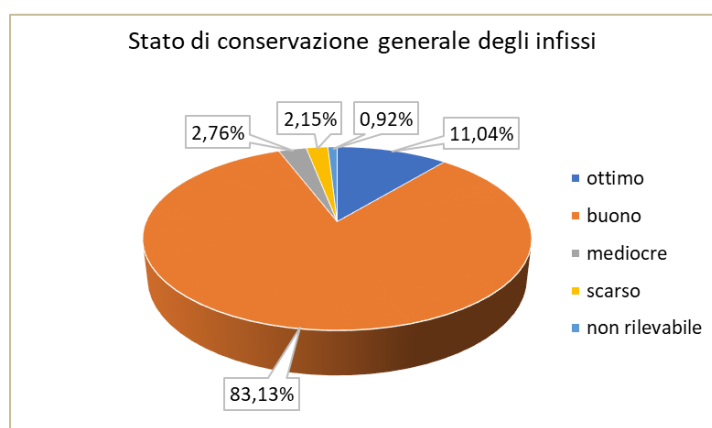
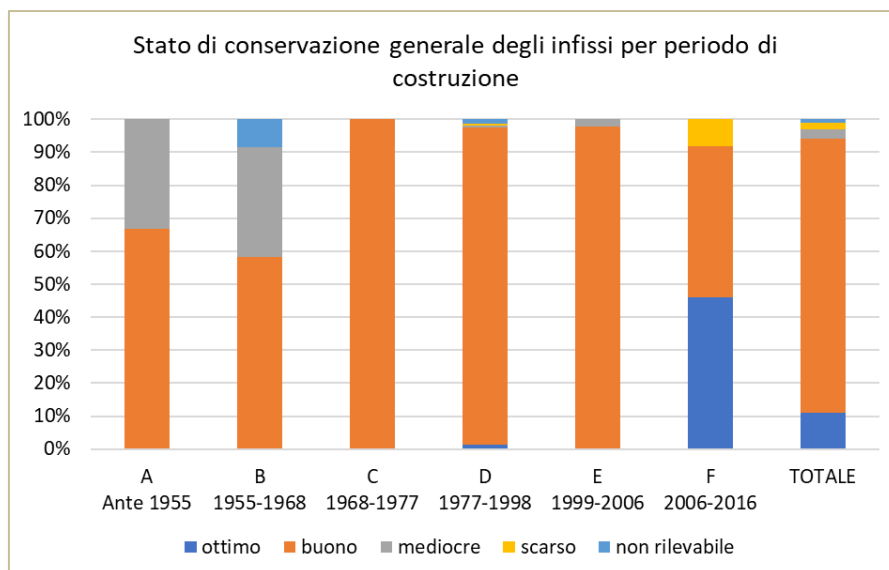
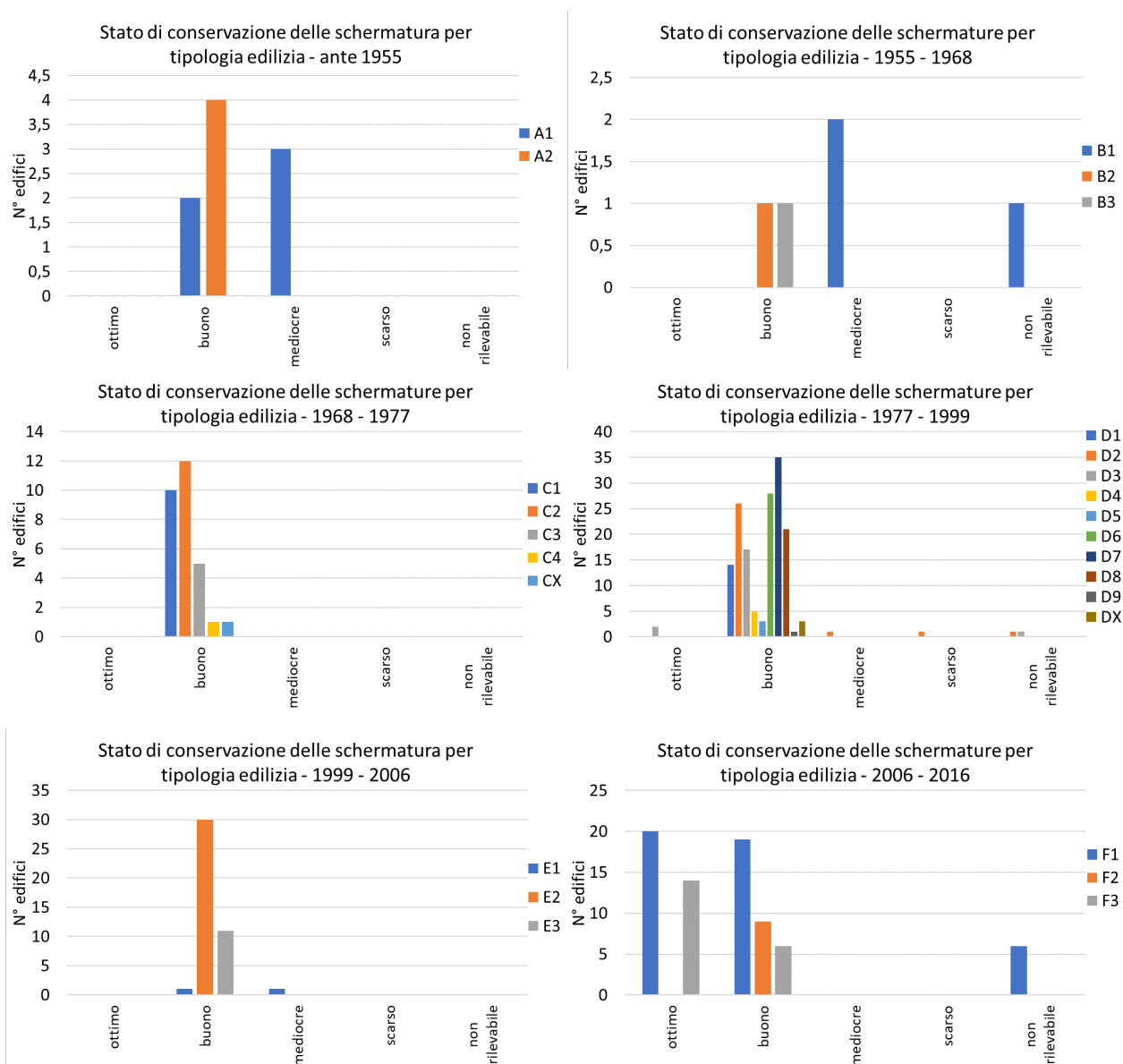


Figura 4.28 – Distribuzione dello stato di conservazione degli infissi



**Figura 4.29 – Stato di conservazione degli infissi per anno di costruzione**

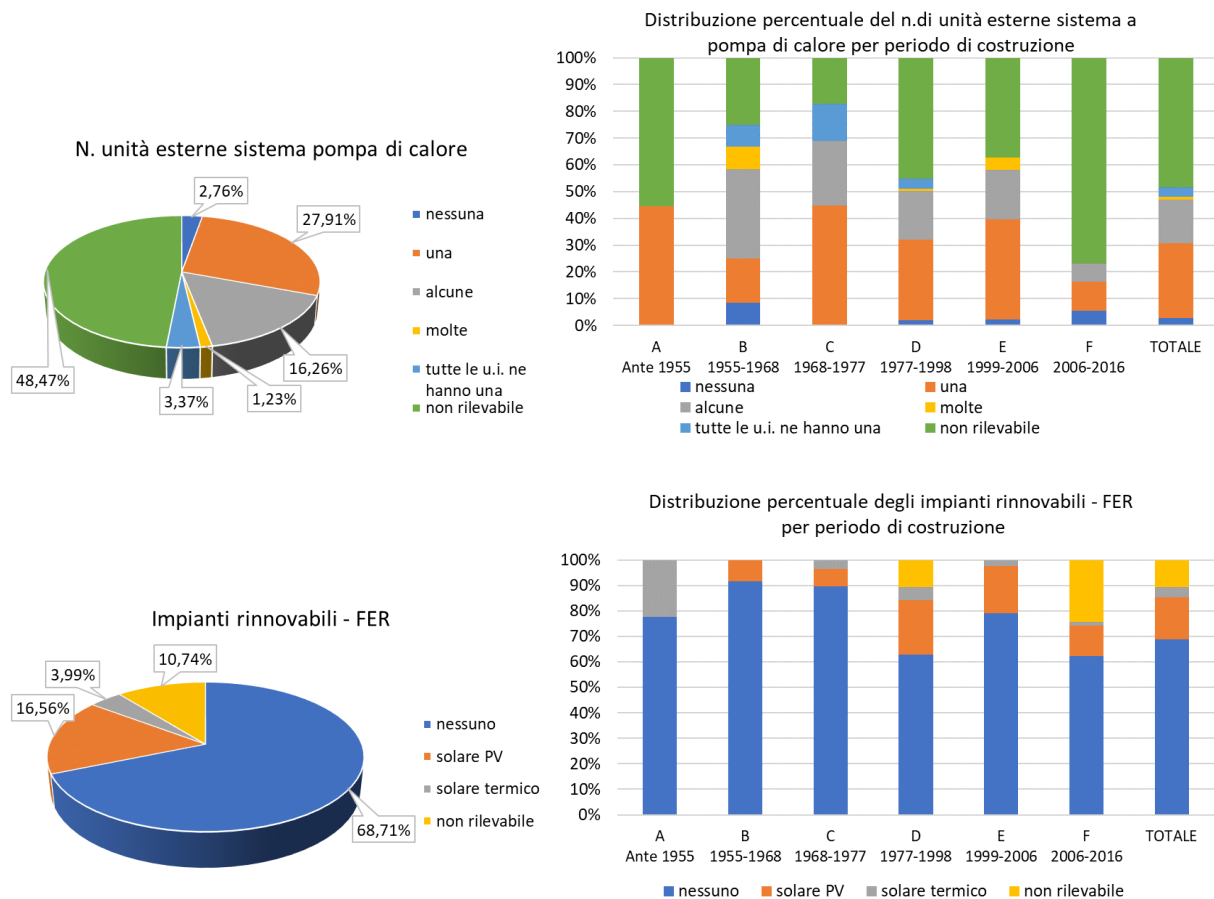


**Figura 4.30 – Stato di conservazione degli infissi per tipologia edilizia e anno di costruzione**

#### 4.2.8 Numero di unità esterne per sistemi a pompa di calore e presenza di impianti a fonte rinnovabile

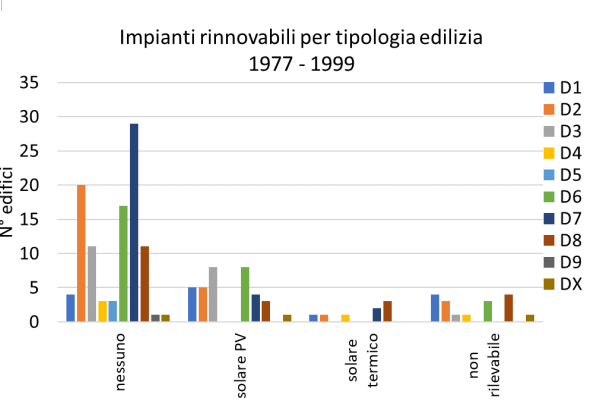
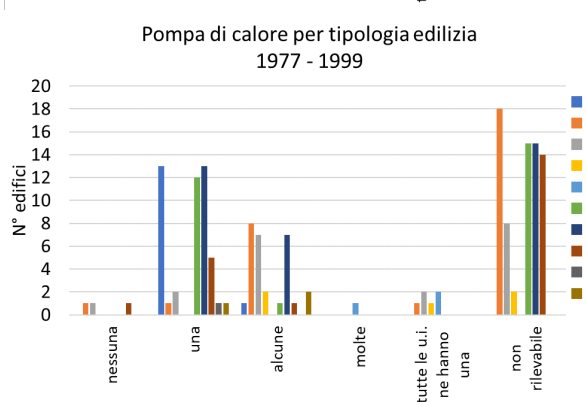
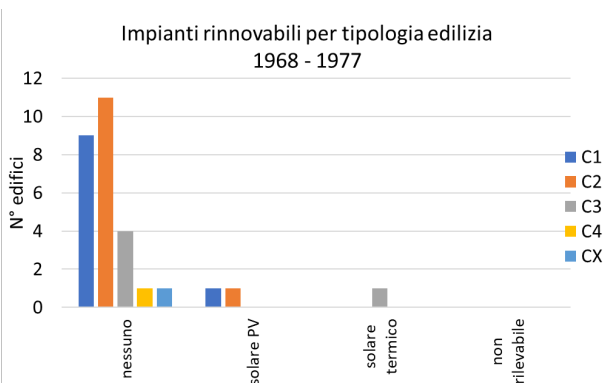
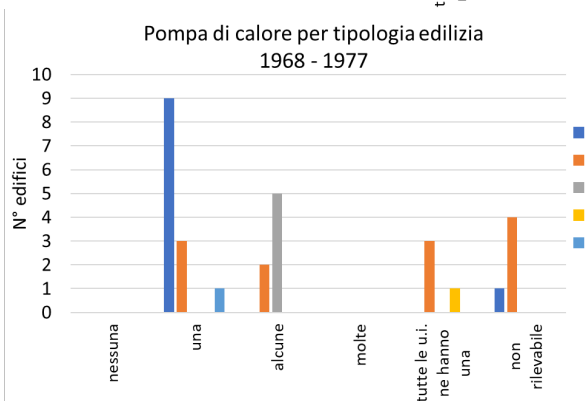
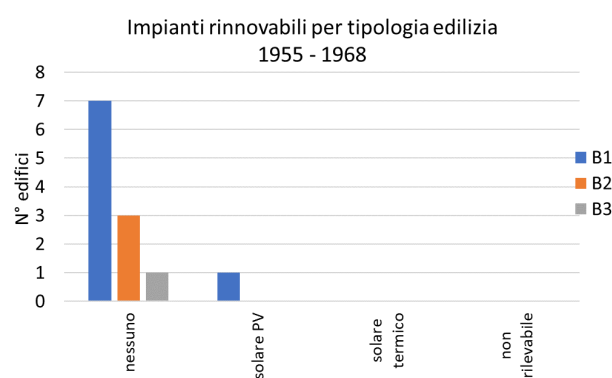
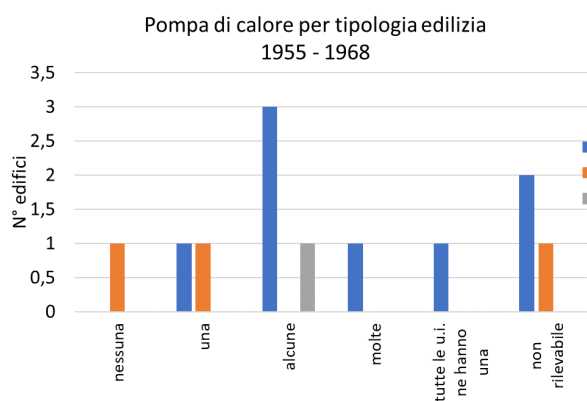
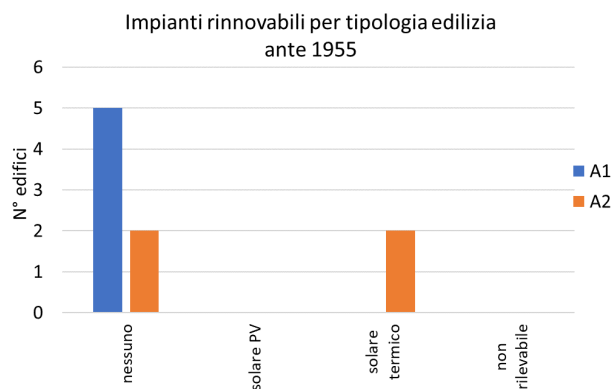
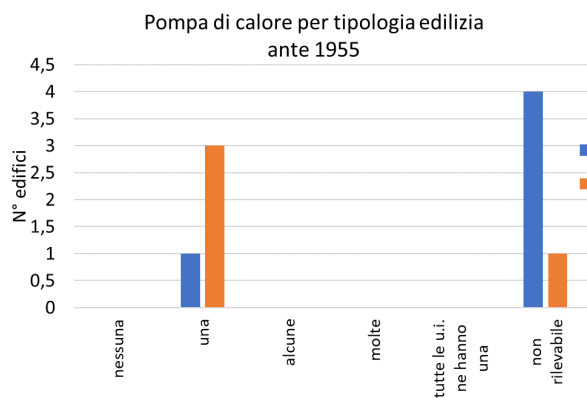
L'attività di sopralluogo ha permesso di individuare il numero di unità esterne per sistemi a pompa di calore e la presenza di impianti rinnovabili per ciascuna unità immobiliare. Come facilmente osservabile dalle schematizzazioni seguenti, circa il 50% delle abitazioni presenta almeno una unità esterna, una percentuale irrisoria di poco inferiore al 3% non ne è dotata, e per il rimanente 48,47% non è stato possibile rilevarlo. Quest'ultimo aspetto evidenzia come le difficoltà di sopralluogo, dovute anche alla specifica esposizione delle abitazioni, non abbiano permesso di ottenere un quadro completo del dato analizzato.

L'aspetto concernente la presenza degli impianti rinnovabili è stato supportato dall'utilizzo dell'applicativo web al sito [www.atla.gse.it](http://www.atla.gse.it), attraverso il quale è stato possibile individuare la presenza di impianti rinnovabili nelle abitazioni oggetto di studio. Dall'analisi è emerso che quasi il 70% degli edifici censiti non è dotato di alcun impianto rinnovabile, solo il 16,56% presenta un impianto *solare PV*, nel 3,99% si ha la presenza di un impianto solare termico. Per il 10,74% degli edifici il dato non è stato possibile rilevarlo.



**Figura 4.31 – Impianti FER: distribuzione percentuale e per anno di costruzione**

Nei grafici seguenti si riporta la specifica dei parametri per tipologia edilizia e corrispondente periodo di costruzione.



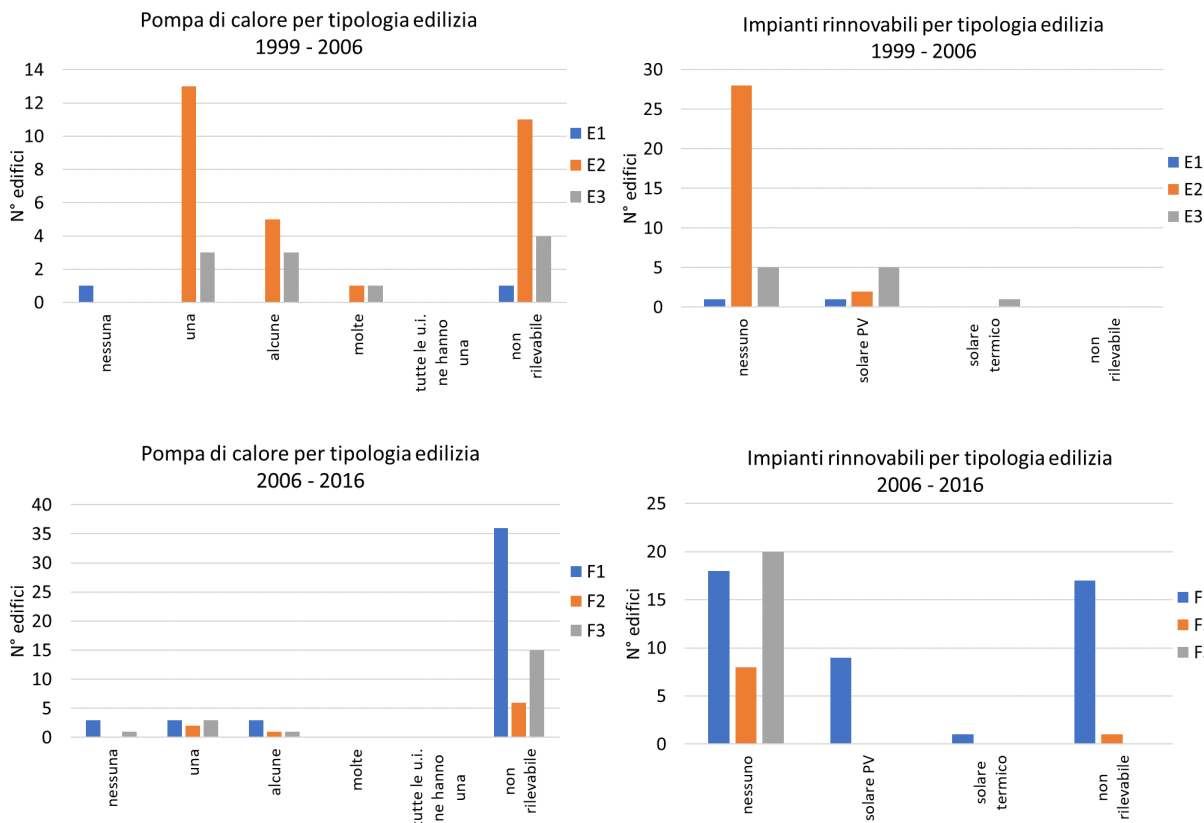


Figura 4. 32 – Distribuzione degli impianti HP e FER per tipologia edilizia e anno di costruzione

#### 4.2.9 Sintesi della fase di rilievo

Gli strumenti utilizzati hanno permesso di ottenere informazioni su tutti gli edifici dell'area di studio, tuttavia, come già evidenziato, non tutte le variabili rilevate possono considerarsi complete e attendibili per tutti gli edifici osservati, a cause di alcune difficoltà operative difficilmente superabili (scarsa visibilità nei documenti digitali disponibili, inaccessibilità dei luoghi nel sopralluogo, etc).

Comparando i dati raccolti sul posto e ricavati da una attenta fotointerpretazione con le statistiche sugli edifici della sezione censuaria ISTAT (figura 4.33) è evidente che essi non siano completamente comparabili. Questa discrepanza è in parte causata all'aggiornamento del dato ISTAT (2011) e in parte è da imputare ad una non identica definizione di edificio: già nel rilievo sono state fatte delle elaborazioni del dato geografico funzionali al calcolo energetico, dividendo diversi corpi di fabbrica.

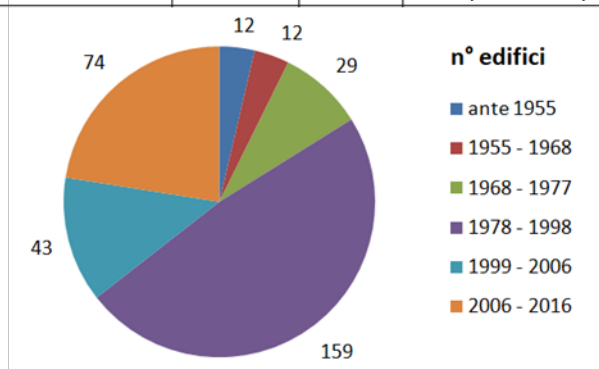
Tuttavia le informazioni sono sufficienti per individuare delle caratteristiche mediate in rapporto alle tipologie edilizie e ai periodi di costruzione.

In particolare sono stati calcolati i rapporti finestrati medi per ogni tipo di rilievo, che poi saranno ulteriormente sintetizzati nei tipi generali e specifici. Per definire il valore medio per tipo di rilievo si sono calcolati i rapporti finestrati (superfici finestrata/superficie facciata) su ogni edificio per i quali fossero visibili tutti i lati contando in maniera specifica per ogni tipologia di affaccio (verso strada, verso il lotto, verso altri edifici, etc) il numero ed il tipo di aperture presenti.

La superficie finestrata è stata valutata contando il numero di ante degli infissi visibili divisi e assegnando delle dimensioni standard per tipo di infisso (porta finestra, finestra grande, finestre piccola, vetrate, etc), mentre la superficie della facciata è stata calcolata dal tool GIS per ogni rispettivo affaccio, contando l'altezza dalla base alla gronda.

Questi valori di rapporti finestrati hanno guidato anche nella individuazione dei tipi edilizi generali, permettendo di dividere in due tipologie l'unità "villino" al centro del lotto proprio in base al valore medio di rapporto finestrato osservato (villino tipo A, villino tipo B). Per i valori del rapporto finestrato si rimanda all'allegato digitale recante il DB dei dati utilizzati (Allegato 1 - DB geografico).

| anno        | tipo | n° edifici | descrizione                                                                                                                 |
|-------------|------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ante 1955   | A1   | 5          | Edifici della fondazione (1935), dell'EX-Poliambulatorio, parzialmente modificati                                           |
| ante 1955   | A2   | 4          | Edifici della fondazione (1935), dell'EX-Poliambulatorio, fortemente modificati                                             |
| ante 1955   | A3   | 1          | Edificio fondazione (1935), Ex Ospedale                                                                                     |
| ante 1955   | A4   | 2          | Casa a corte antistante tradizionale, trasformata in edificio pubblico per congressi                                        |
| 1955 - 1968 | B1   | 8          | Edificio isolato anni 50, 1-2 livelli, struttura lapidea, CA Blocco cementizio,                                             |
| 1955 - 1968 | B2   | 3          | Edificio tradizionale, anni 50 - 60                                                                                         |
| 1955 - 1968 | B3   | 1          | Edificio isolato anni 60, 3 livelli, CA                                                                                     |
| 1968 - 1977 | C1   | 10         | Villetta a tre corpi di fabbrica                                                                                            |
| 1968 - 1977 | C2   | 12         | Edificio isolato, 1-2 livelli anni fine anni 60, pietra e laterizio                                                         |
| 1968 - 1977 | C3   | 5          | Edificio isolato, 2-3 livelli anni 60-70, CA e laterizio                                                                    |
| 1968 - 1977 | C4   | 1          | Palazzo anni 60-70, CA e laterizio                                                                                          |
| 1968 - 1977 | CX   | 1          | Edificio particolare, CA e laterizio                                                                                        |
| 1978 - 1998 | D1   | 14         | Edificio isolato (a volte accoppiato), tetto a falde, struttura CA + Laterizio                                              |
| 1978 - 1998 | D2   | 29         | Edificio Isolato anni 80, forma regolare, struttura CA e Laterizio                                                          |
| 1978 - 1998 | D3   | 20         | Edificio isolato tipicamente anni 90, 2-3 livelli, generalmente plurifamiliare, forme complesse, struttura CA a cassa vuota |
| 1978 - 1998 | D4   | 5          | Edificio anni 80-90, simil razionalista tetto piano                                                                         |
| 1978 - 1998 | D5   | 3          | edificio isolato del complesso D5 più una schiera di simile fattura, anni 80-90                                             |
| 1978 - 1998 | D6   | 28         | Schiera anni 90, tipo 1                                                                                                     |
| 1978 - 1998 | D7   | 35         | Schiera fine anni 90, tipo 2                                                                                                |
| 1978 - 1998 | D8   | 21         | Schiera fine anni 90, tipo 3                                                                                                |
| 1978 - 1998 | D9   | 1          | Edificio rurale                                                                                                             |
| 1978 - 1998 | DX   | 3          | edifici particolari                                                                                                         |
| 1999 - 2006 | E1   | 2          | Edificio isolato, primi anni 2000                                                                                           |
| 1999 - 2006 | E2   | 30         | Schiera primi anni 2000, tipo 1                                                                                             |
| 1999 - 2006 | E3   | 11         | Schiera dei primi anni 2000, tipo 2 simile a D6                                                                             |
| 2006 - 2016 | F1   | 45         | edificio isolato post 2005 (anni 2008-16), 2-4 livelli, multi familiare                                                     |
| 2006 - 2016 | F2   | 9          | Schiera post 2005, tipo 1 simile a D6                                                                                       |
| 2006 - 2016 | F3   | 6          | Schiera post 2005, tipologia 2                                                                                              |
| 2006 - 2016 | F4   | 14         | Schiera post 2005, tipo 3                                                                                                   |



| Rilievo     |            | ISTAT      |             |
|-------------|------------|------------|-------------|
| periodo     | n° edifici | n° edifici | Periodo     |
| ante 1955   | 12         | 0          |             |
| 1955 - 1968 | 12         | 0          |             |
| 1968 - 1977 | 29         | 0          |             |
| 1978 - 1998 | 159        | 41         | 1981 - 1990 |
|             |            | 64         | 1991 - 2000 |
| 1999 - 2006 | 43         | 22         | 2001 - 2005 |
| 2006 - 2016 | 74         | 30         | 2005 - 2011 |
| <b>tot</b>  | <b>329</b> | <b>157</b> |             |

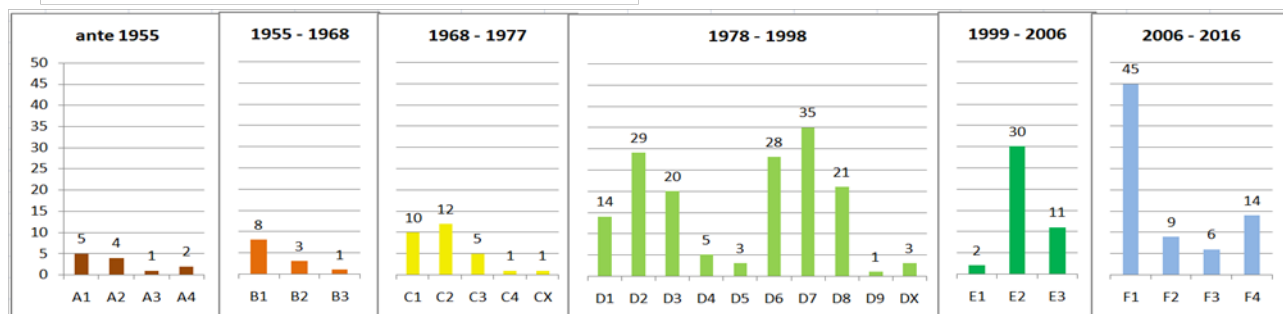


Figura 4.33 - Statistiche riassuntive nell'area di studio

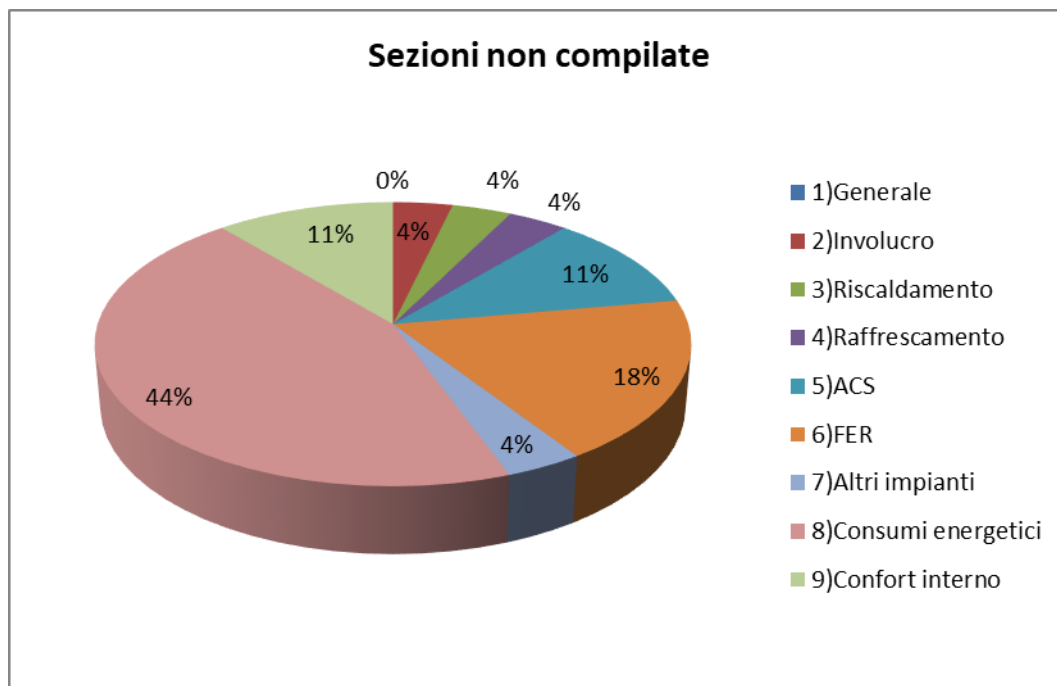
### 4.3 Analisi dati questionario energetico

Obiettivo fondamentale del progetto AUREE è la mappatura energetica della città di Carbonia, consultabile tramite il portale web dedicato e accessibile a tutti. Tale mappatura permetterà all'utente di avere informazioni sugli edifici e sui consumi energetici a essi associati, sulle possibilità di miglioramento energetico, sulla classe energetica e oltre a ciò, permetterà di avere una serie di consigli di buona prassi adottabili per aumentare il risparmio energetico. Per costruirla è necessario costruire un modello matematico capace di prevedere il comportamento energetico dell'abitazione una volta inseriti alcuni dati di base. Tali dati sono stati raccolti tramite la compilazione di un questionario energetico rivolto agli abitanti di Carbonia (e altri comuni).

Il questionario è stato proposto in particolare ai cittadini (Allegato 4 - Questionario Energetico) e agli studenti di alcune scuole di Carbonia, e prevede la richiesta di diverse informazioni riguardanti:

1. Informazioni generali;
2. L'involucro;
3. Il sistema di riscaldamento;
4. Il sistema di raffrescamento
5. Il sistema di produzione di acqua calda sanitaria (ACS);
6. Eventuali impianti di produzione di energia da fonti rinnovabili;
7. Altri impianti;
8. Consumi energetici;
9. Comfort interno.

In totale, al momento sono stati raccolti 114 questionari, di cui il 71% in completi in tutte le sezioni. Il restante 29% dei questionari vede alcune sezioni non compilate. La parte dei consumi energetici risulta essere quella meno compilata dai partecipanti, forse per la difficoltà a reperire le vecchie bollette. Infatti, il 44% dei cittadini, che non hanno interamente compilato il questionario, ha lasciato in bianco questa sezione. A seguire il 18% non ha risposto alla sezione riguardante le FER, l'11% non ha risposto alla sezione riguardante il confort e per il 4% tutte le restanti sezioni, ad eccezione della prima parte sulle informazioni generali alla quale ha risposto la totalità dei partecipanti. La figura 4.33 mostra tali ripartizioni percentuali.



**Figura 4.3 - Ripartizione percentuale delle sezioni del questionario non compilate.**

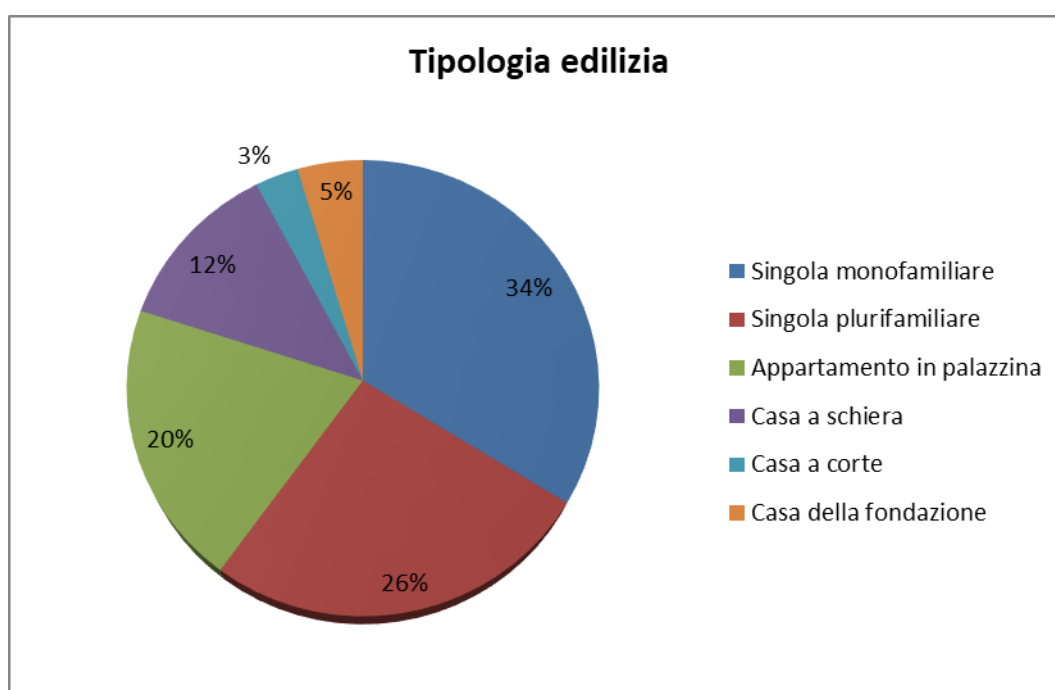
#### 4.3.1 Informazioni generali

Dall'analisi statistica è emerso che l'età di chi ha compilato il questionario è:

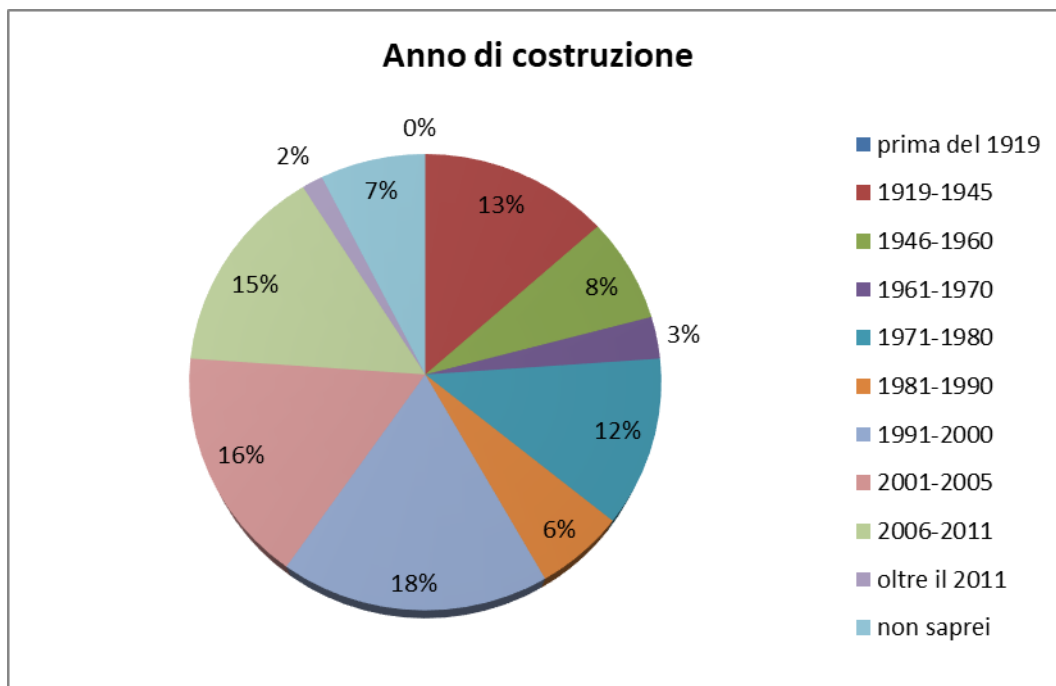
- tra 13-15 anni il 3%;
- tra 16-18 anni il 59,7%;
- tra 19-30 anni l'1,5%;
- tra 31-50 anni il 28,3%;
- tra 51-65 anni il 4,5%;
- oltre 65 anni il 3%.

Nella prima sezione del questionario è stata chiesta ai partecipanti la tipologia edilizia della propria abitazione e l'anno di costruzione, i risultati sono mostrati rispettivamente nelle figure 4.34-35. Dall'analisi statistica è emerso che per la maggior parte si tratta di abitazioni singole monofamiliare (34%), singole plurifamiliari (26%) e palazzine (20%). Il 12% dei partecipanti abita in case a schiera, il 5% in case della fondazione e solo il 3% in case a corte.

Per quanto riguarda l'anno di costruzione, è emerso che la maggior parte delle abitazioni è stata costruita negli anni 1991-2000 per il 18%, 2001-2005 per il 16%, 2006-2011 per il 14%, 1919-1945 per il 13% e 1971-1980 per il 12%.



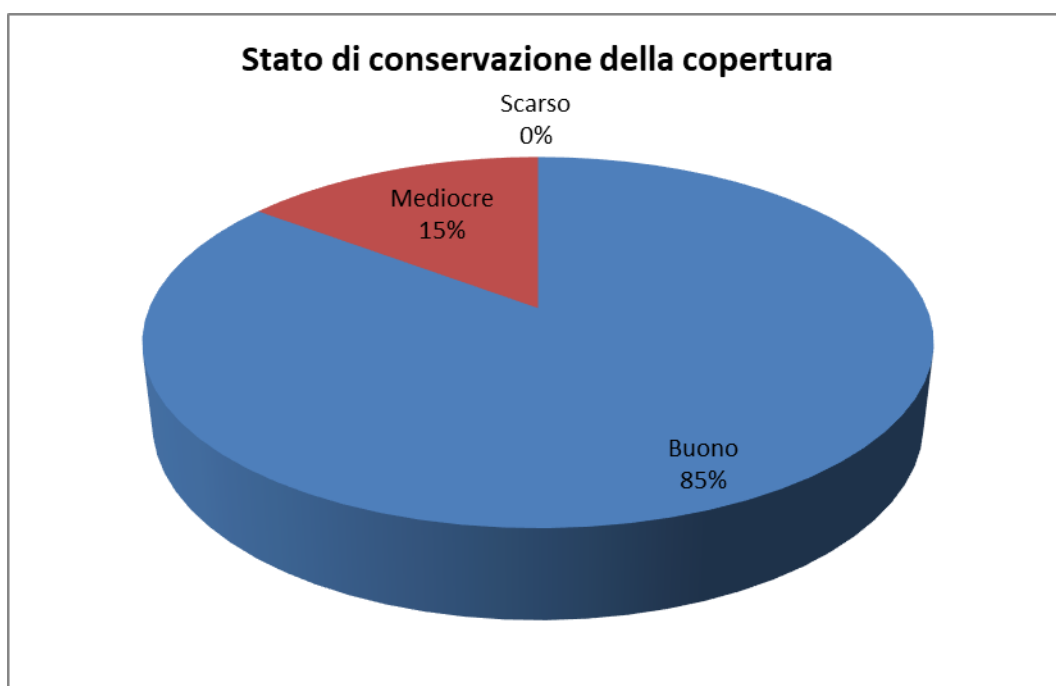
**Figura 4.34 - Ripartizione percentuali delle tipologie edilizie.**



**Figura 4.35- Ripartizione percentuale dell'anno di costruzione delle abitazioni.**

#### 4.3.2 Dati sull'involucro

Nell'ambito della seconda sezione relativa all'involucro, sono state raccolte le informazioni relative al solaio, al pianterreno, ai materiali di costruzioni e agli infissi. Oltre ai dati tecnici i partecipanti al questionario hanno dato un giudizio sullo stato di conservazione della copertura, del pianterreno, della muratura interna, delle pareti esterne e degli infissi. A tal proposito è emerso che in tutti i casi lo stato di conservazione è per la maggior parte buono. Le figure 4.36-37-38-39-40 mostrano tali risultati.



**Figura 4-1.36 - Ripartizione percentuale dello stato di conservazione della copertura.**

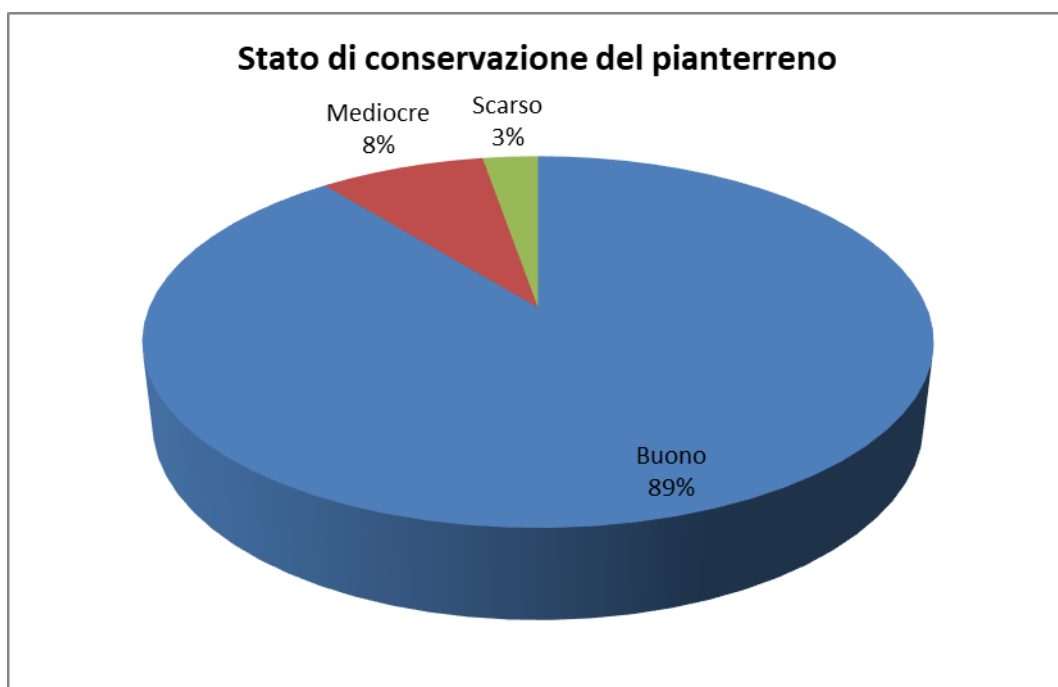


Figura 4.37 - Ripartizione percentuale dello stato di conservazione del pianterreno.

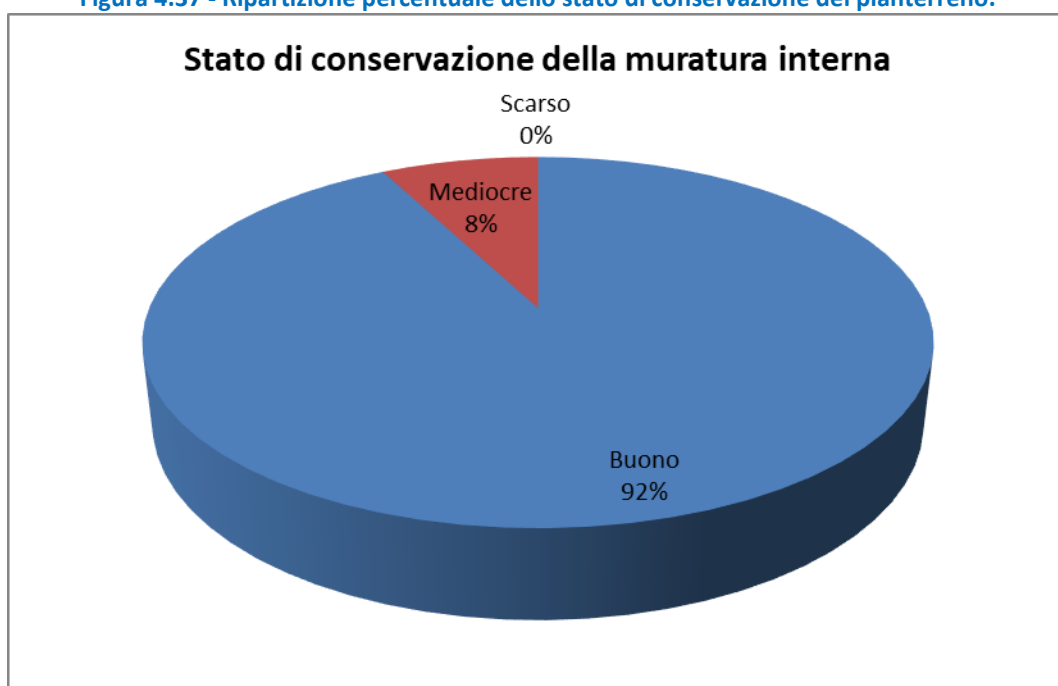
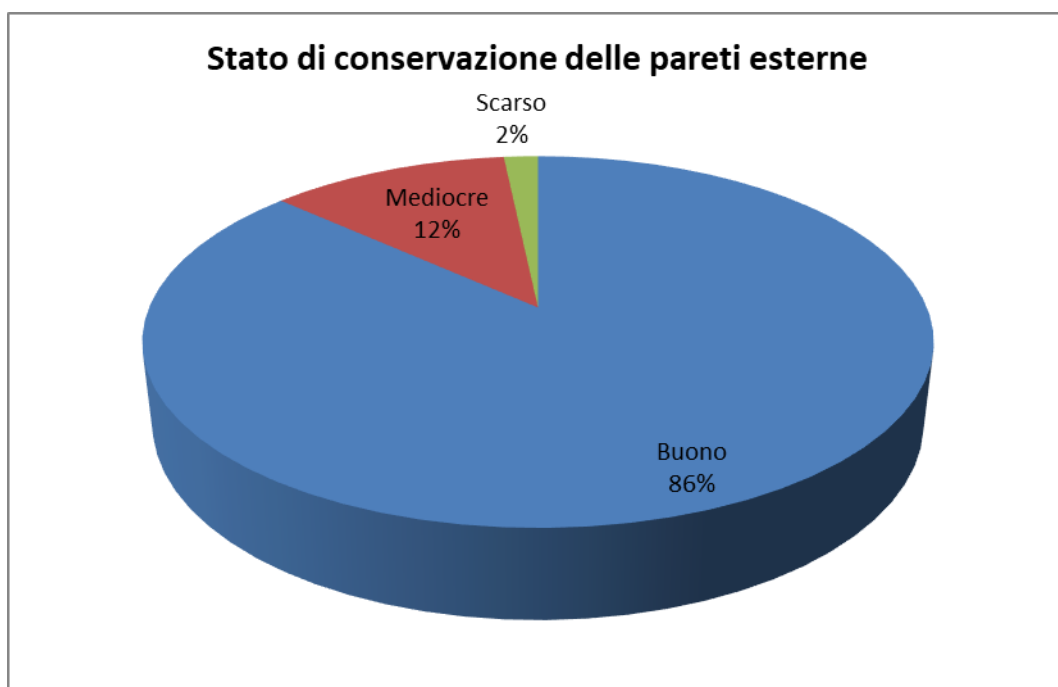
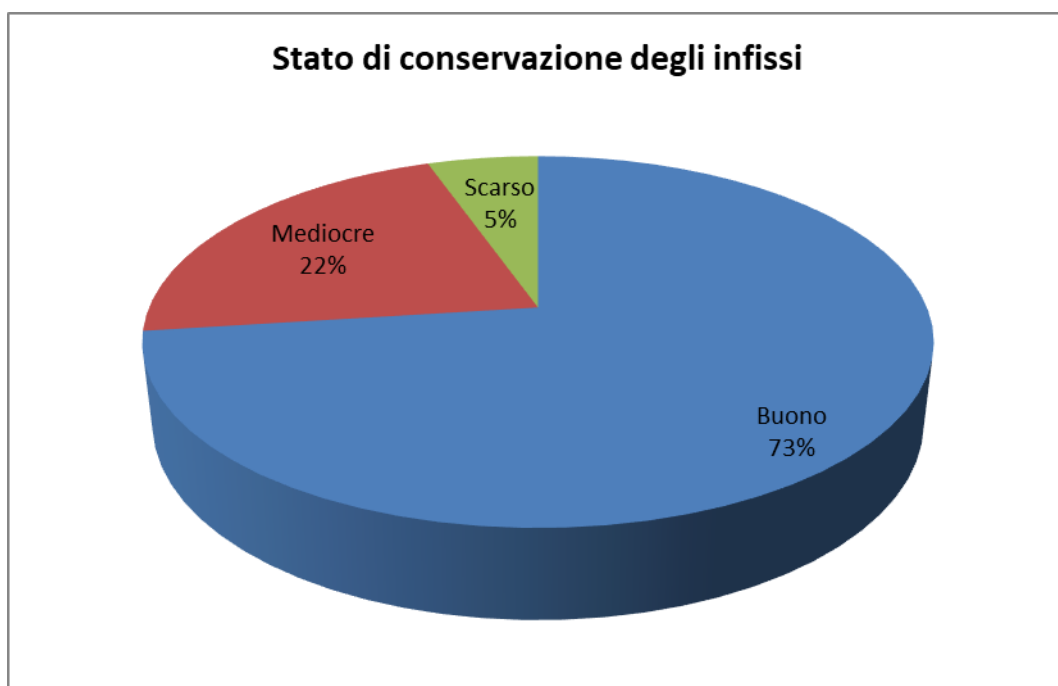


Figura 4.38 - Ripartizione percentuale dello stato di conservazione della muratura interna



**Figura 4.39 - Ripartizione percentuale dello stato di conservazione delle pareti esterne.**



**Figura 4.40 - Ripartizione percentuale dello stato di conservazione degli infissi.**

#### 4.3.3 Dati sul sistema di riscaldamento

Nella terza sezione del questionario sono state raccolte le informazioni relative al tipo di impianto di riscaldamento installato e al suo utilizzo. In tutte le abitazioni è presente il sistema di riscaldamento e nella maggior parte sono presenti almeno due tipologie di impianti, in alcuni casi anche tre. Dall'analisi dei dati raccolti è emerso che nella maggior parte delle abitazioni, il 36%, è presente l'impianto di riscaldamento con

pompe di calore, sempre per il 36% sono presenti altri sistemi, quali camino a legna, stufe elettriche, stufe a gas, stufe a pellet o altro. Gli impianti con caldaia a gas tradizionale, caldaia a biomassa e termocamino sono presenti rispettivamente per il 19%, il 6% e il 3%. Per quanto riguarda lo stato di conservazione, si tratta per il 62% di impianti in buono stato installati dopo il 2005, per il 32% di impianti in buono stato installati prima del 2005, mentre per il 6% si tratta di sistemi in cattivo stato. Le figure 4.41-42 mostrano i risultati in percentuale relativi al tipo di sistema di riscaldamento installato e allo stato di conservazione.

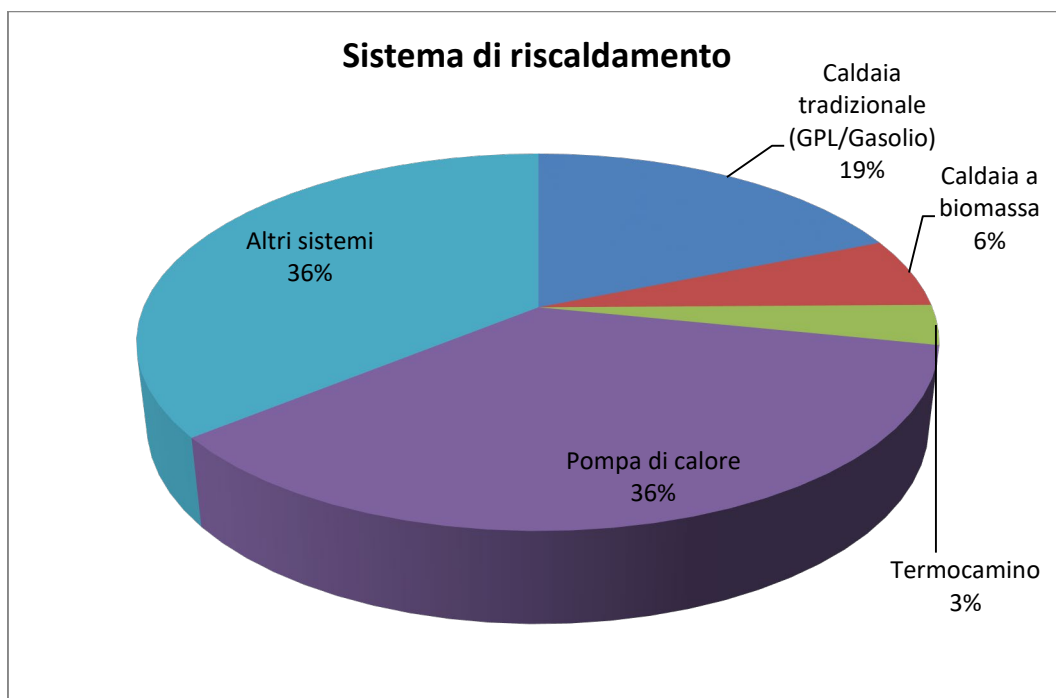


Figura 4.41 - Ripartizione percentuale del tipo di sistema riscaldamento installato nelle abitazioni

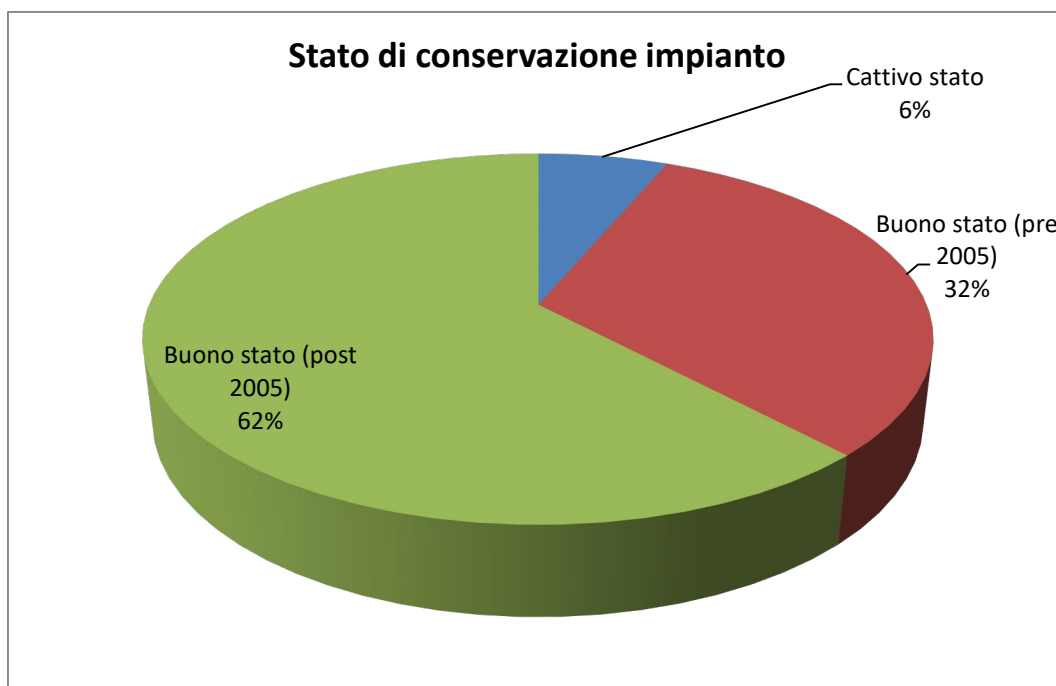


Figura 4.42 - Ripartizione percentuale dello stato di conservazione dell'impianto di riscaldamento installato nelle abitazioni

#### 4.3.4 Dati sul sistema di raffrescamento

Nella quarta sezione del questionario sono state raccolte le informazioni relative al tipo di impianto di raffrescamento installato e al suo utilizzo. L'impianto di raffrescamento è presente nell'82% delle abitazioni. Dall'analisi dei dati raccolti è emerso che nella maggior parte delle abitazioni, il 94%, è presente l'impianto di raffrescamento con pompe di calore, per la restante parte, il 4%, sono presenti altri sistemi. Per quanto riguarda lo stato di conservazione, il 66% degli impianti è in buono e installati dopo il 2005, il 29% è in buono stato e installato prima del 2005, mentre per il 5% si tratta di sistemi in cattivo stato. Le figure 4.43-44 mostrano i risultati in percentuale relativi al tipo di sistema di raffrescamento installato e allo stato di conservazione.

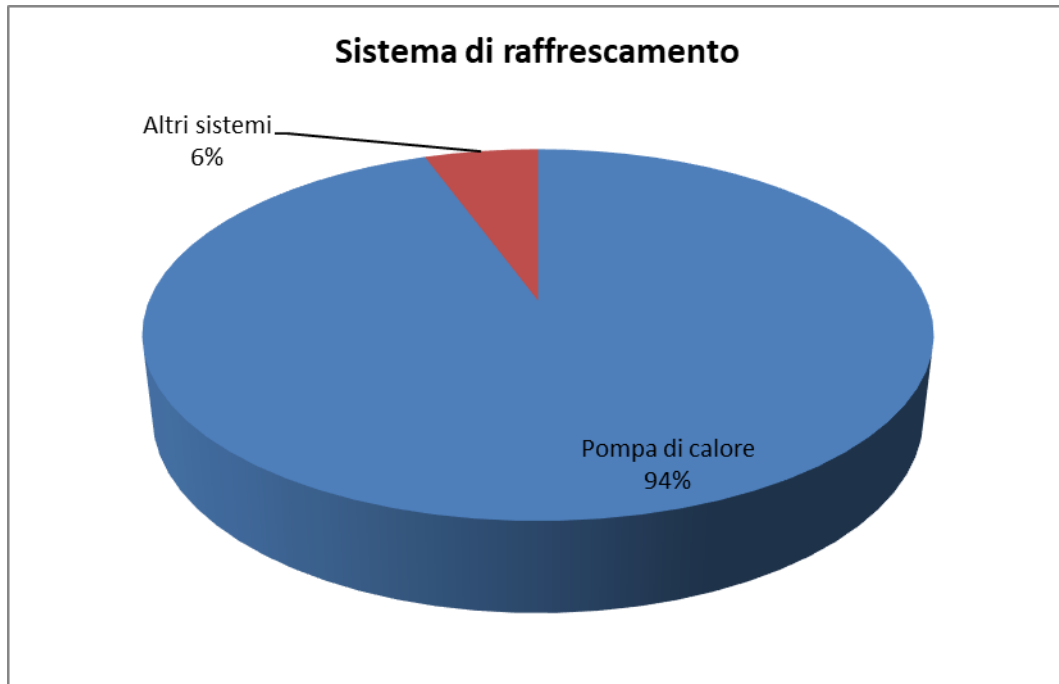
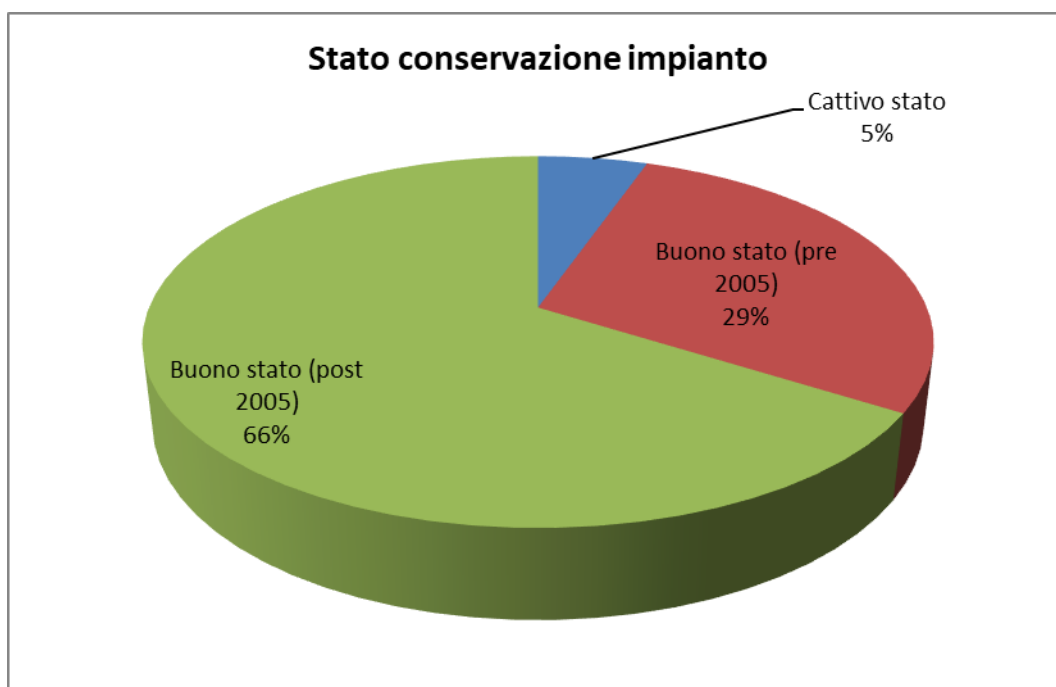


Figura 4.43 - Ripartizione percentuale del tipo di sistema di raffrescamento installato nelle abitazioni



**Figura 4.44 - Ripartizione percentuale dello stato di conservazione dell'impianto di raffrescamento installato nelle abitazioni**

#### 4.3.5 Dati sul sistema di produzione di acqua calda sanitaria (ACS)

Nella quinta sezione del questionario sono state raccolte le informazioni relative al tipo di impianto di produzione di ACS e al suo stato di conservazione. Nel 51% delle abitazioni è installato lo scaldabagno elettrico, nel 44% la caldaia a gas, nel 3 e 2% delle abitazioni sono installati rispettivamente altri impianti e sistemi integrati nella caldaia per il riscaldamento. Per quanto riguarda lo stato di conservazione, si tratta per l'82% di impianti in buono stato installati dopo il 2005, per il 18% di impianti in buono stato installati prima del 2005, mentre non sono presenti sistemi in cattivo stato. Le figure 4.45-46 mostrano i risultati in percentuale relativi al tipo di sistema di produzione di ACS installato e allo stato di conservazione.

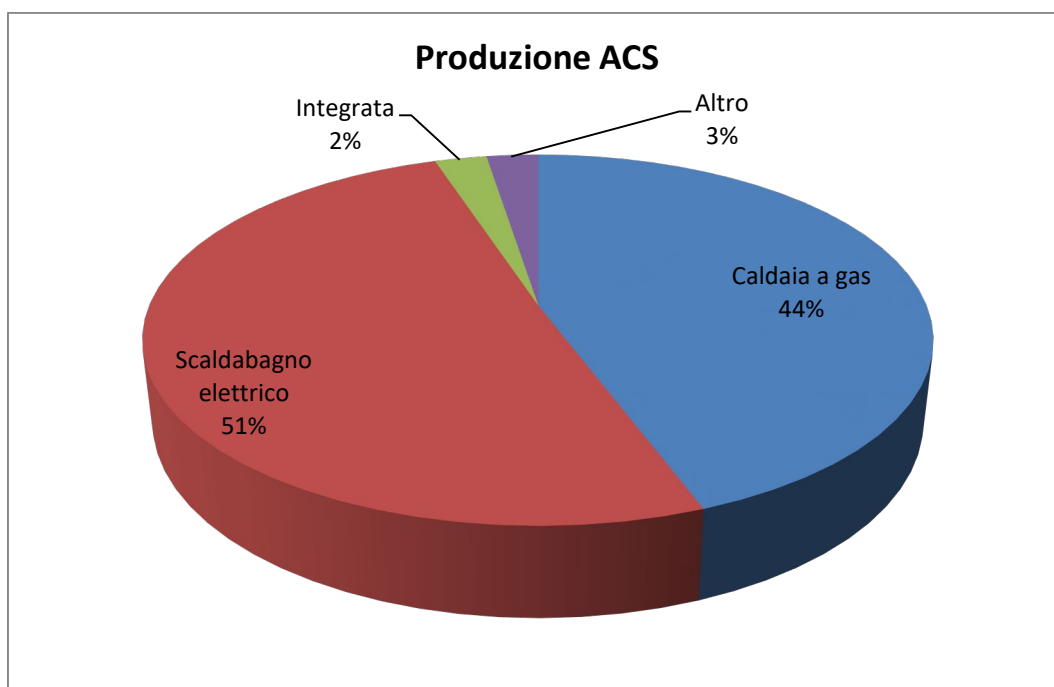


Figura 4.45 - Ripartizione percentuale del tipo di sistema di produzione di ACS installato nelle abitazioni

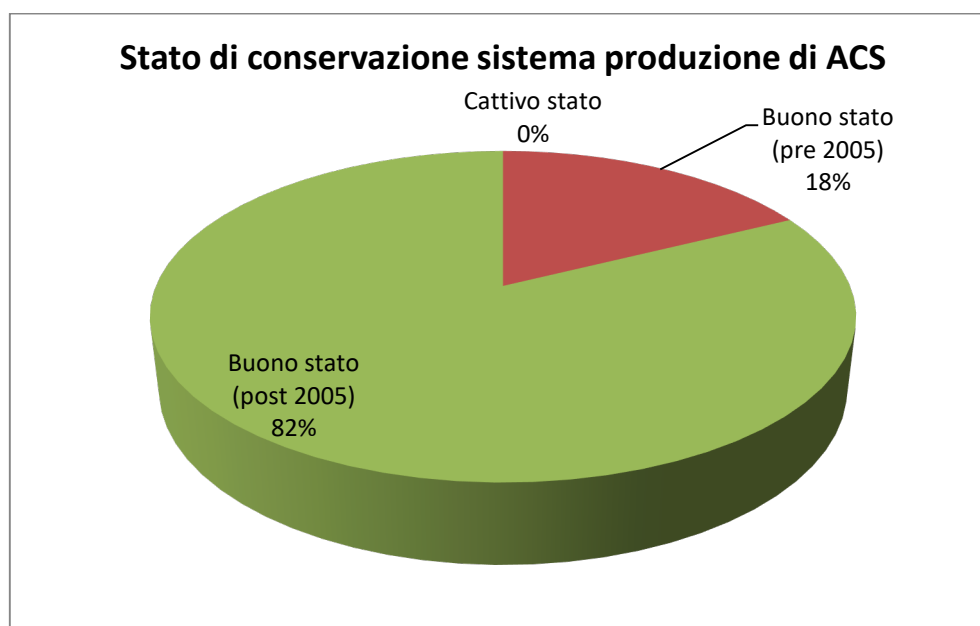
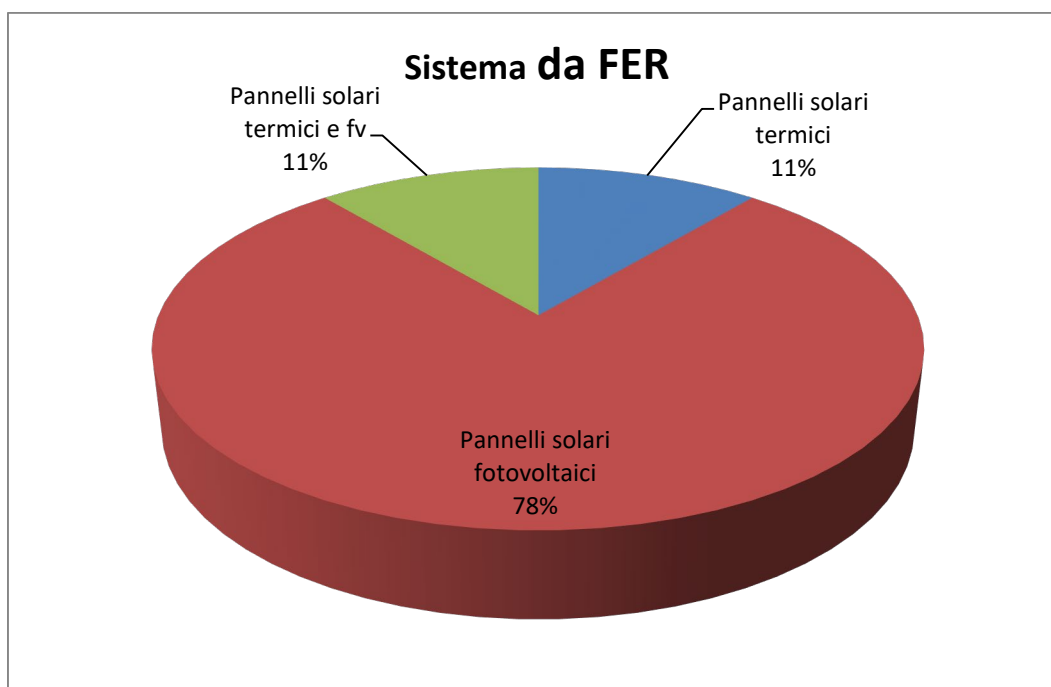


Figura 4.46 - Ripartizione percentuali dello stato di conservazione dell'impianto di produzione di ACS installato nelle abitazioni

#### 4.3.6 Dati sul sistema di produzione di energia da fonti energetiche rinnovabili (FER)

Nella sesta sezione del questionario sono state raccolte le informazioni relative al tipo di impianto di produzione di energia da FER. Tali tecnologie sono presenti nel 14% delle abitazioni, e si tratta per il 78% di installazioni di pannelli solari fotovoltaici, per l'11% pannelli solari termici e sempre per l'11% entrambe le tipologie di pannelli. La figura 4.47 mostra tali risultati in percentuale.



**Figura 4.47 - Ripartizione percentuale del tipo di sistema di produzione di energia da FER nelle abitazioni**

#### 4.3.7 Altri sistemi e consumi energetici

Nella sezione relativa agli altri sistemi è stato chiesto ai partecipanti quali elettrodomestici sono presenti nella propria abitazione (frigorifero, piano di cottura a gas o elettrico, lavastoviglie, lavatrice, etc). Inoltre è stato chiesto la tipologia e il numero di lampadine presenti.

Per quanto riguarda la sezione relativa ai consumi energetici è stato chiesto ai partecipanti di indicare il consumo energetico medio annuo, degli anni 2017, 2018 e 2019, in euro e/o in kWh. Tale informazioni poteva essere recuperata dalle bollette elettriche e del gas.

#### 4.3.8 Comfort

Nella nona sezione del questionario sono state chieste ai partecipanti alcune informazioni riguardanti il confort interno, in particolare si tratta di informazioni relative alle sensazioni termiche e al livello di umidità durante le stagioni e alla sensazione di movimento dell'aria percepita. Le figure 4.48-49-50-51 mostrano i risultati in percentuale della sensazione termica percepita all'interno delle abitazioni durante le stagioni. Le figure 4.52-53-54-55 mostrano la ripartizione percentuale relativa al livello di umidità percepito all'interno delle abitazioni durante le stagioni, e infine la figura 4.56 mostra i risultati in percentuale della sensazione di movimento dell'aria percepita all'interno dell'abitazione.

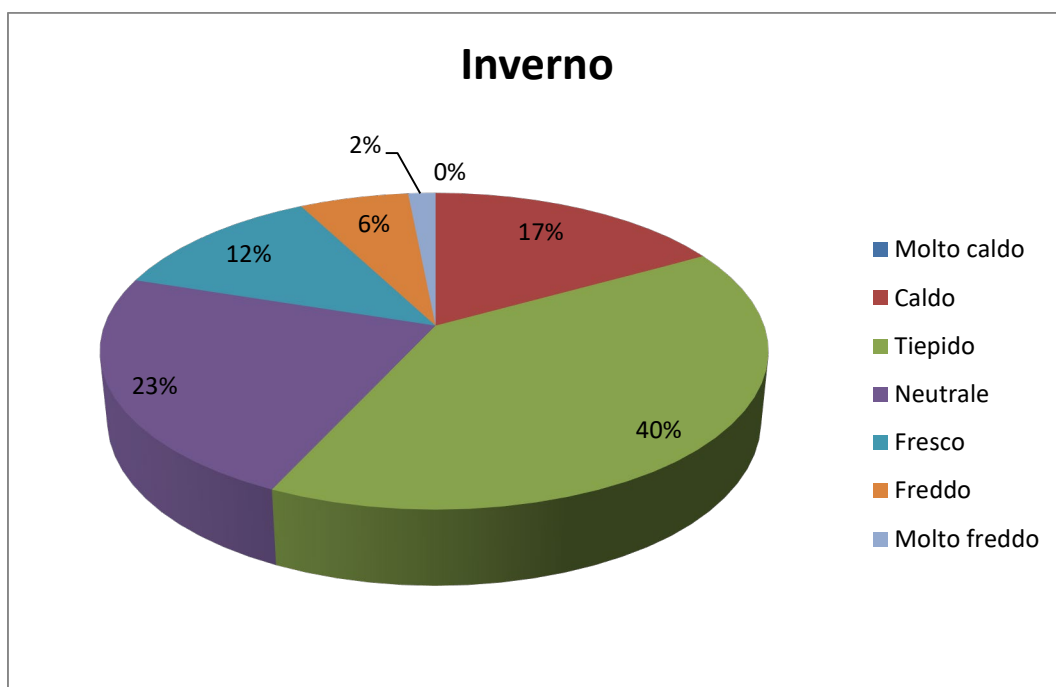


Figura 4.48 - Sensazione termica percepita all'interno dell'abitazione durante la stagione invernale

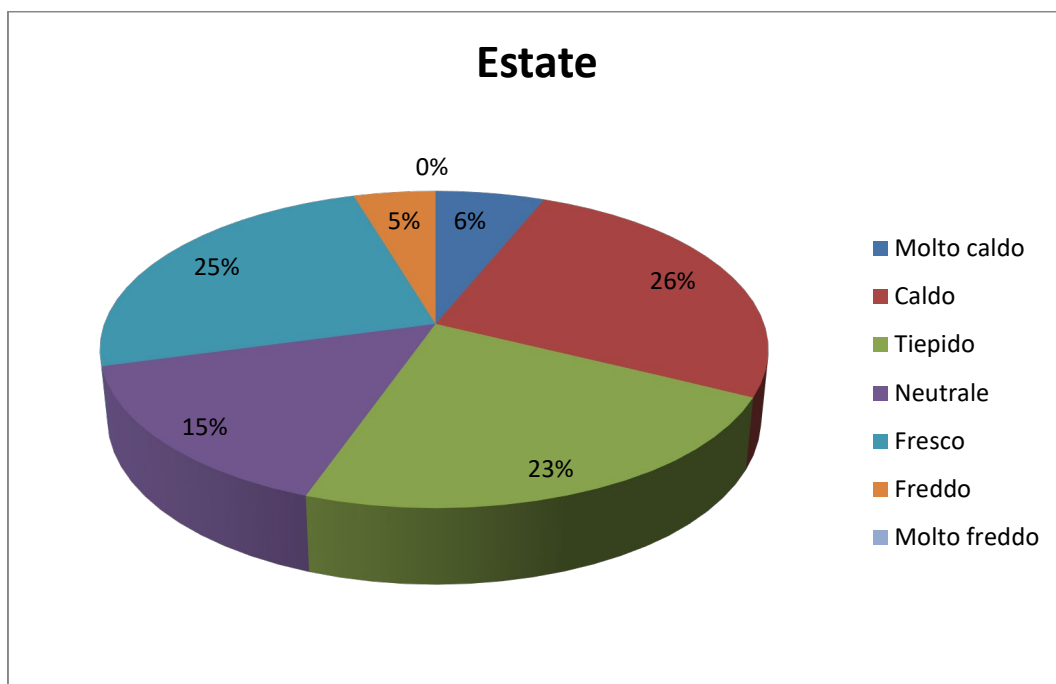


Figura 4.49 - Sensazione termica percepita all'interno dell'abitazione durante la stagione estiva

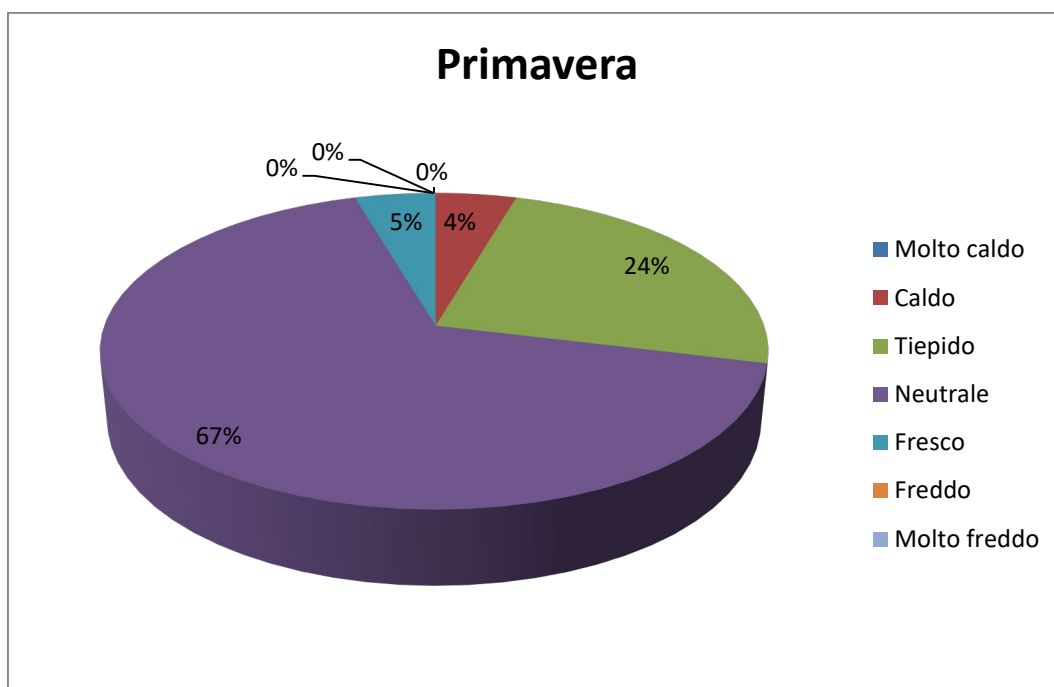


Figura 4.50 - Sensazione termica percepita all'interno dell'abitazione durante la stagione primaverile

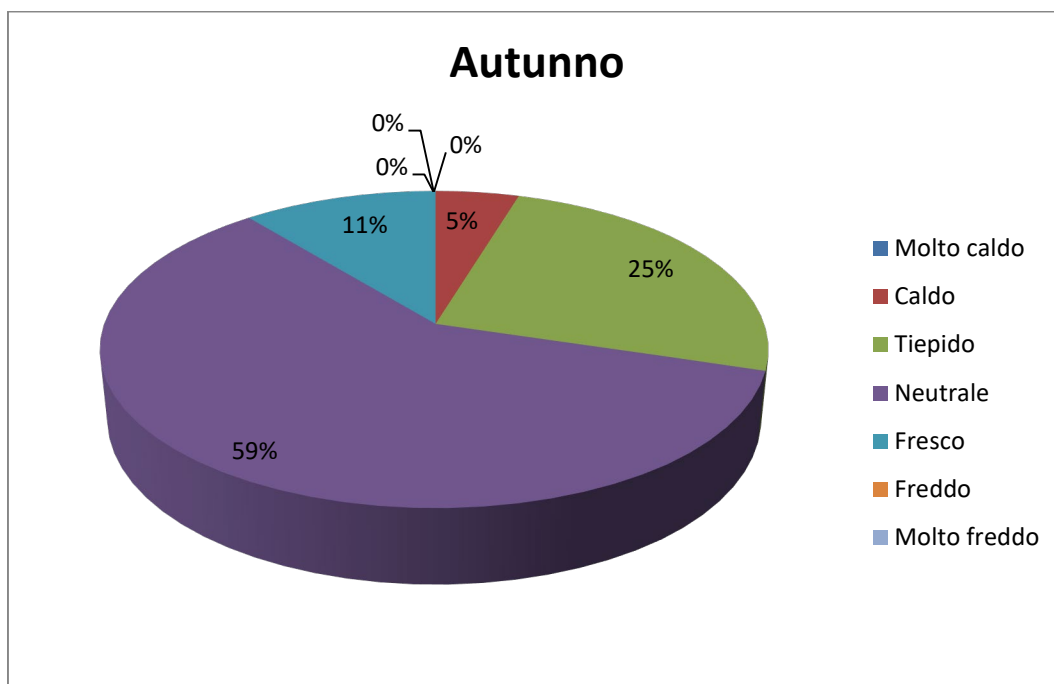
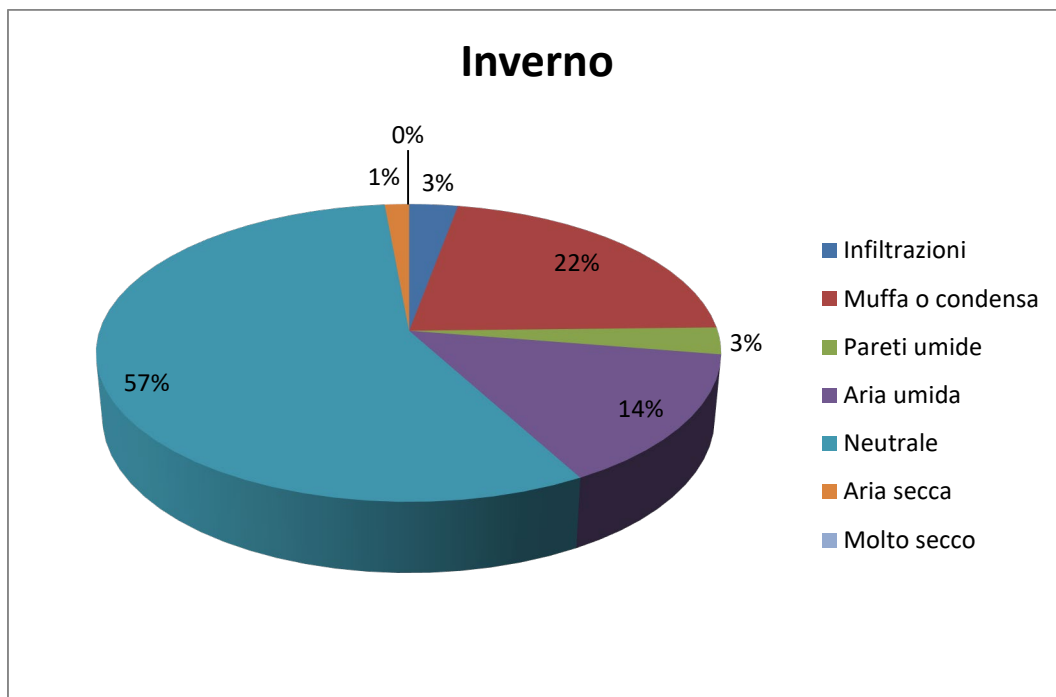
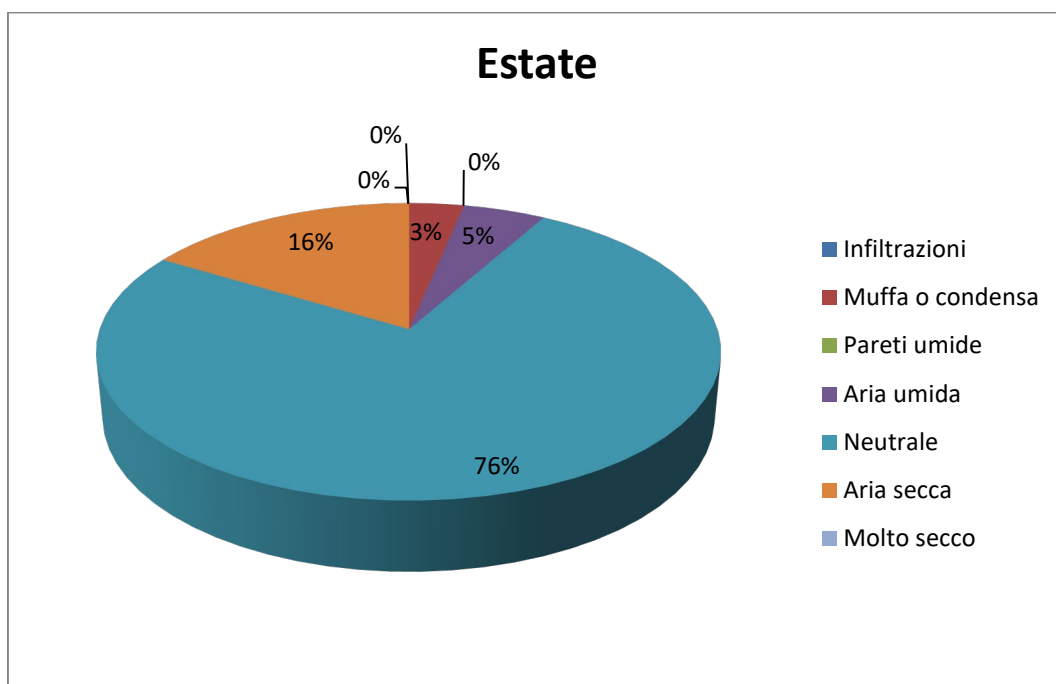


Figura 4.51 - Sensazione termica percepita all'interno dell'abitazione durante la stagione autunnale



**Figura 4.52 - Ripartizione percentuale del livello di umidità percepito all'interno delle abitazioni durante la stagione invernale**



**Figura 4.53 - Ripartizione percentuale del livello di umidità percepito all'interno delle abitazioni durante la stagione estiva**

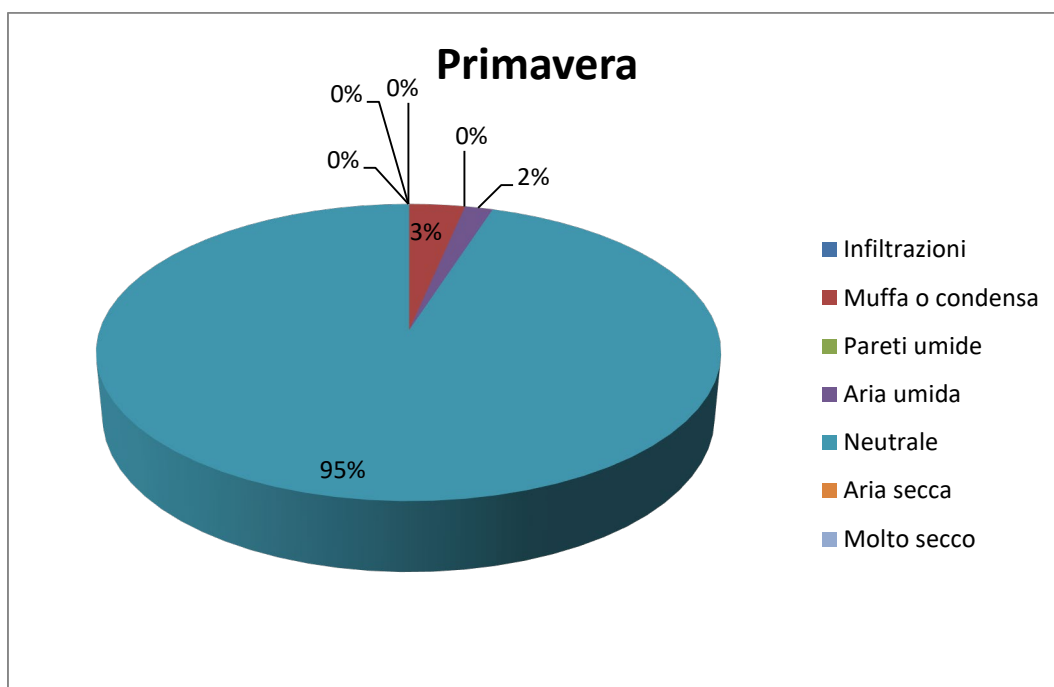


Figura 4.54 - Ripartizione percentuale del livello di umidità percepito all'interno delle abitazioni durante la stagione primaverile

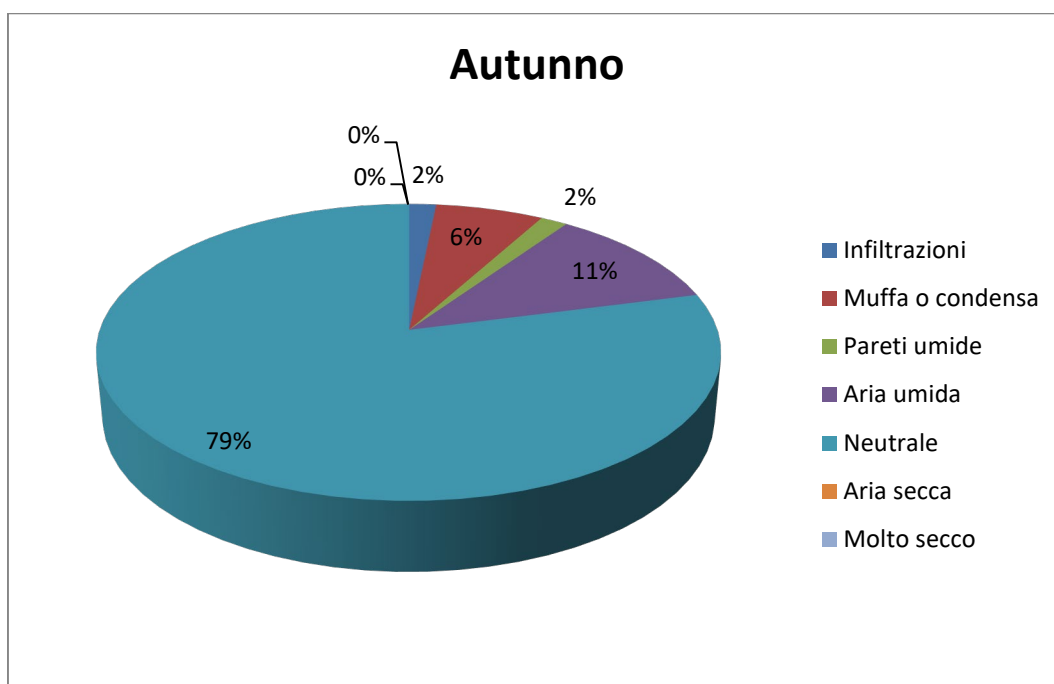
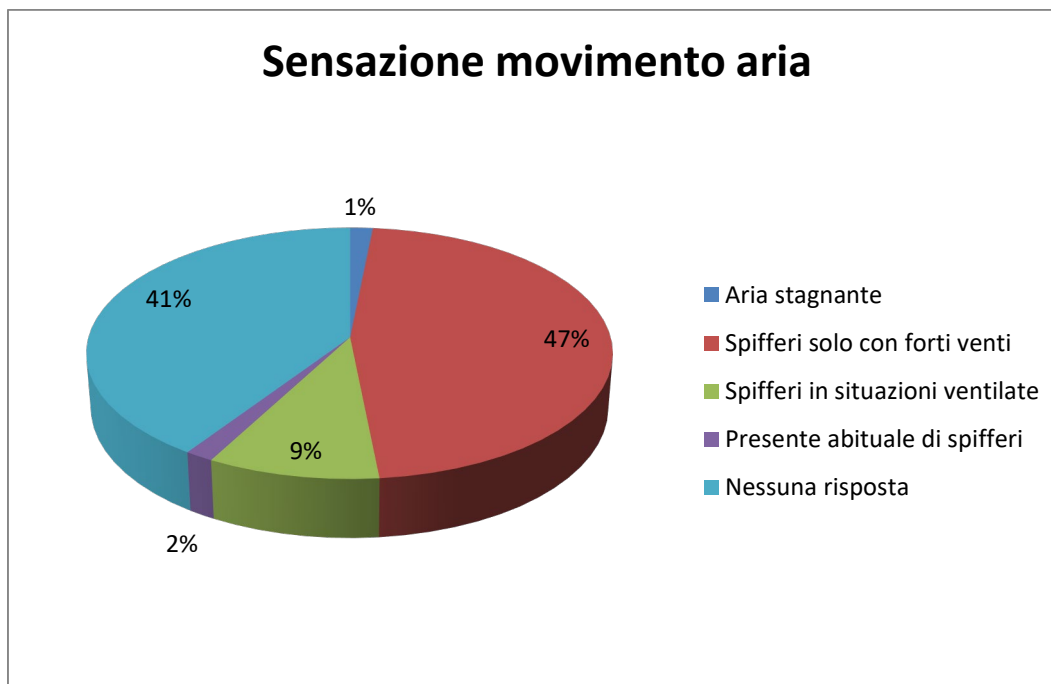


Figura 4.55 - Ripartizione percentuale del livello di umidità percepito all'interno delle abitazioni durante la stagione autunnale



**Figura 4.56 - Risultati in percentuale della sensazione di movimento dell'aria percepita all'interno dell'abitazione**

#### 4.4 Tipizzazione

Il rilievo delle caratteristiche per patrimonio edilizio nell'area di studio si è appoggiato su una definizione di tipi edilizi di rilievo, che è stata funzionale alla acquisizione analitica delle informazioni mostrata in precedenza. Tuttavia i tipi edilizi da adottare nella modellazione energetica per lo sviluppo del portale interattivo devono soddisfare i seguenti aspetti:

- sintetizzare le informazioni rilevanti per il calcolo di prestazione energetica;
- essere facilmente riconoscibili in vista della interazione con gli utenti del portale;
- essere rappresentativi del contesto di studio, ma presentare tipi esportabili per lo meno al resto del contesto urbano;
- gestire la diversità di dettaglio informativo disponibile tra edifici del contesto per lo sviluppo dell'abaco geografico.

La numerosità dei tipi edilizi di rilievo non è compatibile con lo sviluppo di una metodologia facilmente replicabile in altri contesti urbani, per cui è necessario determinare dei tipi edilizi più generali e riconoscibili sia per facilitare le operazioni di rilievo alla base della modellazione energetica, che per impostare l'interazione con gli utenti del portale su un numero più limitato di scelte bene riconoscibili.

L'approccio metodologico si basa su una integrazione tra il l'UBEM e le interfacce partecipative contenute nel portale: nello specifico l'occupante della unità abitativa deve poter riconoscere il tipo edilizio con il quale può essere classificata la sua unità immobiliare, in modo da poter contribuire con le proprie risposte a generare delle statistiche su condizioni d'uso, impianti e consumi legate al tipo edilizio ed eventualmente al periodo di costruzione. Perciò il numero di tipi edilizi deve essere più limitato e rispondere a tipi di natura più generale, inoltre le scelte dei tipi selezionabili dall'utente delle interfacce del portale devono essere direttamente relazionate con le tipologie architettoniche utilizzate per la modellazione energetica dell'UBEM. Tale relazione può essere 1:1 oppure, possono essere impostati dei sotto tipi, preferibilmente lato UBEM, che si riferiscano allo stesso tipo generale presente nel portale.

Dallo studio del caso di Carbonia, risulta poi evidente che il grado di approfondimento delle informazioni disponibili sul patrimonio edilizio non è uniforme. Da una parte vi è l'edilizia di impulso pubblico, per le quali possono essere recuperati progetti e documentazioni di cantiere più o meno di dettagliati. Anche per molta edilizia storica sono spesso disponibili studi piuttosto rappresentativi delle tipologie tradizionali locali più diffuse.

Però per l'edilizia privata post guerra in genere si può fare solo riferimento a tipi generici eventualmente legati al periodo di costruzione per individuare i materiali. Le tipologie edilizie sono anche la principale categoria che struttura la conoscenza dell'abaco geografico, che essendo indirizzato anche a una utenza tecnica, può contenere anche un livello di informazione più approfondito.

La caratterizzazione dei tipi edilizi a supporto del calcolo energetico dell'UBEM è affrontata con maggiore dettaglio tra le attività di pre-processing presentate nel seguito del capitolo. In questo paragrafo si presenta il ragionamento alla base della loro integrazione con il modello energetico (per informazioni più dettagliate sui tipi edilizi si rimanda al report inerente la linea di ricerca LA 1.32).

Nel caso di Carbonia abbiamo una certa abbondanza di informazioni, in quanto si tratta di una città di fondazione tra l'altro ampiamente studiata presso le università regionali. Per questi edifici di fondazione si hanno a disposizione i modelli di progetto che venivano replicati in cantiere. Si tratta della condizione originale, ma è largamente considerabile come rappresentativa dello stato attuale generale delle strutture edilizie; naturalmente dal punto di vista impiantistico la situazione è da considerarsi molto più variabile. Anche alcuni tipi di edifici sono sicuramente afferibili a vecchie lottizzazioni costituite da edifici realizzati in serie, che potrebbero essere studiati in maniera specifica, sulla base dei documenti depositati in comune e di un eventuale sopralluogo in uno di essi. Tuttavia l'area di studio presenta una forte incidenza di edifici privati, prevalentemente mono e bi-familiari, per i quali non si ha disponibile alcuna documentazione.

Si riporta una articolazione preliminare e quindi non esaustiva dei tipi edilizi adottata, per consentire l'impostazione della struttura informativa del UBEM e dell'ABACO e del portale (figura 4.57). Nella prossima annualità, tali tipi saranno modificati e raffinati sulla base dei risultati dei partners della ricerca e sulla base dei risultati della interazione degli utenti con il portale.

L'idea di base è definire un primo gruppo di tipologie edilizie di portata più generale (tabella 4.8), prettamente riferendosi alla analisi tipo morfologica dei corpi di fabbrica declinata per il contesto di studio allargato, ossia Carbonia e i paesi limitrofi. Questi tipi sono più semplici e meno numerosi rispetto alle tipologie di rilievo e anche ai modelli progettuali della fondazione. Essi sono stati principalmente il riferimento per le tipologie edilizie riportate nel questionario degli occupanti delle abitazioni sviluppato nel portale e per la simulazione energetica dei tipi edilizi per i quali non si ha documentazione. La caratterizzazione di queste tipologie adotta approcci fortemente tipologici, come l'assegnazione delle strutture edilizie sulla base del tipo e del periodo di costruzione riferendosi ad abachi riconosciuti a livello nazionale o a studi locali come, nel il presente caso, gli abachi del recupero dell'edilizia tradizionale della Regione Autonoma della Sardegna [33].

Il secondo gruppo di tipi edilizi invece è più specifico (tabella 4.9), costituisce una specificazione della classificazione precedente e riporta caratteristiche più legate al caso determinato e naturalmente anche alcuni dettagli aggiuntivi. È il caso della edilizia della fondazione, dove la documentazione disponibile permette di definire con precisione la tecnologia costruttiva e la planimetria interna originaria per ogni corpo di fabbrica del centro storico. Un livello informativo simile può essere ricavato anche per edilizia convenzionata più moderna realizzata in serie, tramite lo studio della documentazione comunale e/o con un rapido sopralluogo in un edificio. Anche questa struttura informativa sarà testata meglio nella prossima annualità, quando i risultati del modello energetico e dello studio tipologico saranno messi a sintesi per l'implementazione dell'abaco geografico e delle altre interfacce del portale AUREE.

Al fine di sperimentare la metodologia si sono impostati alcuni tipi edilizi rappresentativi del contesto, ma applicabili anche per il centro urbano, che risultano implementati nella versione Beta del portale.

Per definirli si è operato in primo luogo riordinando gli edifici dell'area di studio rispetto alla tipologia morfologica, osservando che alcuni tipi presentavano esempi in diversi periodi costruttivi. Da ciò si è poi impostata una matrice tipo morfologico / periodo costruttivo su cui impostare le nuove tipologie (figura 4.58). Nella prossima annualità i tipi così definiti saranno applicati anche per il resto del centro urbano con una raffinazione iterativa della loro articolazione.

Per l'edilizia della fondazione invece si sono impostate delle classi riassuntive basate sui principali aspetti morfologico – costruttivi che influenzano le prestazioni energetiche. Per un elenco e una descrizione dettagliata dei tipi di fondazione si rimanda all'Allegato 2 – Tipologie edilizie e alla documentazione pubblica [34].

I tipi generali adottati basati essenzialmente sul numero di livelli del corpo di fabbrica risultano essere:

- edilizia a un livello della fondazione;
- edilizia a due livelli della fondazione;
- edilizia a pluripiano della fondazione.

**Tabella 4.8 – Tipologie generiche dell’area di studio e di Carbonia**

| CODICE    | DENOMINAZIONE                          | DESCRIZIONE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | NOTE SULL'AREA DI STUDIO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| gen_A1    | Edilizia storica tradizionale          | Edilizia uni o bi-familiare di tipo tradizionale (casa a corte, "medau", palazzetto, etc) ancora riconoscibile (1-2 livelli) anche inserita nel tessuto urbano, ben conservata o modificata per successivi ampliamenti, le parti originali sono realizzate con materiale tradizionale (pietra, ladiri, mattoni pieni, etc) e chiusure orizzontali lignee, gli ampliamenti con tecniche più recenti di muratura mista (mattoni forati, blocchi cementizi, solai latero-cementizi, etc)                                                             | Nell'area di studio vi sono solo pochi esempi, abbastanza modificati con interventi successivi                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| gen_A2    | Edilizia pluriplano storica            | <i>ancora da definire</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Non presenti nell'area di studio e nel comune di Carbonia                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| gen_A3    | .....                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| gen_B1    | Villino tipo A                         | Edilizia uni- o bi-familiare isolata nel lotto, o a «villino», comprendente abitazioni sviluppate su 1 – 3 livelli, escluso eventuale sottotetto e pluriplano i (affaccio su 3-4 fronti, con pertinenza di verde privato). Tipologia caratterizzata da morfologie regolari e basso rapporto finestrato. Le strutture dipendono dal periodo di costruzione, sono diffusi esempi di queste tipologie di edifici anche realizzati tra la fine deli anni 50 ed i primi anni 60, in murature miste tra la pietra tradizionale e materiali più moderni. | Molto rappresentata nell'area di studio e nel Comune di Carbonia                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| gen_B2    | Villino tipo B                         | Edilizia uni- o bi-familiare isolata nel lotto, o a «villino», comprendente abitazioni sviluppate su 1 – 3 livelli, escluso eventuale sottotetto e pluriplano i (affaccio su 3-4 fronti, con pertinenza di verde privato). Tipologia caratterizzata dalla presenza di nicchie e volumi non sempre regolari con maggiore rapporto finestrato. Le strutture dipendono dal periodo di costruzione generalmente dagli anni 70 in poi, spesso adottano strutture in CA con tamponature in laterizio forato anche di basso spessore.                    | Molto rappresentata nell'area di studio e nel Comune di Carbonia                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| gen_C1    | Casa a schiera                         | Edilizia di abitazioni pluriplanoi aggregate a schiera, comprendente abitazioni sviluppate quasi sempre 2 piani fuori terra, escluso eventuale sottotetto (affaccio obbligato su 2 fronti, con pertinenza di verde privato). Le strutture generalmente a muratura portante, dipendono dal periodo di costruzione che pluriplano non precede gli anni 70.                                                                                                                                                                                          | Molto rappresentata nell'area di studio, sono schiere realizzate con tramite piani di lottizzazione di iniziativa pubblica a principalmente tra la fine degli anni 90 inizi del 2000, ma alcune schiere sono state realizzate durante i successivi 15 anni. pluriplanoi saranno considerate coerenti con i limiti di legge vigenti nel periodo di costruzione. |
| Gen_D1    | Palazzina isolata                      | Edilizia plurifamiliare pluriplano (oltre 3 livelli) isolata nel lotto, o palazzina, con singolo corpo scala che disimpegna più appartamenti per piano (affaccio su 4 fronti)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Pochi casi nell'area di studio, ma nel Comune di Carbonia si possono ritrovare diversi esempi                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| gen_D2    | Palazzina in linea                     | Edilizia plurifamiliare oltre 3 piani aggregata in linea, Edilizia plurifamiliare pluriplano (oltre 3 livelli) aggregata in linea, con 2 o più corpi scala che disimpegnano ciascuno 2 o più appartamenti per piano (affaccio obbligato su 2 fronti in genere pluriplanoi)                                                                                                                                                                                                                                                                        | Pochi casi nell'area di studio, ma nel Comune di Carbonia si possono ritrovare diversi esempi                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| gen_D3    | Palazzina a blocco                     | Edilizia plurifamiliare pluriplano (oltre 3 livelli) aggregata a blocco, con più corpi scala che disimpegnano ciascuno 2 o più appartamenti per piano (affaccio obbligato su 2 -3 fronti in genere non isorientati)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Non presenti nell'area di studio, ma nel comune di Carbonia sono presenti diversi casi                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| gen_fon_1 | Edilizia ad 1 livello della fondazione | Edilizia ad 1 livello della fondazione, comprende principalmente la tipologia "Cameroni"                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Per semplicità ricadono in questa tipologia gli edifici dell'EX-Poliambulatorio ad un livello                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| gen_fon_2 | Edilizia a 2 livelli della fondazione  | Edilizia a 2 livelli della fondazione, comprende la maggioranza dei modelli della fondazione costituiti da edifici al centro del lotto a due livelli quadri familiari, ma anche da alcuni modelli bi familiari                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Per semplicità ricadono in questa tipolgia gli edifici dell'ex-Poliambulatorio ad un livello                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| gen_fon_3 | Edilizia a pluriplano della fondazione | Edilizia a pluriplano della fondazione                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Ricade in questa classe gli O/5 presenti nell'area                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

**Tabella 4.9 – Tipologie specifiche dell'area di studio**

| CODICE        | DENOMINAZIONE                  | DESCRIZIONE                                                                                                                                 | GENERICA DI RIFERIMENTO |
|---------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| sp_fon_O/5    | Palazzo della Fondazione "O/5" | Palazzo fondazione intensivo, edificio multilivello a 4 piani fuori terra, 24 unità immobiliari: modello "O/5" riportata dal PPCS           | gen_fon_3               |
| sp_villino_1  | Villino ad un livello          | Villino ad un livello realizzato in serie su piano di lottizzazione degli anni 70-80                                                        | gen_B1                  |
| sp_villino_2  | Villino a due livelli          | Villino a due livelli (più sottotetto e seminterrato) realizzato in serie su piano di lottizzazione negli anni 80                           | gen_B2                  |
| sp_fon_Poli_1 | Ex-Poli un livello             | Edificio dell'ex-poliambulatorio riconvertito in residenza ben conservato o parzialmente modificato nelle strutture (1 livello fuori terra) | gen_fon_1               |
| sp_fon_Poli_2 | Ex-Poli due livelli            | Edificio dell'ex- poliambulatorio riconvertito in residenza fortemente modificato nelle strutture e nei volumi (2 livelli fuori terra)      | gen_fon_2               |

## TIPOLOGIE GENERALI

## TIPOLOGIE SPECIFICHE

### 1- Tipi edilizi pre - moderni

- 1.1 Edilizia storico tradizionale
- 1.2 altra edilizia storica (da definire)
- 1.3....

CASE a corte (antistante, retro doppia,..)  
Medau  
....

### 2 - Tipi edilizi - Modelli della Fondazione

- 2.1 Edilizia a un livello della Fondazione
- 2.2. Edilizia a due livelli Fondazione
- 2.3 Edilizia intensiva della Fondazione

Modelli: Cameroni, ...

Modelli: GRAM, GRAN, LACCHI, ....

Modelli: O/5, E2, B1,.....

### 3 - Tipi edilizi del dopoguerra, dalla Ricostruzione ad oggi

#### 3.1. Edilizia mono- o bi-familiare nel verde privato:

- 3.1.1. Edilizia mono o bi-familiare isolata nel lotto, o a «villino», tipo A
- 3.1.2 Edilizia mono- o bi-familiare isolata nel lotto, o a «villino», tipo B
- 3.1.3. Edilizia di abitazioni monofamiliari aggregate a schiera

Villino A,  
case a schiera

#### 3.2. Edilizia plurifamiliare:

- 3.2.1. Edilizia plurifamiliare (da 4 piani in su) isolata nel lotto, o palazzina,
- 3.2.2. Edilizia plurifamiliare (da 4 piani in su) aggregata in linea,
- 3.2.3. Edilizia plurifamiliare (da 4 piani in su) allineata su filostrada, a blocco con corte interna,

Figura 4.57 - Schema logico delle tipologie

| tipologie<br>"Generiche" |                      | Gen_A1                   | Gen_A2                       | Gen_B1            | Gen_B2            | Gen_C1               | Gen_D1             | Gen_D2              | Gen_D3              |
|--------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| Periodo Istat            | Periodo ortofoto     | Edilizia<br>Tradizionale | Altra<br>edilizia<br>storica | Villino<br>tipo A | Villino<br>tipo B | Edifici a<br>schiera | Palazzo<br>isolato | Palazzo in<br>linea | Palazzo a<br>blocco |
| Ante 1919                | Ante 1955            |                          |                              |                   |                   |                      |                    |                     |                     |
| 1919 - 45                |                      |                          |                              |                   |                   |                      |                    |                     |                     |
| 1946 - 1960              | 1955 - 1968          | B2                       |                              | B1                | B3                |                      |                    |                     |                     |
| 1961 - 1970              |                      |                          |                              |                   |                   |                      |                    |                     |                     |
| 1971 - 1980              | 1969 - 1977          |                          |                              | C1, C2            | C3, Cx            |                      | C4                 |                     |                     |
| 1981 - 1991              | 1978 - 1998          |                          |                              | D2                | D1, D3, D4,<br>DX | D6; D7; D8           | D5                 | D5                  |                     |
| 1991 - 2000              |                      |                          |                              |                   |                   |                      |                    |                     |                     |
| 2001 - 2005              | 1999 - 2005          |                          |                              |                   | E1                | E2; E3               |                    |                     |                     |
| 2006 - 2010              | 2006 - ora<br>(2016) |                          |                              |                   | F1                | F2; F3; F4           |                    |                     |                     |
| 2011 - 2015              |                      |                          |                              |                   |                   |                      |                    |                     |                     |
| Oltre 2016               |                      |                          |                              |                   |                   |                      |                    |                     |                     |

-  Possibili periodi di costruzione per tipo – morfologica,
-  Codice che assegna i tipi di rilievo al tipo generale

**Figura 4.58 – Prospetto che assegna i tipi di rilievo ai tipi generali**

#### 4.5 Risultati del modello energetico

In questo paragrafo si presenta una sintesi dei risultati ottenuti tramite l'applicazione della metodologia di modellazione energetica esposta in precedenza e applicata all'area di studio.

La finalità del caso studio è evidenziare gli elementi di criticità della metodologia proposta e degli strumenti adottati, principalmente focalizzandosi sui seguenti aspetti:

- applicazione della metodologia a un ambito più ampio e ripetibilità della stessa in altri contesti urbani regionali;
- impostazione di una attività di validazione dei risultati del modello energetico;
- efficacia e criticità degli algoritmi utilizzati;
- utilizzo dei risultati della modellazione energetica come base informativa per il portale.

I risultati sono perciò esposti seguendo a larghe linee gli step di calcolo dell'algoritmo, partendo dalle fasi di pre-processing dei dati di base e di impostazione dei dati dell'approccio tipologico e finendo con il calcolo dei parametri di efficienza energetica, più specificatamente:

- attività di pre-processing: tipizzazione;
- attività di pre-processing: impostazione dei dati di base e rilievo;
- attività di pre - processing: tools di preparazione della base geometrica;
- risultati delle analisi geometriche: superfici disperdenti e ombreggiamento;
- risultati dei calcoli di fabbisogno energetico e di prestazione.

##### 4.5.1 Attività di pre-processing: approccio tipologico

Una delle finalità implicite della ricerca è individuare il livello minimo di dati comunemente accessibili sul territorio, al fine di impostare una procedura replicabile nel contesto della Regione Sardegna. Perciò un obiettivo centrale della sperimentazione è valutare entro quali gradi di affidabilità si possa impostare un approccio tipologico, partendo dai dati comunemente disponibili in ambito regionale, e in senso più lato anche nazionale. Ossia, riprendendo quanto detto nella parte metodologica, i dati di base che ci si era riproposto di utilizzare nel caso studio possono essere ricondotti alle seguenti fonti:

- Abachi e specifiche tecniche inerenti le soluzioni tecnologiche più comuni, per impostare i rendimenti tipo dei sistemi impiantistici e le caratteristiche termo – fisiche dei materiali;
- Dati ISTAT (CPA 2011) disponibili per sezione censuaria, che possono essere usati per studiare la consistenza del patrimonio edilizio (n° edifici, n° unità immobiliari, età di costruzione, etc);
- Dati ISTAT (CPA 2011) disponibili per comune, riguardo ai sistemi impiantistici più diffusi;
- Dati ISTAT (Microdati del CPA), elaborazione personalizzata richiesta all'ISTAT dei microdati censuari del CPA;
- Dati RAS del Catasto Impianti e del Catasto Energetico (DB delle APE);
- Dati ENEA, comunemente disponibili per regione e provincia (nell'ambito del progetto è stata effettuata anche una estrazione per il comune di Carbonia), contengono statistiche sugli interventi di riqualificazione energetica effettuati (anni 2014 – 2019);
- Questionari sottoposti nell'ambito del progetto che raccolgono informazioni sulle unità immobiliari (strutture ed impianti) e sulle modalità d'uso;
- Raccolte documentali riguardanti il patrimonio storico locale (PUC, PPCS, archivi, etc).

Le tempistiche del progetto e le difficoltà delle PA generate dalla crisi pandemica non hanno reso possibile l'accesso a molte delle banche dati sopra elencate, nello specifico:

- l'ISTAT ha sospeso i servizi di elaborazione dei micro dati per esterni;
- la RAS non ha dato l'accesso al sistema informativo del catasto energetico e del catasto impianti che ancora è in via di implementazione, né tanto meno ha potuto fornire statistiche elaborate per l'ambito di studio;

- si sono avute difficoltà nella diffusione dei questionari a causa delle restrizioni agli spostamenti e alla difficoltà di contattare i destinatari.

Queste fonti di dati erano principalmente funzionali a individuare le tipologie di impianti più diffuse e a raccogliere dati per tracciare profili d'uso adeguati allo studio, perciò questo aspetto, come sovente succede negli strumenti di questo tipo, rimane quello con maggiori elementi di indeterminatezza che sarà oggetto di approfondimenti nel proseguo della ricerca.

Tuttavia considerando che, come già più volte richiamato, la finalità del progetto non è tanto la determinazione di una previsione dei consumi, quanto l'impostazione di un approccio conoscitivo strutturato, funzionale al coinvolgimento degli attori locali, si è potuto comunque impostare l'approccio tipologico presentato nella parte metodologica.

Nello specifico si sono definiti i seguenti elementi:

- le tipologie edilizie, divise in due tabelle: una raccoglie i parametri morfologici legati solo al tipo (tabella 4.10), l'altra assegna le strutture sulla base dell'anno di costruzione e del tipo (tabella 4.11);
- l'abaco delle strutture (vedi tabella 3.7 precedente), che riporta le caratteristiche termo-fisiche necessarie al calcolo energetico di pareti, coperture, basamenti e finestre;
- l'abaco degli impianti (tabella 4.13), che riporta i dati minimi prestazionali per le tipologie di impianto più comuni nel contesto.

L'impostazione dell'abaco delle strutture e delle tipologie edilizie è basato sulle caratteristiche ricorrenti del patrimonio edilizio locale, legate al periodo di costruzione, individuabili sulla base della letteratura disponibile e sulle attività di rilievo sviluppate durante il progetto.

Per gli edifici della fondazione invece si sono utilizzati i dati costruttivi più precisi, messi a disposizione dai manuali del PPCS.

In tutti casi i parametri termo-fisici sono stati ottenuti applicando le procedure della normativa tecnica.

Oltre ad alcune informazioni qualitative non influenti nel calcolo energetico nella definizione del tipo edilizio, sono stati essenzialmente ricompresi parametri geometrico - morfologici come (tabella 4.10) l'altezza dell'interpiano tipo, i rapporti finestrati, i coefficienti di trasmissione verso vani non riscaldati tipici. Questi valori saranno ricavati con più precisione per i tipi di cui si ha più documentazione (edifici della fondazione), mentre per gli altri si adotteranno valori medi locali o gli algoritmi di stima proposti dalla normativa.

**Tabella 4.10 – Struttura della tabella della tipologia edilizia utilizzata nel progetto (per i valori si rimanda all'Allegato 2- Tipologie edilizie)**

| CODICE     | DESCRIZIONE                                                                                      | NOTE                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| arch_env   | codice univoco che identifica il tipo edilizio                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| arc_tipo   | Identifica se si tratta di un tipo generico o specifico                                          | Informazioni descrittive                                                                                                                                                                                                                                                    |
| desc_1     | Denominazione breve di tipo                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| descr_2    | Descrizione lunga del tipo edilizio                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| imm_1      | Immagine o schema grafico del tipo                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| imm_2      | Immagine o schema grafico del tipo                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Floor_H    | Altezza media utile dell'interpiano                                                              | Parametri morfologici utilizzati per la definizione dei livelli riscaldati                                                                                                                                                                                                  |
| Basem_H    | Altezza media utile del seminterrato quando abitabile e perciò considerato nel volume riscaldato |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Pilot_H    | Altezza media dei piani pilotis o altri vani esterni come passaggi auto, etc                     |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| GIR_t      | Rapporto finestrato tipico medio delle facciate                                                  | Rapporti finestrati medi definiti in sede di rilievo per tipologia edilizia e per tipo di affaccio usati per il calcolo della superficie finestrata                                                                                                                         |
| GIR_a      | Rapporto finestrato tipico della facciata verso strada                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| GIR_b      | Rapporto finestrato tipico della facciata verso altro elemento dell'edificio                     |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| GIR_c      | Rapporto finestrato tipico della facciata verso proprio lotto                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| GIR_d      | Rapporto finestrato tipico della facciata verso altro lotto                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| GIR_e      | Rapporto finestrato tipico nella copertura                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Rs_plant   | Incidenza della superficie utile sulla lorda nel piano tipo                                      | Parametri tipologici per ricavare la superficie climatizzata (da cui il volume). In caso si tipologie generiche si applica la formula della normativa per le specifiche si adottano invece valori stimati da planimetrie attendibili                                        |
| Rs_sott    | Incidenza della superficie utile sulla lorda nel sottotetto tipo                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Rs_Basem   | Incidenza della superficie utile sulla lorda nel seminterrato tipo                               |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| b_btr      | Coeff. trasmissione muro verso locale non riscaldato                                             | Coefficienti di trasmissione del calore verso vani non climatizzati desunti dalla normativa                                                                                                                                                                                 |
| base_btr_1 | Coeff. trasmissione base verso locale non riscaldato seminterrato (max due lati esterni)         |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| base_btr_2 | Coeff. trasmissione base verso locale non riscaldato esterno (più di due lati esterni)           |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Cmt        | Capacità termica superficiale interna da prospetto UNI 11300                                     | Parametro desunto direttamente dalla normativa                                                                                                                                                                                                                              |
| s_btr      | Coeff. trasmissione muro verso vano scale                                                        | Parametri tipologici che modellano il vano scala non riscaldato interno alla UE. La sperimentazione ha mostrato che il loro uso porta a frequenti situazioni non verosimili per le tipologie generiche perciò, al momento attuale non saranno utilizzati nella modellazione |
| n_stairs   | N° di vani scala non riscaldati considerati nel volume lordo                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| pstairs    | Perimetro tipico del vano scala non riscaldato qualora considerato nel volume lordo              |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| astairs    | Area tipica del vano scala non riscaldato qualora considerato nel volume lordo                   |                                                                                                                                                                                                                                                                             |

**Tabella 4.11 – Struttura della tabella che associa la struttura edilizia sulla base del tipo e del periodo di costruzione (per i valori si rimanda DB allegato)**

| STRUTT | ARCH   | ANTE_1919 | 1919_45  | ...                                                      | ... | 2011_15 | OLTRE_2015 |
|--------|--------|-----------|----------|----------------------------------------------------------|-----|---------|------------|
| e_wall | gen_A1 | e_wall_1  | e_wall_1 | codice univoco della struttura:<br>e_wall_1, e_wall_2... |     | ...     | ...        |
| ..     | gen_A2 | e_wall_3  | e_wall_3 |                                                          |     | ...     | ...        |
| ..     | ....   | ...       | ...      |                                                          |     | ...     | ...        |

Anche l’abaco dei sistemi impiantistici più diffusi è stato redatto basandosi sulle risposte ai questionari e sulla conoscenza esperta del territorio. L’abaco ha una natura dinamica e potrà essere facilmente aggiornato con altri sistemi. Esso costituirà le opzioni di scelta dei sistemi presenti nella interfaccia proprietario del portale.

Con la compilazione dei questionari si otterranno così informazioni più precise sulla diffusione e sul tipo di sistemi presenti nel contesto, tuttavia per ricavare dei parametri prestazionali su cui impostare l’interazione con gli utenti del portale, si sono effettuati i calcoli di adottando i casi di obsolescenza impiantistica più diffusi nel contesto ricavabili dai questionari recuperati durante il progetto e dalla conoscenza esperta.

Le ipotesi sono legate al tipo edilizio e al periodo di costruzione (tabella 4.12) e ricavano una prestazione media per unità di superficie di una tipica unità immobiliare, inserita però nello specifico edificio, per il quale è stato calcolato il fabbisogno netto.

Per quanto riguarda il profilo d’uso si è adottato quello standard, ossia 20/26 gradi interni in caso di riscaldamento/raffrescamento e tutta la superficie abitabile considerata climatizzata in regime continuo. Tale prestazione media è il valore di partenza su cui si imposterà l’interfaccia del proprietario.

Le configurazioni impiantistiche più diffuse fino alla fine degli ‘90 negli edifici isolati o in corpi di fabbrica con un limitato numero di unità immobiliari sono la pompa di calore obsoleta (precedente al 2010), la caldaia tradizionale con termosifoni e l’ipotesi senza impianto. Negli edifici multipiano con più unità immobiliari si aggiunge l’ipotesi relativa ai sistemi condominiali, che però, come è noto, molti abbandonano a favore di una soluzione autonoma.

Il contesto presenta ancora una forte incidenza di edifici privi di veri e propri impianti: essi sono unità immobiliari originariamente prive di sistemi, ma anche abitazioni che non usano i sistemi esistenti in quanto non funzionanti o ritenuti troppo costosi. Per questi è stato ipotizzato l’uso continuo di una stufa elettrica (1000 W) e di una stufa a gas. Per gli edifici tradizionali e quelli singoli più datati si è ipotizzata anche la presenza del camino a legna tradizionale sempre acceso a servizio di una stanza (20mq). La finalità è mostrare come l’uso di sistemi energeticamente poveri possa portare a costi annui paragonabili, se non superiori, a sistemi più efficienti di nuova generazione, che però garantiscono alti livelli di confort interno.

Per il patrimonio immobiliare più recente si sono ipotizzati sistemi adeguati ai requisiti prestazionali richiesti dalla normativa vigente.

Per quanto riguarda la produzione di ACS, si è ipotizzato l’uso generalizzato del boiler elettrico, fatta eccezione per gli edifici con impianti a gas autonomi, per i quali si è ipotizzato una produzione combinata. Per il raffrescamento si è ipotizzato l’uso di pompe di calore non recenti per tutte le unità immobiliari pretendenti al 2010, poi si sono applicati i rendimenti richiesti dalla normativa.

Nel complesso si sono impostati tre ipotesi impiantistiche per il servizio di riscaldamento, due per il servizio di ACS e una per il rinfrescamento.

Rimane aperta la sperimentazione della metodologia per l’assegnazione dei sistemi impiantistici e dei profili alle unità edilizie o a gruppi di edifici che possa portare ad un calcolo prestazionale per l’intero contesto urbano.

**Tabella 4.12 – Struttura della tabella che associa l’impianto più probabile alla unità immobiliare sulla base del tipo e del periodo di costruzione (per i valori si rimanda all’Allegato 2- tipologie edilizie)**

| ASERVIZIO | ARCH   | ANTE_1919_a | ANTE_1919_b | ANTE_1919_c | 1919_45_a                                       | 1919_45_b | 1919_45_c |
|-----------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------------------------------------------|-----------|-----------|
| risc      | gen_A1 | risc_10     | risc_1      |             | codice univoco dell'impianto: risc_1, risc_2... |           |           |
| risc      | gen_A2 | risc_10     | risc_1      |             |                                                 |           |           |
| ...       |        |             |             |             |                                                 |           |           |
| raff      |        |             |             |             |                                                 |           |           |
| ACS       | ....   | ....        | ....        |             |                                                 |           |           |

**Tabella 4.13 – Tipologie di impianto inserite tra i tipi disponibili nel portale e utilizzate per modellazione energetica (per i valori di efficienza e degli altri parametri utilizzati per la modellazione si rimanda all’Allegato 2 – Tipologie edilizie)**

| CODICE  | SERVIZIO | DESCRIZIONE                                                                             |
|---------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| risc_1  | risc     | Caldaia tradizionale con termosifoni, vecchia installazione                             |
| risc_2  | risc     | Caldaia tradizionale con termosifoni, recente installazione                             |
| risc_3  | risc     | Caldaia condensazione con termosifoni                                                   |
| risc_4  | risc     | Caldaia condensazione con pannelli radianti a bassa temperatura/ riscaldamento a        |
| risc_5  | risc     | Caldaia a biomassa con termosifoni                                                      |
| risc_7  | risc     | Caldaia a biomassa con pannelli radianti a bassa temperatura/ riscaldamento a pavimento |
| risc_8  | risc     | Stufa biomassa con aria forzata (anche termocamino certificato)                         |
| risc_9  | risc     | Termocamino artigianale con termosifoni o altro                                         |
| risc_10 | risc     | Pompa calore (split) vecchi modelli (pre 2010)                                          |
| risc_11 | risc     | Pompa calore (split) modelli recenti (post 2010)                                        |
| risc_12 | risc     | Pompa calore con fancoil vecchi modelli (pre 2010)                                      |
| risc_13 | risc     | Pompa calore con fancoil modelli recenti (post 2010)                                    |
| risc_14 | risc     | Pompa calore canalizzata vecchi modelli (pre 2010)                                      |
| risc_15 | risc     | Pompa calore canalizzata modelli recenti (pre 2010)                                     |
| risc_16 | risc     | Stufette elettriche a irraggiamento ad aria calda, termoconvettori elettrici            |
| risc_17 | risc     | Camino tradizionale o similare                                                          |
| risc_18 | risc     | Stufette a gas                                                                          |
| risc_19 | risc     | Caldaia centralizzata a gasolio tradizionale e termosifoni vecchia installazione        |
| risc_20 | risc     | Caldaia centralizzata a gasolio tradizionale e termosifoni recente installazione        |
| risc_21 | risc     | Caldaia centralizzata a gasolio tradizionale e pannelli radianti/pavimento vecchia      |
| risc_22 | risc     | Caldaia centralizzata a gasolio tradizionale e pannelli radianti/pavimento recente      |
| raff_1  | raffr    | Pompa calore (split) vecchi modelli (pre 2010)                                          |
| raff_2  | raffr    | Pompa calore (split) modelli recenti (post 2010)                                        |
| raff_3  | raffr    | Pompa calore con fancoil vecchi modelli (pre 2010)                                      |
| raff_4  | raffr    | Pompa calore con fancoil modelli recenti (post 2010)                                    |
| raff_5  | raffr    | Pompa calore canalizzata vecchi modelli (pre 2010)                                      |
| raff_6  | raffr    | Pompa calore canalizzata modelli recenti (pre 2010)                                     |
| raff_7  | raffr    | Pompa di calore centralizzata e fancoil vecchia installazione                           |
| raff_8  | raffr    | Pompa di calore centralizzata e fancoil recente installazione                           |
| raff_9  | raffr    | Ventilatori elettrici                                                                   |
| ACS_1   | ACS      | Scaldabagno elettrico                                                                   |
| ACS_2   | ACS      | Scaldino istantaneo a gas tradizionale                                                  |
| ACS_3   | ACS      | Scaldino istantaneo a gas tradizionale recente installazione                            |
| ACS_4   | ACS      | Scaldino istantaneo a gas a condensazione                                               |
| ACS_5   | ACS      | Scaldabagno a pompa di calore                                                           |
| ACS_6   | ACS      | Integrato con caldaia per riscaldamento                                                 |
| ACS_7   | ACS      | Integrato con pompa di calore per climatizzazione                                       |

#### 4.5.2 Attività di pre-processing: impostazione dei dati di base e geometrici e rilievo

Riprendendo quanto già presentato nella parte metodologica, i dati geometrici di base sono:

- il DBGT 1:2000 della RAS di Carbonia, dal quale si sono ricavati i dati geometrico topografici del patrimonio edilizio;
- il DSM [grid 1m] di Carbonia, dal quale si sono ricavati i dati altimetrici per lo studio dell'ombreggiamento del contesto;
- la Mappa Urbana Catastale, che insieme ai dati topografici del DBGT RAS permette di ricavare l'articolazione delle proprietà "in edifici";
- il rilievo urbano, che contribuisce a definire le geometrie e delle assunzioni tipologiche.

Per lo sviluppo del caso studio è stato utilizzato il Data Base GeoTopoGrafico (DBGT) del centro urbano messo a disposizione dalla RAS, costituito da un data base topografico 1:2000, che nel caso di Carbonia è stato sviluppato su una ortofoto del 2008 (foto della fascia costiera RAS) e aggiornato con un rilievo del 2011. Il DBGT è sviluppato in maniera strettamente coerente con le "Specifiche di contenuto per la realizzazione di Database della Regione Sardegna [35], adeguate ai protocolli INSPIRE, e si articola in diversi layers dai contenuti fortemente codificati, per i quali dettagli si rimanda alla specifica tecnica disponibile nel Geoportale della RAS.

Per lo sviluppo del progetto sono stati utilizzati principalmente i layers dello "*strato 02 – immobili ed antropizzazioni*" del DBGT RAS, tuttavia esso è stato integrato dalla Mappa Urbana Catastale per l'individuazione degli edifici.

Per la successiva parte di analisi delle geometrie disperdenti dell'edificio e, nello specifico, per lo studio degli ombreggiamenti reciproci tra i corpi di fabbrica, verrà utilizzato il modello DTM – DSM raster (passo 1m) disponibile per Carbonia con aggiornamento al 2008.

Riassumendo si sono utilizzati come dati di input i seguenti dati di base spaziali:

- a) layer dei Volumi Edilizi (VE) – strato ST 02 TE 01 CL 01 del DBGT;
- b) layer delle Unità Edilizie (UE) – strato ST 02 TE 01 CL 02 del DBGT;
- c) layer dei Particolari architettonici edilizi (Par) – strato ST 02 TE 01 CL 03 del DBGT;
- d) layer dei Manufatti edilizi (Man) – strato ST 02 TE 02 CL 01 del DBGT;
- e) layer dell'Area attrezzata del suolo – strato ST 02 TE 01 CL 05 del DBGT;
- f) Mappa Urbana Catastale servizio WFS di OPEN Data;
- g) Modello Raster 2.5d passo 1m DTM – DSM.

I *Volumi Edilizi (VE)* individuano quasi totalmente le geometrie del patrimonio edilizio, in quanto sono definiti come un layer poligonale che rappresenta una porzione elementare di edificio avente quota di base e di colmo costanti, la cui acquisizione è principalmente finalizzata alla definizione dei volumi edilizi a fini urbanistici. Ogni edificio, a eccezione dei ruderi e di quelli in costruzione, è perciò costituito da almeno un volume edilizio che rappresenta l'impronta al suolo del manufatto e contiene i seguenti attributi:

- *quota della gronda (01)*, valore [numero] della quota in gronda dell'unità volumetrica misurato aerofotogrammetricamente;
- *quota del piede (02)*, valore [numero] della quota al piede, misurato sul campo se a mezzacosta si considera la quota inferiore, se il piede non è visibile, si considera un punto quanto più prossimo possibile, quotato su strada o su terreno;
- *quota del colmo (03)*, valore [numero] della quota maggiore del corpo di fabbrica comprensivo anche del tetto;
- *tipo di porzione (04)*, qualifica[stringa] le porzioni di aggetto o costituenti sottopassaggio o portico, distinguendole dalle porzioni che poggiano sul suolo: 01 sottopassaggio, 02 portico, 03 locali di servizio, 04 altro (VE che poggiano al suolo).

Il layer poligonale delle *Unità Edilizia (UE)* completa la definizione geometrica dei corpi di fabbrica, in quanto raggruppa i VE e i particolari appartenenti allo stesso organismo architettonico. Per unità edilizia si intende un corpo costruito continuo afferibile a un'unica tipologia edilizia, che può accorpere più unità immobiliari aventi in comune gli stessi spazi di servizio (accessi, cortili, etc.). L'UE può essere anche una partizione di un cassone

edilizio, che è individuato tramite aspetti di tipo architettonico. Geometricamente rappresenta la superficie di ingombro al suolo ottenuta dall'involuppo di tutte le VE dell'edificio, escluse le porzioni ad aggetto. Questo tematismo può essere anche una valida base per una identificazione preliminare degli edifici a uso residenziale rispetto a quelli di uso pubblico o speciale e nello specifico contiene i seguenti attributi:

- *01 categoria uso* [stringa], identifica la destinazione d'uso dell'edificio o di una parte di questo (si riportano le principali, ma sono presenti diverse sotto classi per ogni uso: 00 generico, 01 pubblico, 02 trasporto, 03 industriale, 04 commerciale, 05 residenziale, 06 agricolo, 07 ricreativo, 08 culto);
- *08 tipo* [stringa], definisce il tipo di edificio dal punto di vista della tipologia architettonica (anche in questo caso sono definite diverse sottoclassi soprattutto per gli edifici di tipo abitativo (tabella 46);
- *09 stato* [stringa], definisce lo stato d'uso osservato dell'edificio: 01 in costruzione, 02 in disuso, 03 in esercizio;
- *11 sotterraneo* [si/no], specifica se una porzione di un edificio o l'intero edificio è sotterraneo.

**Tabella 4.14 - Classi e Sotto classi dell'Attributo**

| ST 02 TE 01 CL 02 - ATTRIBUTO 08 "TIPO EDILIZIO" SOTTOCLASSI DELL'EDIFICIO GENERICO (10) |                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| – 1001 edificio con scala esterna,                                                       | – 1007 edificio con corpo aggettante, |
| – 1002 edificio prefabbricato,                                                           | – 1008 edificio con corte,            |
| – 1003 edificio con giardino,                                                            | – 1009 palazzo a torre,               |
| – 1004 edificio sovrastante strada,                                                      | – 1010 villa,                         |
| – 1005 edificio sovrastante corso d'acqua,                                               | – 1011 villetta a schiera             |
| – 1006 edificio con portico                                                              |                                       |

I *Particolari architettonici edilizi* (Par) fanno riferimento agli elementi tipologici e alle particolarità volumetriche di un edificio (tabella 4.15). Una simile tipologia di oggetti fa parte del layer *Manufatti Edilizi* (Man) quando non è strettamente adiacente all'edificio (tabella 4.15). Gli elementi appartenenti a questi due layers di interesse sono quelli che possono avere un impatto sulla prestazione energetica in termini di ombreggiamento delle superfici disperdenti dei volumi edilizi. Questi elementi sono privi di quote, perciò, prima di utilizzarli per la modellazione, è stato necessario ricavarle preliminarmente per interpolazione con i DTM e DSM per poi procedere ad un controllo manuale almeno sugli elementi di maggiore dimensione.

**Tabella 4.15 - Sottoclassi dell'attributo**

| ST 02 TE 01 CL 03- ATTRIBUTO 01 "TIPO DI PARTICOLARE" |                                       |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 01 attico                                             | 11 archivolto                         |
| 02 balcone                                            | 12 tetto a falde                      |
| 03 comignolo                                          | 13 tetto a una falda in gronda        |
| 04 abbaino rilevato                                   | 14 cupola                             |
| 05 finestra a falda                                   | 15 tettoia                            |
| 06 porticato                                          | 16 lucernaio                          |
| 07 bowindow                                           | 17 loggiato                           |
| 08 corpo aggettante                                   | 18 volume od elemento diverso         |
| 10 scala esterna o gradinata di edificio              |                                       |
| ST 02 TE 02 CL 01- ATTRIBUTO 01 "TIPO DI MANUFATTO"   |                                       |
| 01 baracca                                            | 11 generico (default)                 |
| 02 garage/box auto                                    | 12 monumento                          |
| 04 chiosco/edicola                                    | 13 pensilina (non afferente edificio) |
| 05 loculo di cimitero                                 | 14 tettoia                            |
| 06 ascensore verticale a vista                        | 1401 tettoia industriale              |
| 07 fontana                                            | 15 rampa                              |
| 08 ingresso                                           | 16 torre                              |
| 09 manufatti insediamenti archeologici                | 17 vasca/piscina privata              |
| 10 arredo urbano                                      | 18 rudere                             |

Completa la definizione del lotto il tema *Area attrezzata del suolo* (ST 02 TE 01 CL 05), che rappresenta le aree di suolo poste in diretta relazione con gli edifici (tabella 4.16). Le informazioni contenute in questo tema sono direttamente utili alla definizione delle geometrie dell'edificio, in quanto individuano la presenza di cavedi e spazi interni della UE e contribuiscono ad individuare l'articolazione delle proprietà.

**Tabella 48. Classi e Sottoclassi dell'attributo**

| ST 02 TE 01 CL 05 - ATTRIBUTO 01 "TIPO DI PERTINENZA" |                                                    |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 01 corte                                              | 06 cavedio                                         |
| 02 giardino                                           | 07 chiostro                                        |
| 03 altro                                              | 08 spazio interno generico                         |
| 04 cortile                                            | 09 aia                                             |
| 05 resede                                             | 10 area antropizzata non ulteriormente qualificata |

Come evidenziato nella parte metodologica, i contenuti minimi di una base topografica per l'impostazione del CITY BOX model necessario all'UBEM sono le impronte al suolo degli edifici, la quota della gronda e del piede dell'edificio. Inoltre tra questi, l'unico realmente vincolante è l'impronta dell'edificio, che delimita il volume riscaldato e lo inserisce nel contesto urbano in maniera spazialmente corretta. La quota di base dell'edificio può essere determinata interpolando i punti quotati della mappa topografica disponibile, mentre la quota di gronda può essere ricavata adottando una altezza di interpiano tipo (generalmente 3m) e assegnando a ogni edificio il numero di livelli fuori terra tramite rilievo speditivo. Nel nostro caso i dati disponibili permettono di ottenere una rappresentazione topografica di scala 1:2000 e ben strutturata per tutto il contesto urbano, sufficiente allo sviluppo dell'UBEM, in quanto contiene già tra gli attributi i dati di quota necessari. Inoltre lo standard INSPIRE garantisce una certa omogeneità dei dati topografici dei centri urbani regionali, che è un elemento fondamentale per la replicabilità della metodologia.

Come si può notare, le mappe (figure 4.54-55) sono ricavate dalla composizione di diversi tematismi del DBGT e dalla selezione appropriata degli attributi. La rappresentazione permette di individuare chiaramente i corpi di fabbrica principali adibiti a uso residenziale, rispetto agli edifici adibiti ad altri usi.

Inoltre il dettaglio cartografico permette di riconoscere gli elementi accessori e l'articolazione dei lotti di pertinenza, combinando diversi layers del DBGT (particolari edilizi, manufatti edilizi, recinzioni, aree di pertinenza).

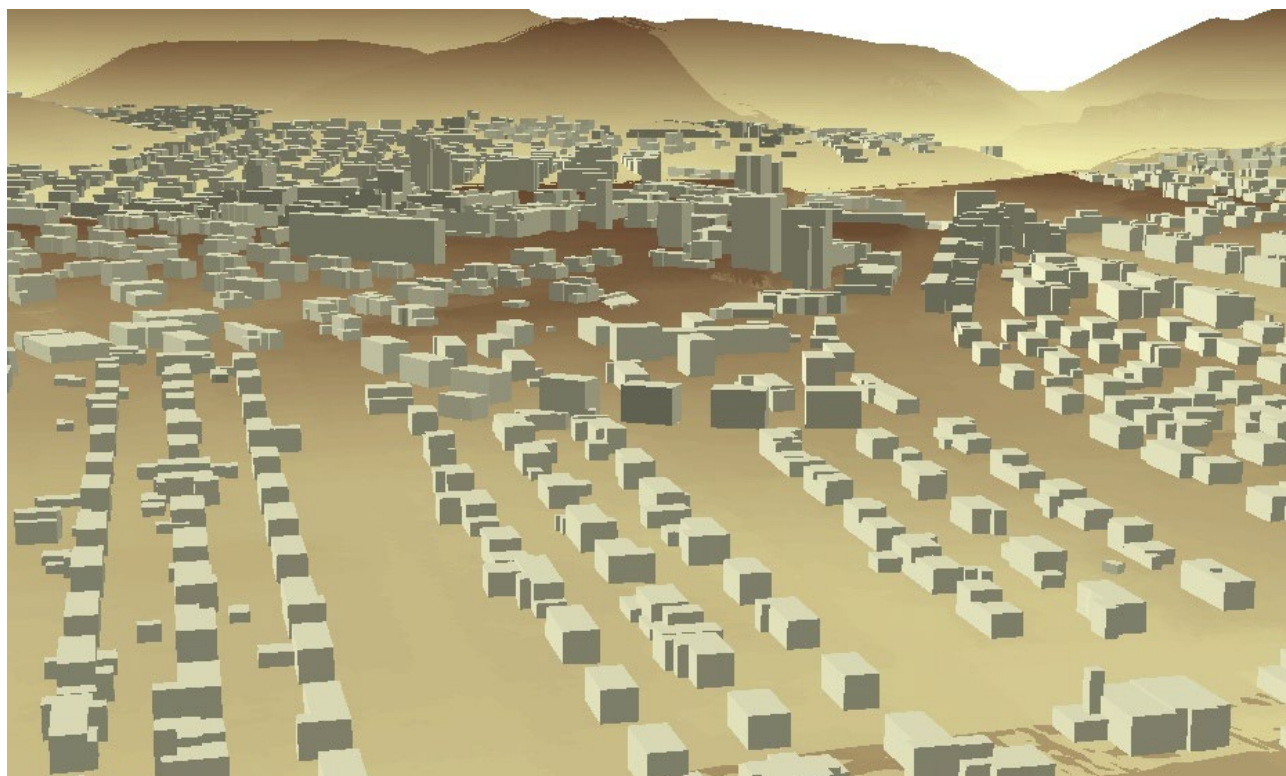
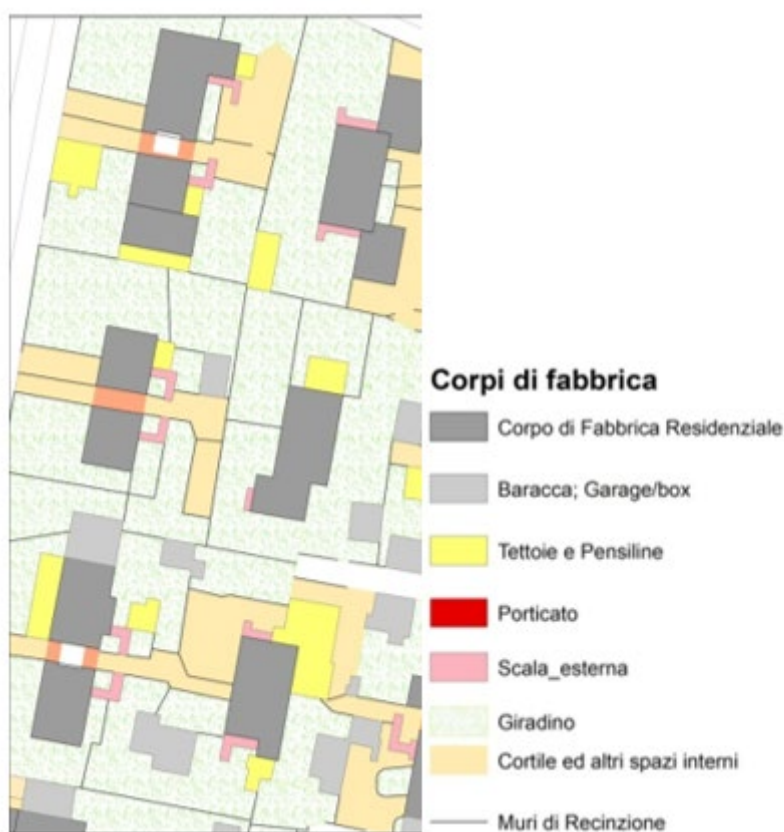


Figura 4.59 - Volumi Edilizi e DTM (passo 1m). Elaborazione DBGT e Raster RAS



**Figura 4.55 - Rappresentazione dei contenuti del DBGT – scala 1:500. Elaborazioni da layers del GBT**

#### *4.5.2.1 Individuazione dell'articolazione delle proprietà e delle unità immobiliari*

L'individuazione preliminare degli edifici e della articolazione delle proprietà può essere effettuata tramite il layer delle UE del DBGT, tuttavia esse sono una composizione dei VE che seguono delle specifiche regole di rilievo, non sempre capaci di individuare gli edifici indipendenti e, tanto meno, contengono informazioni sul numero di unità immobiliari contenute. Tali informazioni potrebbero essere sintetizzate dal data base geografico del Nuovo Catasto Edilizio Urbano (NCEU), al quale i comuni che ne fanno richiesta possono avere accesso completo. Le geometrie delle particelle catastali della Mappa Urbana possono essere di principale riferimento per l'individuazione della morfologia dei lotti e quindi delle proprietà, e il DB delle visure catastali può essere interrogato con procedure analitiche per estrarre il numero ed i tipi di unità immobiliari presenti nel corpo edilizio.

Tuttavia nel presente caso non si è riusciti ad avere accesso completo al data base catastale in quanto il comune selezionato non ha ancora attivato questo tipo servizio con la RAS, perciò i tempi tecnici necessari e le complicazioni sorte con la pandemia non hanno reso possibile l'accesso a tali fonti informative nelle tempistiche della ricerca. Per ovviare a questa lacuna informativa il rilievo urbano si è occupato anche di individuare l'articolazione delle proprietà e il numero delle unità immobiliari tramite rilievo diretto. L'articolazione delle proprietà si è potuta poi confrontare con gli Open Data Catastali resi disponibili a fine 2020 tramite servizio WFS, riguardanti però la sola Mappa Urbana con l'indicazione della particella catastale. Il confronto è stato svolto manualmente, con l'obiettivo di verificare le ipotesi fatte in sede di rilievo urbano, in quanto la Mappa Urbana è diffusa in modalità di sola lettura in formato immagine che non ne facilita l'uso tramite procedure di analisi automatiche.

Tale attività non è stata particolarmente complessa per il caso studio, perché il tessuto urbano è piuttosto semplice, in quanto per la maggioranza composto da case al centro del lotto, tuttavia è stato necessario suddividere in lotti la maggior parte delle UE del DBGT riferite alle case a schiera; ciò costituisce un aspetto da approfondire nella raffinazione della metodologia (figure 4.56-57).

Il tipo di edifici che ha necessitato di più attività di editing sono le schiere in quanto nella base del DBGT non sempre presentavano una morfologia dei VE coerente con le unità immobiliari da utilizzare nell'UBEM (figura 4.57 - a), b)): in alcuni casi i VE erano coincidenti con le unità della schiera, in altri comprendevano diverse unità, quand'anche tutta la stecca. Inoltre anche la Mappa Urbana Catastale non sempre riporta la separazione delle unità, in quanto risente del tipo di gestione delle aree di pertinenza (figura 4.57 - c)). Perciò le attività di editing hanno richiesto l'individuazione delle proprietà tramite fotointerpretazione e il taglio dei VE e delle UE in maniera conseguente.

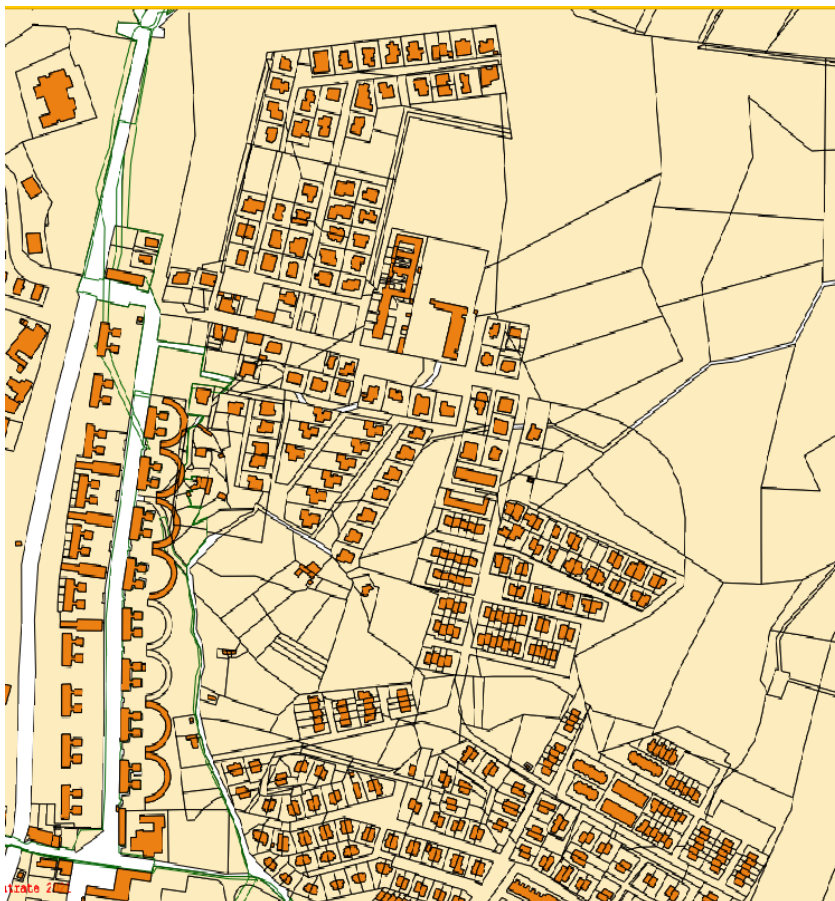


Figura 4.56 – Stralcio Mappa Urbana dell'area di studio



a)



b)



c)



d)

Figura 4.57 – confronto tra DBGT RAS, Ortofoto RAS b) base del DBGT a), Mappa Urbana Catastale c) e VE utilizzati per l'UREM d).

#### 4.5.2.2 Rilievo

Come presentato nella parte metodologica, il rilievo riguarda alcune informazioni necessarie allo svolgimento del calcolo energetico non direttamente contenute o indirettamente ricavabili dai dati base posseduti.

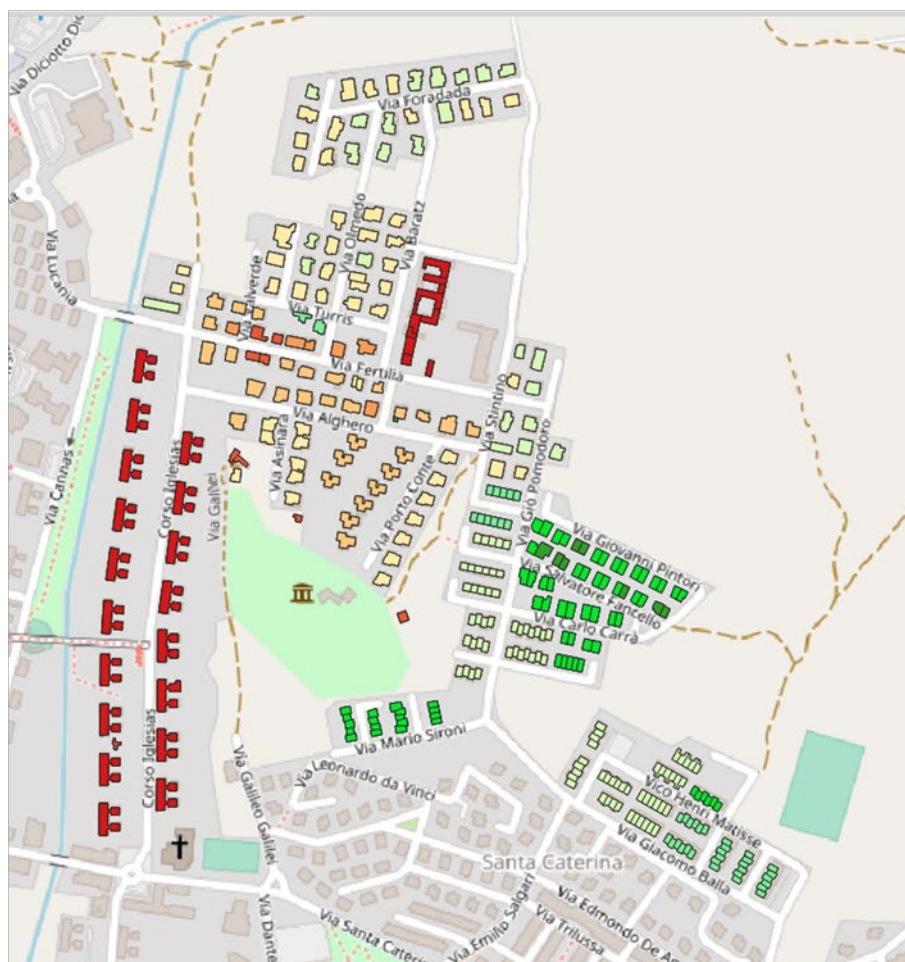
Per limitare l'input manuale senza compromettere il dettaglio del rilievo, si è scelto di impostare il rilievo sulla base dei due principali elementi spaziali che descrivono l'edificio: il volume edilizio (VE) e l'unità edilizia (UE). Nel VE saranno imputati tutti dati direttamente relativi alla definizione del volume edilizio, mentre nel UE si assegneranno le informazioni di tipo più tipologico. Fa eccezione il periodo di costruzione, che invece è assegnato alla scala del VE sulla base della fotointerpretazione delle ortofoto storiche: questo per dare alla metodologia la flessibilità di rappresentare un edificio composto da VE realizzati in periodi differenti. Tale flessibilità è utile per individuare i volumi edilizi di uno stesso edificio realizzati con tecnologie più recenti tramite, ad esempio, la modalità del Piano Casa.

La tabella 4.17 seguente raggruppa gli attributi assegnati ai VE e ai UE durante la fase di rilievo urbano. L'attività risulta essere abbastanza speditiva, grazie all'utilizzo di opportune interfacce di immissione dati sviluppate nel software QGIS ed all'utilizzo della cartografia digitale presente in rete.

**Tabella 4.17 - Attributi dei VE e UE utilizzati per la modellazione**

| VEMap (SHP POLIGONALE):<br>MAPPA DEI VOLUMI EDILIZI CON I DATI GEOMETRICI TOPOGRAFICI E DI RILIEVO MANUALE |                                                                                                                                                       | FONTE                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| VE_ID                                                                                                      | Codice univoco del volume edilizio                                                                                                                    | Automatico                        |
| ag                                                                                                         | Quota dell'attacco al suolo [m]                                                                                                                       | Derivato da DBGT                  |
| ab                                                                                                         | Quota della gronda [m]                                                                                                                                | Derivato da DBGT                  |
| ar                                                                                                         | Quota del colmo [m]                                                                                                                                   | Derivato da DBGT                  |
| Periodo                                                                                                    | Probabile periodo di costruzione, selezionato tra quelli dell'abaco, sulla base di foto interpretazione delle ortofoto storiche RAS                   | Rilievo urbano                    |
| USE                                                                                                        | Volume riscaldato o non riscaldato (V <sub>Er</sub> , V <sub>Enr</sub> ), individuato preliminarmente dal DBGT e verificato con rilievo urbano.       | Derivato da DBGT e Rilievo urbano |
| B_levels                                                                                                   | N° livelli, esclusi i sottotetto e compresi seminterrati                                                                                              | Rilievo urbano                    |
| Base_type                                                                                                  | Tipo di confine inferiore (tabella 7)                                                                                                                 | Rilievo urbano*                   |
| Sott_type                                                                                                  | Tipo di confine superiore della zona termica (tabella 8)                                                                                              | Rilievo urbano*                   |
| Cop_tipo                                                                                                   | Morfologia della copertura: piana, mono falda, doppia falda, multi falda                                                                              | Rilievo urbano*                   |
| Cop_manto                                                                                                  | Tipologia prevalente manto di copertura, selezionato tra i tipi dell'abaco                                                                            | Rilievo urbano*                   |
| Cop_col                                                                                                    | Colore prevalente del manto di copertura: chiaro, medio, scuro                                                                                        | Rilievo urbano*                   |
| * attributo eventualmente riconducibile nella definizione di tipologia di involucro                        |                                                                                                                                                       |                                   |
| UEMap (SHP POLIGONALE):<br>MAP DELLE UNITA' EDILIZIE CON I DATI DA INPUT MANUALE                           |                                                                                                                                                       | FONTE                             |
| Bui_ID                                                                                                     | Codice univoco dell'Unità Edilizia                                                                                                                    | Automatico                        |
| Arc_ID                                                                                                     | Tipologia edilizia, selezionato tra i tipi dell'abaco                                                                                                 | Rilievo urbano                    |
| Un_res                                                                                                     | N° di unità residenziali o assimilabili                                                                                                               | Rilievo urbano**                  |
| Un_comm                                                                                                    | N° di unità commerciali                                                                                                                               | Rilievo urbano**                  |
| Un_labdep                                                                                                  | N° laboratori e depositi non riscaldati                                                                                                               | Rilievo urbano**                  |
| Un_altr                                                                                                    | N° di unità per altri usi non riscaldati                                                                                                              | Rilievo urbano**                  |
| Wall_color                                                                                                 | Colore prevalente delle pareti esterne: chiaro, medio, scuro                                                                                          | Rilievo urbano                    |
| Fin_tipo                                                                                                   | Tipologia prevalente di finestre, selezionate tra i tipi dell'abaco                                                                                   | Rilievo urbano*                   |
| Chiu_tipo                                                                                                  | Tipologia prevalente di chiusure delle finestre, selezionate tra i tipi dell'abaco                                                                    | Rilievo urbano*                   |
| Stato di conservazione generale                                                                            | Valutazione dello stato di conservazione generale: scarso, mediocre, buono, ottimo (dato opzionale non direttamente coinvolto nel calcolo energetico) | Rilievo urbano*                   |
| * attributo facilmente riconducibile nella definizione di tipologia di involucro                           |                                                                                                                                                       |                                   |
| ** attributo ricavabile da analisi del DB del Catasto                                                      |                                                                                                                                                       |                                   |

Seguono le figure 4.58-59, che mostrano la distribuzione geografica dei tipi edilizi nell'area di studio e di alcuni dei parametri oggetto di rilievo urbano: esse rappresentano un esempio delle mappe che è possibile estrarre da DB di base del progetto.



#### Periodi di costruzione ISTAT nell'area studio

- ☒ tra 1919 - 45
- ☒ tra 1946 - 60
- ☒ tra 1961 - 70
- ☒ tra 1971 - 80
- ☒ tra 1981 - 90
- ☒ tra 1991 - 00
- ☒ tra 2001 - 05
- ☒ tra 2006 - 10
- ☒ tra 2011 - 15

#### Periodi di costruzione

| N° | ISTAT       | Ortofoto RAS |
|----|-------------|--------------|
| 1  | Ante 1919   | Ante 1955    |
| 2  | 1919 - 45   |              |
| 3  | 1946 - 1960 | 1955 - 1968  |
| 4  | 1961-1970   |              |
| 5  | 1971-1980   | 1969 - 1977  |
| 6  | 1981-1991   | 1978 - 1998  |
| 7  | 1991-2000   |              |
| 8  | 2001-2005   | 2003 - 2005  |
| 9  | 2006-2010   | 2006-2008    |
| 10 | 2011 - 2015 | 2013         |
| 11 | Oltre 2016  | Google Map   |

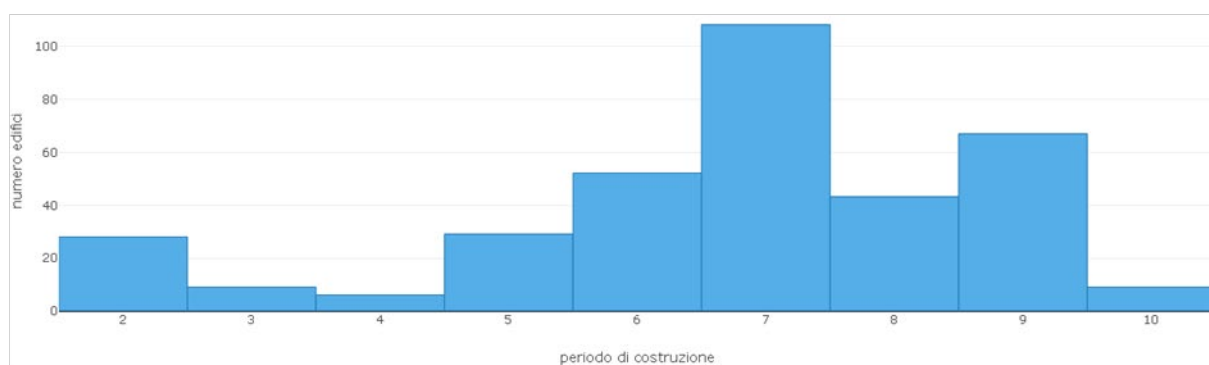
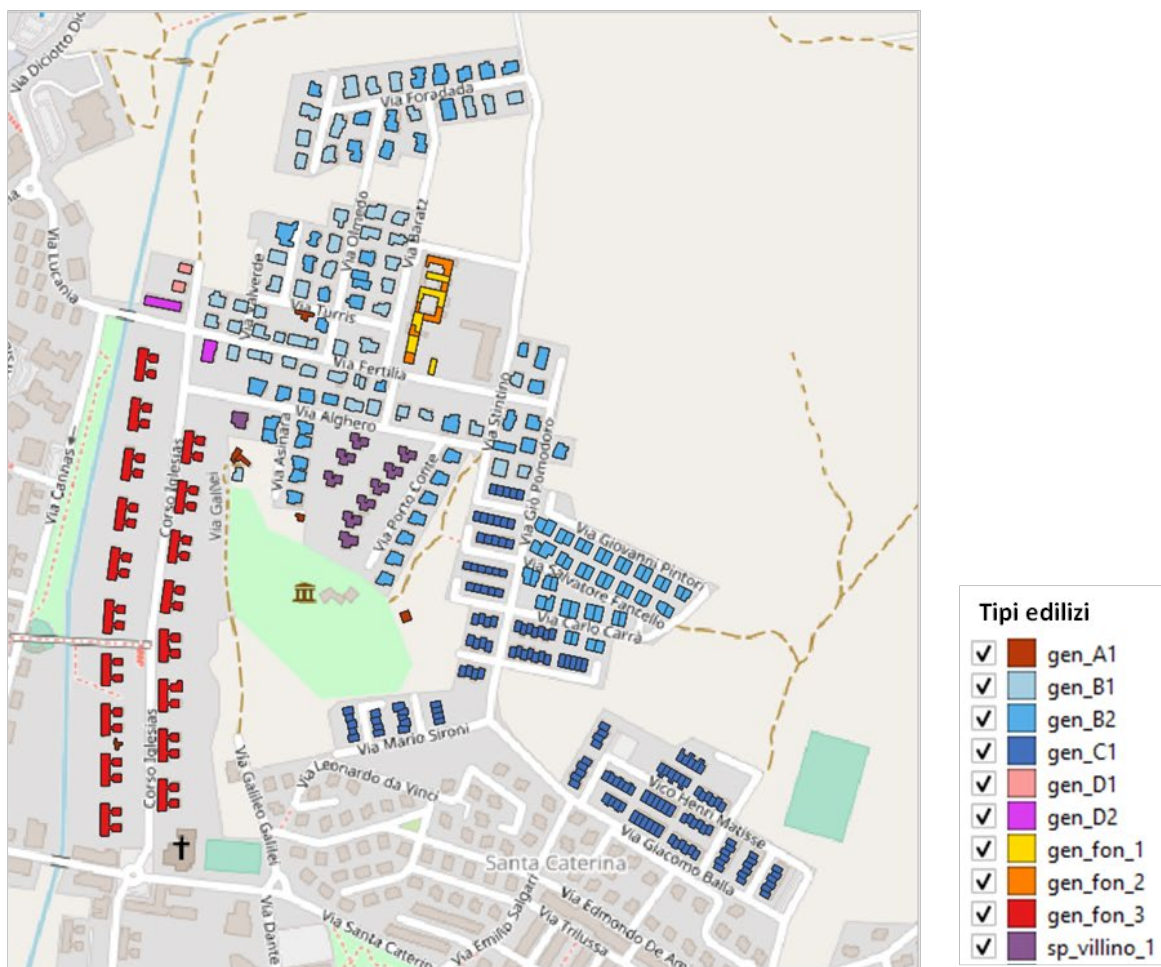


Figura 4.58 – Mappa dei periodi di costruzione e grafico del numero di edifici per periodo



| tipo       | Descrizione                                                                                         |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| gen_A1     | edificio storico tradizionale (case a corte, medau)                                                 |
| gen_B1     | villino tipo A: edilizia mono o bi-familiare sul lotto privato                                      |
| gen_B2     | villino tipo B: edilizia mono o bi-familiare sul lotto privato                                      |
| gen_C1     | schiera: edilizia di abitazioni monofamiliari aggregate                                             |
| gen_D1     | palazzina: edilizia plurifamiliare oltre 3 piani isolato nel lotto                                  |
| gen_D2     | edificio in linea: edilizia plurifamiliare oltre 3 piani aggregata in linea                         |
| gen_D3     | edificio a blocco: edilizia plurifamiliare oltre 3 piani allineata su filo strada con corte interna |
| sp_fon_1   | edilizia ad 1 livello della fondazione                                                              |
| sp_fon_2   | edilizia a 2 livelli della fondazione                                                               |
| sp_fon_3   | edilizia a pluripiano della fondazione, (tipo specifico: O/5)                                       |
| sp_villino | tipo specifico: villino ad un livello anni 80                                                       |

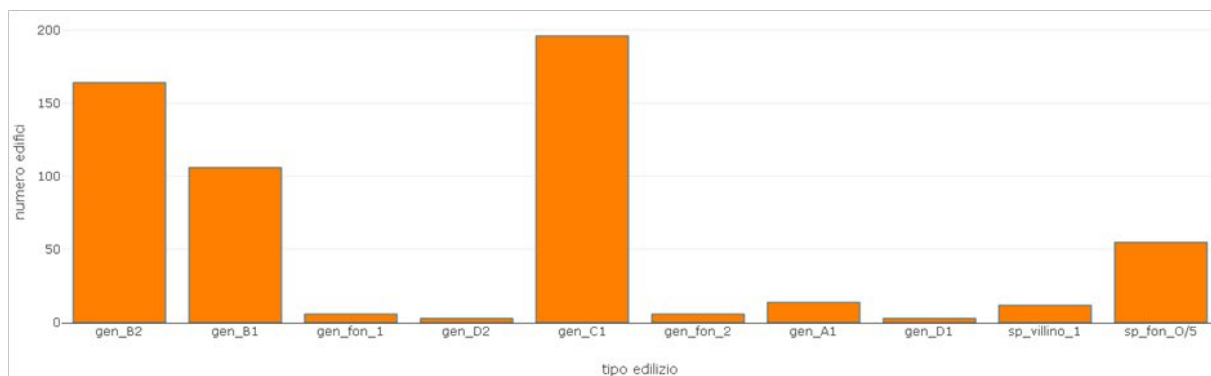


Figura 4.59 – Mappa delle tipologie edilizie e grafico del numero di edifici per tipo

#### 4.5.3 Strumenti di pre-processing

Gli strumenti GIS impostati per questa fase preliminare (tool A1) supportano nella assegnazione dei codici univoci a tutti gli elementi geografici che prendono parte alla modellazione energetica (UE, VE, lotti, etc), in modo da permettere di collegare in maniera corretta tutti gli elementi apparenti allo stesso corpo di fabbrica. Il tool (A2\_Volumi Superfici) effettua i calcoli geometrici di base per ogni VE e li raggruppa per unità edilizia, e in particolare sono calcolati:

- le altezze alla gronda e del tetto da cui ricava i volumi e le superfici utili lorde dei VE che sono poi raggruppate per UE;
- i numero di piani climatizzati, che poi sono utilizzati per stimare le superfici e i volumi climatizzati.

Il calcolo dei volume delle altezze effettuato dal tool A2 è banale e utilizza gli attributi delle quote contenuti nei VE del DBG T RAS e l'area dei poligoni calcolata dal GIS stesso.

Una procedura specifica è stata sviluppata per ricavare i livelli climatizzati basata su tre variabili rilevati tramite rilievo urbano per ogni VE:

- n° livelli (fuori terra più quelli interrati - seminterrati ed esclusi i sottotetti);
- base tipo, che assegna il tipo di attacco al suolo (che in alcuni casi sono seminterrati abitabili e perciò considerati climatizzati);
- sottotipo, che assegna il tipo di confine superiore della zona termica (che in alcuni casi sono sottotetti abitabili e perciò ritenuti climatizzati).

Il numero di livelli climatizzati determina la superficie utile climatizzata, applicando i valori di incidenza della superficie utile contenuti nella definizione tipologica (Rs\_plant, Rs\_sott, Rs\_Basem) se disponibili, altrimenti utilizzando le formule della normativa già presentate in metodologia.

Il calcolo delle volumetrie riscaldate mostra il forte peso dei palazzi storici O/5 e delle villette più recenti (gen B2) che, con circa il 30% a testa, comprendono oltre il 60% del totale; seguono le tipologie a schiera e le villette più datate (gen B1) con circa il 18% e il 16% del totale rispettivamente. I volumi climatizzati appartenenti agli edifici delle altre tipologie non raggiungono il 7% del totale (figura 4.60).

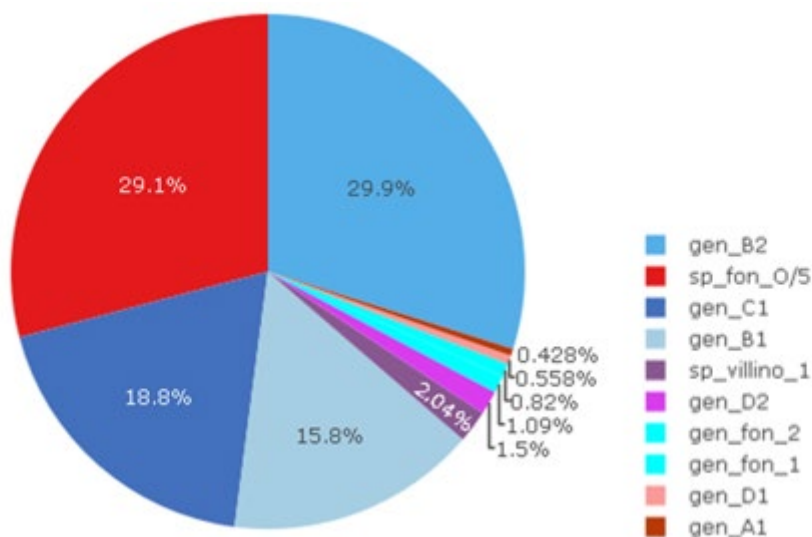


Figura 4.60 – Ripartizione del volume riscaldato per tipo edilizio

Il tool A2 effettua anche un procedura automatica di conforto e il calcolo di una nuova quota (ag\_r) di base dei volumi edilizi, volta ad aumentare la coerenza tra le altezze ricavate dal DBG T e i livelli fuori assegnati in sede di rilievo. Confrontando hb ( $hb = ab - ag$ ) con una hlim ottenibile con la moltiplicazione dei livelli fuori terra rilevati per le altezze dell'interpiano inserite nella definizione tipologica, si possono notare differenze non trascurabili, anche su edifici realizzati in serie (figura 4.61). Si può notare come le differenze siano generalmente

all'interno dei +/- 2m, ma non mancano i casi con differenze maggiori anche nel caso di edifici realizzati in serie, come i gli O/5, della fondazione (gen\_fon\_3).

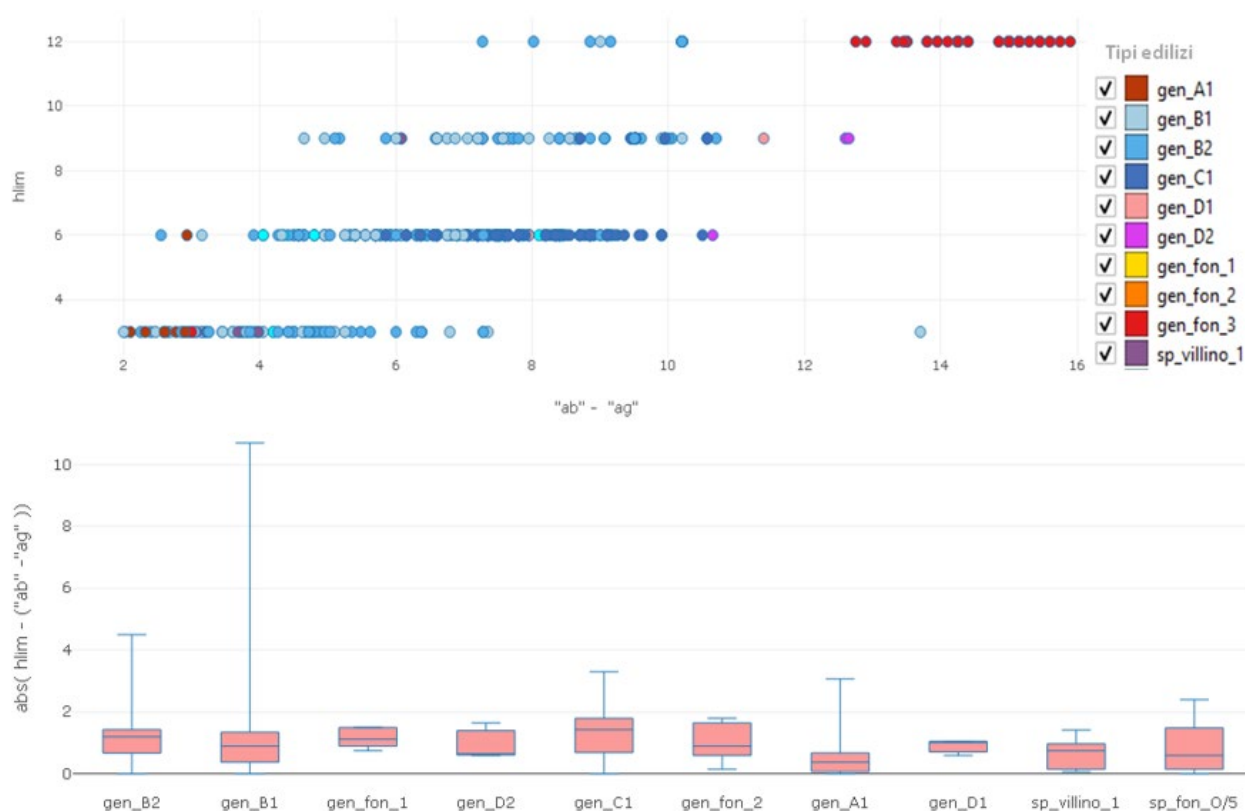


Figura 4.61 - Confronto tra *hlim* e *hb* = *ab* - *ag*

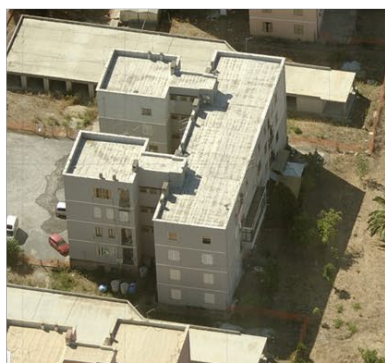
Esaminando le casistiche di alcuni edifici realizzati in serie presenti nell'area di studio (O/5), si può notare come la morfologia del terreno circostante possa influenzare la definizione della quota di base, generando scostamenti non sempre trascurabili su corpi di fabbrica che invece sono realizzati in maniera molto simile. Molti edifici non si elevano direttamente dalla quota del suolo, ma possono avere basamenti più o meno alti e/o parzialmente interrati, che non costituiscono volume edilizio residenziale, ma influiscono sulla quota di base dei VE (figura 4.62). Si può notare come pur confrontando tra loro i volumi simili, ossia quelli a pianta rettangolare da una parte e dall'altra quelli a base quadrata, le quota del DBGT possano comunque mostrare delle discordanze tra loro non trascurabili circa tra il 1m ed il 1,8m.

Esaminando alcune casistiche di edifici generici presenti nell'area studio (figura 4.63), oltre all'attacco al suolo, un altro elemento morfologico che genera incongruenze è il sottotetto: in caso di copertura piana la linea di gronda può essere considerata sostanzialmente coincidente con l'altezza dell'edificio, ma questo non si può sempre affermare in caso di coperture oblique:

- nel caso a) di figura 4.63 si ha una morfologia di copertura molto variabile, con presenza di sottotetti non riscaldati, che non hanno una quota di gronda univoca. Il DBGT riporta due VE ed un Par che rappresenta le scale e, nonostante entrambi i VE abbiano lo stesso numero di livelli, la quota della gronda in un caso è superiore a quella dell'ultimo solaio e nell'altro è inferiore;
- nel caso b) di figura 4.63, nei casi di una morfologia di copertura semplici senza sottotetto, che individuano delle quote di gronda piuttosto congruenti con l'altezza dell'interpiano, il DBGT riporta un solo VE avente un livello seminterrato e uno fuori terra con il Par delle scale, nonostante siano abbastanza riconoscibili due coperture aventi due quote di imposta abbastanza differenti;
- nel caso c) di figura 4.63, è presente un sottotetto considerabile come abitabile ed è presente una quota della gronda maggiore di quella del solaio dell'ultimo livello completo. Il DBGT riporta correttamente un

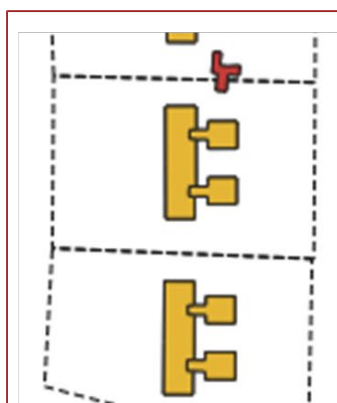
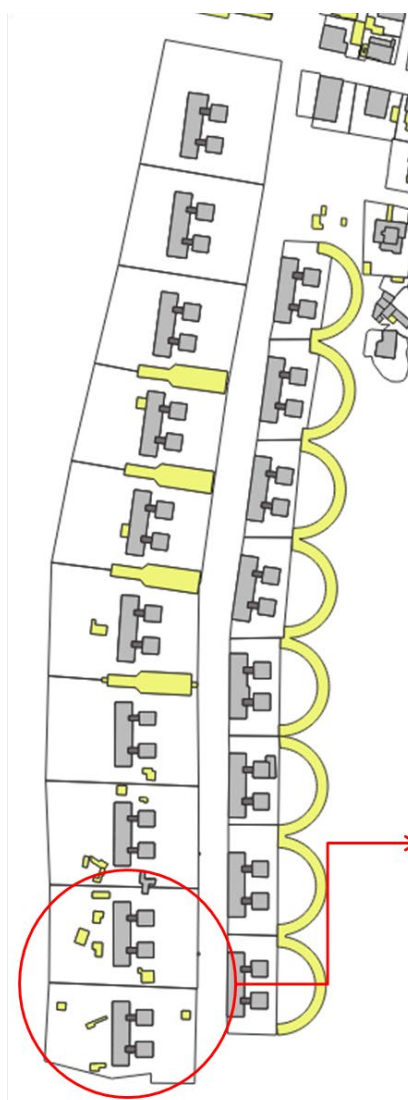
VE relativo alla copertura inclinata con sottotetto e uno per la parte di edifici con copertura piana. È presente il poligono che rappresenta la rampa di accesso al seminterrato.

In presenza di sottotetti la quota di gronda può essere più alta della quota dell'ultimo solaio, mentre, in caso di ultimo solaio obliquo, l'imposta può essere anche inferiore a quella dell'interpiano medio. Tali incoerenze possono essere poi maggiori in caso di terreno acclive o corpi di fabbrica addossati tra loro e/o con copertura di forma complessa per i quali spesso può essere necessario una procedura di controllo specifico.

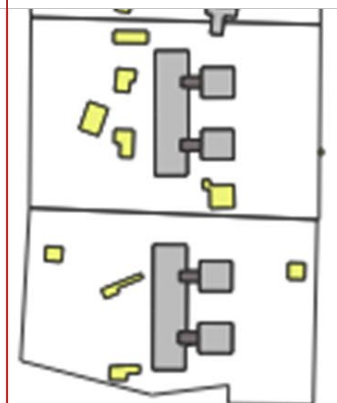


Le quote rilevate possono essere influenzate da Volumi accessori realizzati tramite variazione della quota del piano di campagna

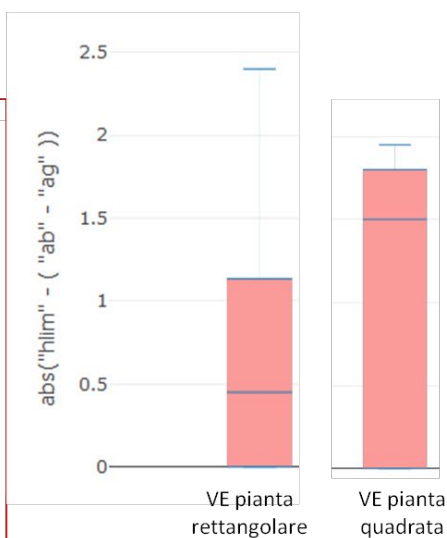
I due VE che costituiscono l'edificio hanno lo stesso numero di piani residenziali, ma quello a pianta quadrata mostra un semi-interrato parzialmente fuori terra creando differenze tra hlim e hb.



VE del DBGT, con due volumi



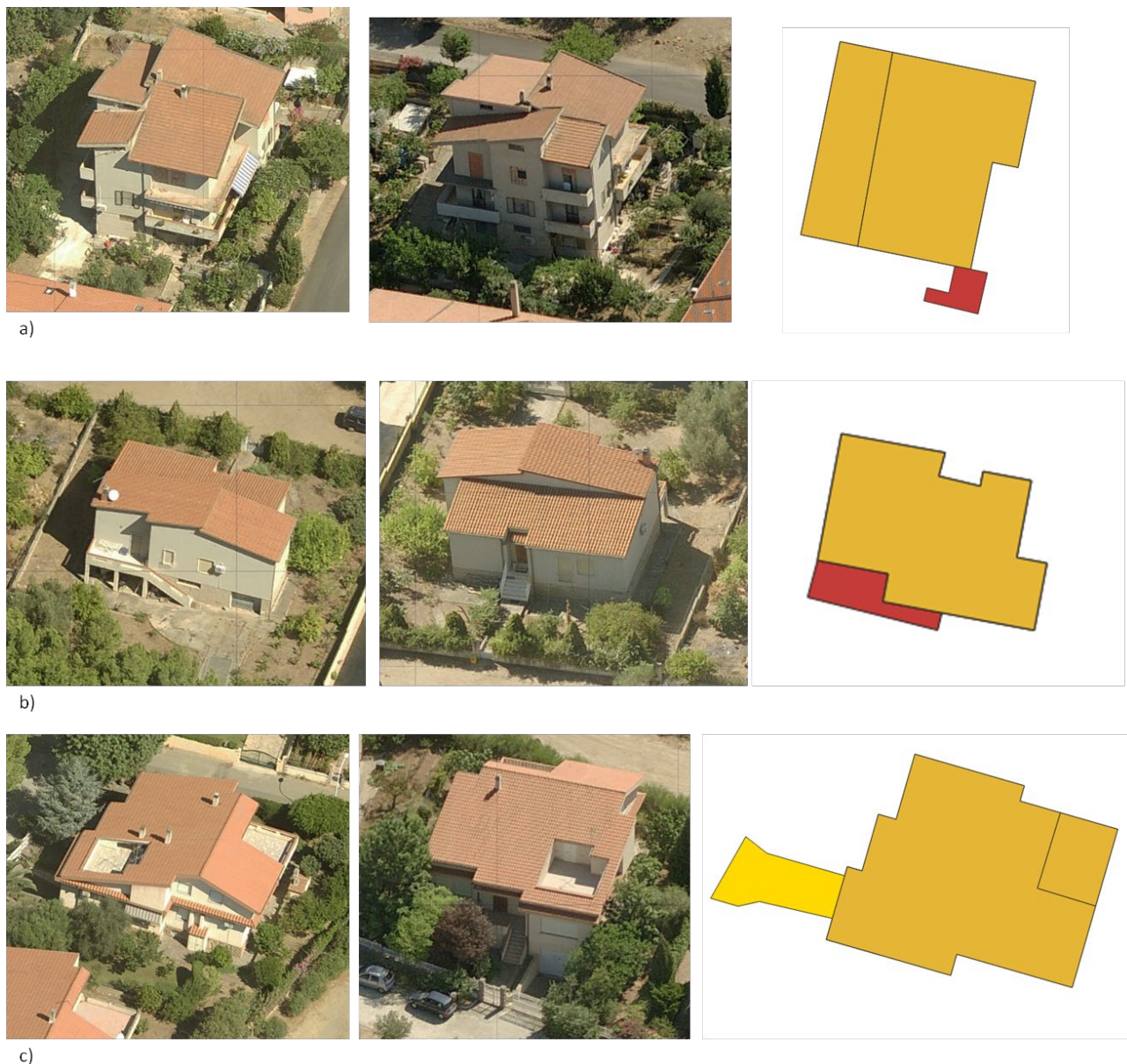
VE per i'UBEM, tre VE



L'edificio è rappresentato topograficamente nel DBGT con due VE aventi quota di colmo differenti, per lo sviluppo dell'UBEM si sono individuati tre elementi per esplicitare i corpi scala centrali come volumi non riscaldati.

- ☒ **A3\_Base\_geometrica\_tipo\_manufatto**
- ☒ Volumi non Riscaldati
  - ☒ Volumi Riscaldati
  - ☒ altri manufatti
  - ☒ Lotto

Figura 4.62 - Confronto tra rappresentazione topografica degli edifici O/5 e la base geometrica dell'UBEM



**Figura 4.63 - Confronto tra la rappresentazione topografica di alcuni edifici isolati**

È stata impostata una procedura al fine di limitare di errori grossolani della base cartografica. La procedura identifica gli edifici con uno scostamento maggiore tra  $h_{lim}$  e  $h_b$  e propone un'altra quota di  $ag_r$ , che sarà anche utilizzata per determinare le superfici verticali disperdenti verso terra. L'applicazione della procedura limita le differenze tra le due quote, soprattutto elimina i casi di errore grossolano portando la massima differenza tra le due altezze a meno di 2,5m, ossia l'altezza spesso afferibile ai livelli seminterrati, ma la varianza rimane comunque alta, perciò questo aspetto sarà oggetto delle procedure di validazione della metodologia del prossimo anno (figura 4.64).

Riassumendo i risultati dei tool sono tre layer che costituiscono i dati input della procedura di analisi delle geometrie:

- *A1\_Base\_geometrica*: unione dei VE, Par, Man e lotto del DBGT provvisti di opportuni codici
- *A2\_BV\_Volumi\_Supecfici*, geometrie dei VE, con i volumi e superfici utili lorde e climatizzate
- *A2\_BB\_Volumi Superfici*, geometrie delle UE, con la sommatoria per unità edilizie dei volumi e superfici utili lorde e climatizzate

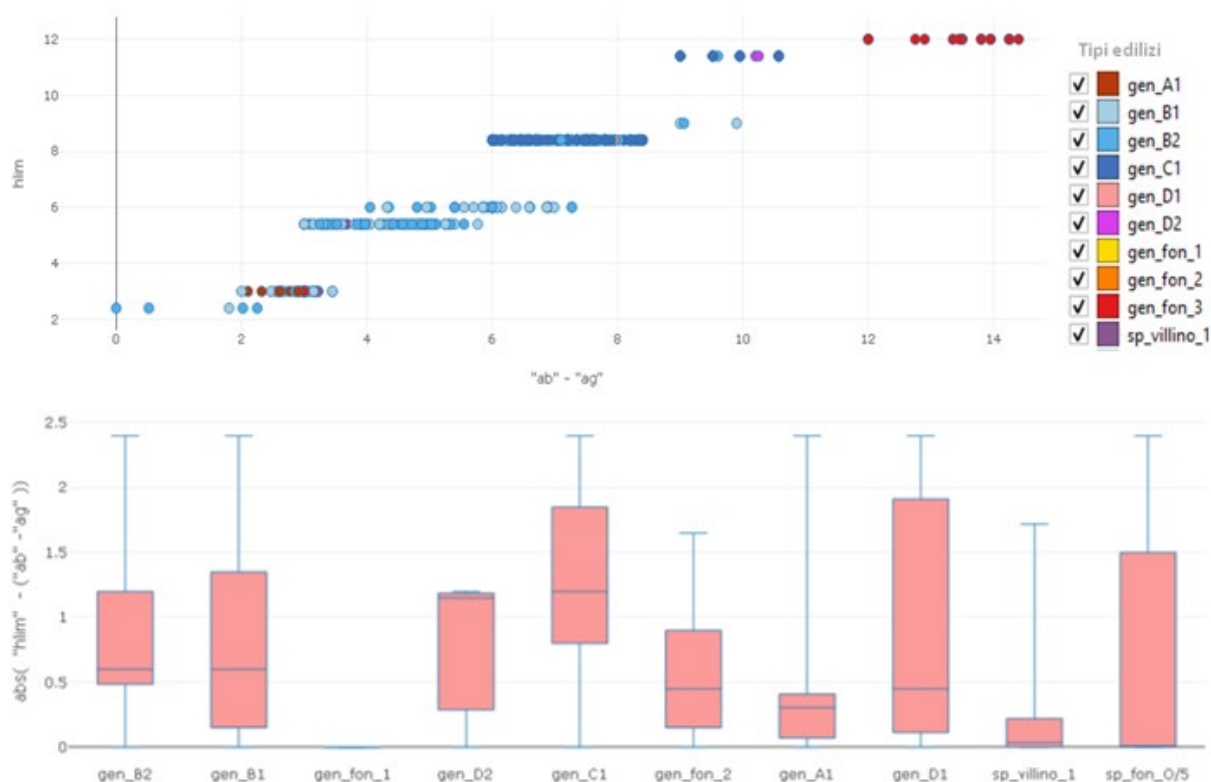


Figura 73 - Confronto tra *hlim* e *hb = ab - ag* dopo l'uso della procedura

#### 4.5.4 Risultati delle analisi geometriche: superfici disperdenti e ombreggiamento

In questo paragrafo si presenta una sintesi dei risultati degli algoritmi (tools B) per l'analisi geometrica degli edifici, che serve per impostare tutti i parametri relativi alla superfici disperdenti costituenti la base per il calcolo energetico standard (UNI 11300). Si tratta di un gruppo di algoritmi che comprendono sia calcoli analitici standard sia routine di geo-processing, che si basano sui files impostati secondo precisi requisiti nella fase di pre-processing, e che perciò si configurano come procedure che possono essere applicate già così come sono in altri contesti.

Costituiscono i dati di input per l'analisi geometrica gli elementi ricavati nella fase dei pre-processing e alcune tabelle della normativa:

- la base geometrica, unione dei VE, Par, Man e lotto del DBGT provvisti di opportuni codici;
- le unità edilizie, ricavate sulla base delle attività manuali di pre-processing
- i modelli DSM, aggiornati sulla base dello stato attuale;
- i tipi edilizi dell'involucro, tabelle con i dati che definiscono il tipo edilizio
- tabelle della normativa: irraggiamento solare, fattori di schermatura.

La grafica (figura 4.65) mostra i risultati dei tools eseguiti in sequenza, prendendo come esempio un gruppo di edifici. La fase di analisi geometrica parte dai volumi edilizi, ricava i segmenti rappresentanti le facciate e effettua per ognuno di essi alcuni test di adiacenza per ricavare le superfici disperdenti e gli ambienti confinati. Poi, dopo avere calcolato la direzione azimutale della normale uscente di ogni superficie disperdente esterna, viene effettuata una analisi dell'ombreggiamento basata sulla procedura standard. La procedura richiede un angolo di ostruzione medio basato sul contesto e assegna il fattore di riduzione solare attraverso le tabelle semplificative della normativa. Infine questo gruppo di tools calcola per ogni facciata l'irraggiamento giornaliero medio mensile per unità di superficie, che poi sarà utilizzato nel calcolo energetico per determinare i guadagni solari degli edifici.

In altre parole questo toolset ricava tutti i dati di ingresso della metodologia che non dipendono dalle caratteristiche dei materiali e che possono considerarsi fissi anche in caso di retrofit energetico, salvo che questo non modifichi la forma o la posizione del stesse dell'edificio.

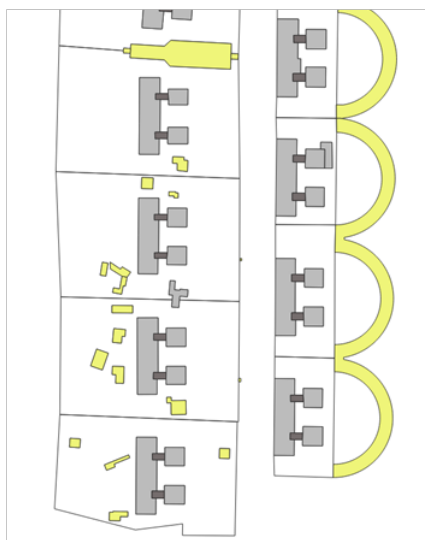
L'adattamento della procedura standard (11300) ha necessitato lo sviluppo di una procedura specifica per la valutazione dell'ombreggiamento alla scala urbana tramite strumenti GIS, che è stata implementata nel toolset B. Il parametro principale su cui si basa la valutazione dell'ombreggiamento generato dal contesto urbano è l'angolo di ostruzione per elementi esterni, calcolato col tool B2 per ogni facciata. Si mostra uno schema (figura 4.66) del funzionamento del tool, tramite la rappresentazione dei risultati dei principali step di calcolo per uno stralcio dell'area di studio.

Le immagini mostrano la base geometrica (figura 4.66 -a) e i punti quotati del contesto (figura 4.66 – d), che costituiscono gli input della procedura; le altre mostrano i coni visuali per la selezione dei punti appartenenti ai profili di vista di ogni facciata (figura 4.66 b-c- e), mentre l'ultima mostra come il tool valuti tutte le superfici esterne per ogni VE del contesto di studio (figura 4.66 –e).

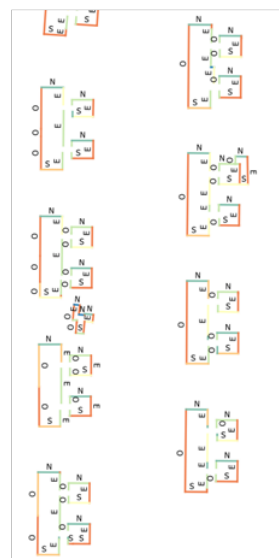
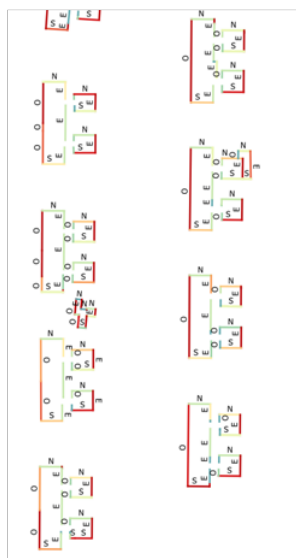
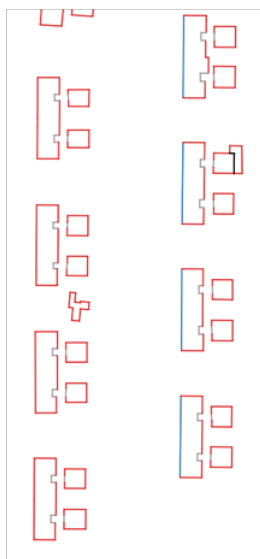
Al fine di limitare il carico computazionale in questa fase di sperimentazione della procedura si è settata una ampiezza della vista a  $\beta = \pm 30^\circ$ , perché gli ostacoli nei pressi della normale della facciata sono molto più influenti nella determinazione della radiazione diretta. La determinazione di un'ampiezza ottimale sarà oggetto delle successive procedure di validazione del modello.

Gli output della fase di analisi geometrie sono perciò:

- *B1\_FA\_superfici\_disperdenti, facciate con analisi elementi confinanti, superfici e orientamento*
- *B1\_BV\_Volumi riscaldati corretti*
- *B1\_BB\_Superfici\_disperdenti, somma per edificio delle superfici disperdenti*
- *B5\_FA\_ExFhor, fattori di vista del cielo per il calcolo dell'extraflusso verso la volta celeste*
- *B6\_BV\_Isolo, B6\_FA\_IsolEV\_IsolSV: file con irraggiamento unitario che considera anche l'ombreggiamento*



| Base geometrica                     |                       |
|-------------------------------------|-----------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Volumi non Riscaldati |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Volumi Riscaldati     |
| <input checked="" type="checkbox"/> | altri manufatti       |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Lotto                 |



#### Pareti disperdenti: ambiente confinante

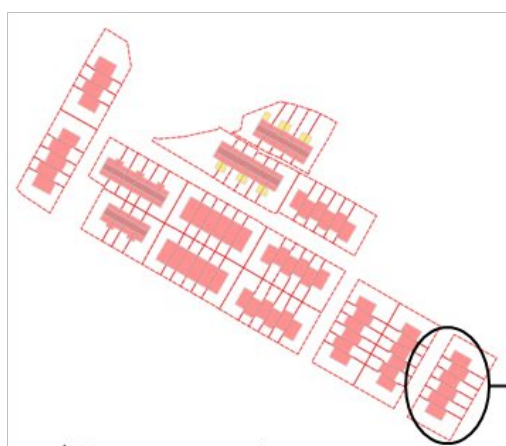
|                                     |                                                      |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | — verso volume riscaldato                            |
| <input checked="" type="checkbox"/> | — verso volume non riscaldato                        |
| <input checked="" type="checkbox"/> | — verso tettoia o volume aperto                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> | — verso lotto o altro elemento considerabile esterno |
| <input checked="" type="checkbox"/> | — verso strada                                       |

#### Pareti Esterne Fattore solare Fhor annuale medio

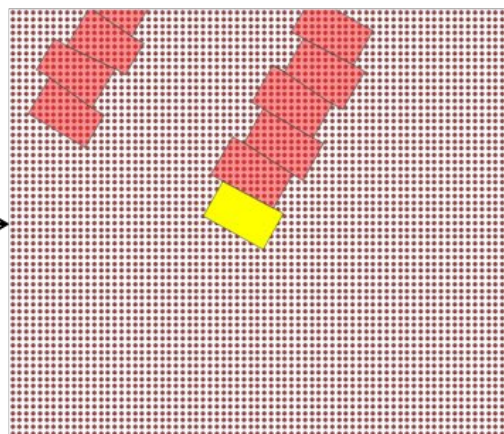
|                                     |             |
|-------------------------------------|-------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | 0 - 0,3     |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 0,3 - 0,4   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 0,4 - 0,5   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 0,5 - 0,6   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 0,6 - 0,7   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 0,7 - 0,8   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 0,8 - 0,85  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 0,85 - 0,9  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 0,9 - 0,95  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 0,95 - 0,99 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 0,99-1      |

#### Pareti Esterne Irraggiamento medio annuale con fattore di ombreggiamento [kWh/mq]

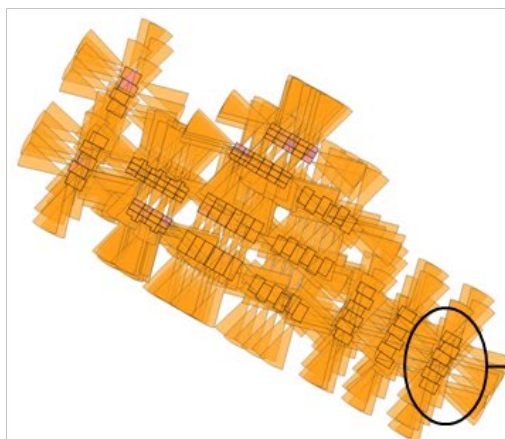
|                                     |             |
|-------------------------------------|-------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | minore 200  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 200 - 400   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 400 - 600   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 600 - 800   |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 800 - 1000  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | 1000 - 1200 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | oltre 1200  |



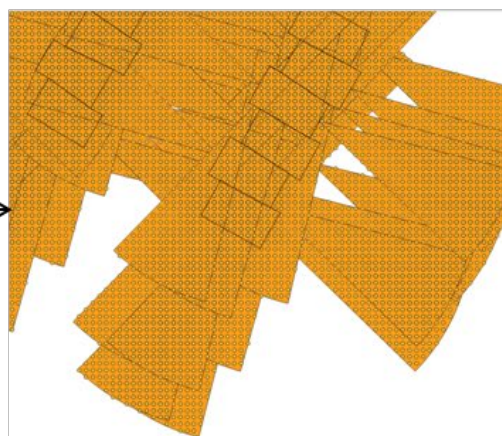
a) Base geometrica



d) Zoom con Base geometrica e modello DSM in Punti



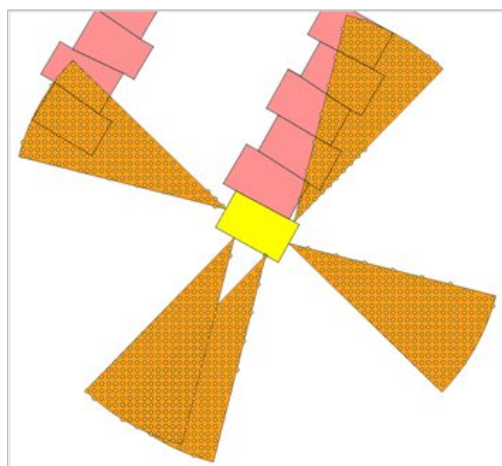
b) Creazione dei coni visivi



e) Zoom con coni visivi e punti selezionati



c) Punti selezionati dalle viste



f) Esempio di punti selezionati di un Volume Edilizio

**Figura 4.66 – Esempio di funzionamento del tool b2 per il calcolo degli angoli di ostruzione**

#### 4.5.5 Risultati dei calcoli di fabbisogno energetico e di prestazione

In questo paragrafo si presenta una sintesi dei risultati degli algoritmi che eseguono il calcolo energetico vero e proprio divisi in due gruppi: i tools C che eseguono tutti calcoli dei fattori di scambio termico, compresa la determinazione della stagione di riscaldamento e rinfrescamento per ogni edificio, i tools D) ed E) che calcolano il fabbisogno termico e le prestazioni energetiche.

Come già argomentato nella parte metodologica, questi algoritmi eseguono formule molto simili a quelle della normativa: qui si presentano i risultati ottenuti tramite l'esecuzione degli algoritmi, ma si rimanda alla prossima annualità per una validazione degli stessi, tramite il confronto sia con la modellazione energetica per tipo edilizio sia con i risultati dei questionari aperti alla cittadinanza.

I risultati di seguito presentati sono inoltre basati su uno studio tipologico preliminare che si raffinerà con i dati raccolti tramite il portale e sulla base degli studi effettuati parallelamente in altre linee di attività (LA 1.32), perciò hanno una valenza prettamente esemplificativa della potenzialità dell'approccio adottato e della coerenza interna dei calcoli eseguiti.

L'approccio prevede quindi di eseguire i tool seguendo l'ordine del calcolo proposto dalla normativa stessa: per ogni step si possono perciò ottenere delle mappe contenenti i principali risultati della normativa raggruppati per VE, per UE e talvolta per facciate (FA). Si riportano alcune sintesi dei risultati del fabbisogno netto per riscaldamento, per ACS e per rinfrescamento, seguiti dai risultati dei calcoli di prestazione energetica con le diverse ipotesi impiantistiche adottate.

##### 4.5.5.1 Fabbisogno netto per riscaldamento

La mappa riporta (figura 4.67) il fabbisogno netto al mq annuo per ogni edificio dell'area di studio, mentre il grafico successivo mostra la distribuzione delle frequenze degli edifici per classe di fabbisogno.

A una prima osservazione si può notare una sostanziale coerenza tra il periodo di costruzione e i valori di fabbisogno unitario: gli edifici realizzati tra la il 2010 e il 2015 mostrano i valori più bassi sia che siano schiere che edifici binati singoli, mentre gli edifici isolati di piccola dimensione mostrano i valori più alti.

I grafici a torta mostrano il peso complessivo del fabbisogno termico suddiviso per tipo edilizio e per anno di costruzione: si nota come gli edifici multi livello della fondazione O/5 siano responsabili di circa il 30% del fabbisogno dell'area, mentre circa il 50% sia da assegnare agli edifici isolati degli anni '60 – '70 – '80.

Gli edifici che mostrano un fabbisogno unitario più alto sono gli edifici singoli realizzati tra gli anni '70 e '90, mentre gli O/5 godono del vantaggio della forma più compatta attestando su un fabbisogno al mq annuo di circa [90-100 kWh/mq anno].

I grafici (figura 4.68) mostrano la variabilità del fabbisogno unitario per tipo edilizio e per periodo di costruzione, sostanzialmente coerente con la U-media dell'involucro calcolata per ogni edificio sulla base delle ipotesi effettuate nella impostazione delle tipologie edilizie. Escludendo alcuni valori estremi, per i quali sarebbe necessario una indagine specifica per capire se si tratti di errori dei dati di ingresso o risultati corretti, si nota come le tipologie edilizie caratterizzate da una maggiore variabilità di forma abbiano una maggiore variabilità dei risultati di fabbisogno. Gli edifici isolati di tipo B2 sono quelli che mostrano una variabilità maggiore e che anche per definizione sono caratterizzati da morfologie piuttosto variabili; seguono gli edifici isolati di tipo B1. Anche edifici storici mostrano una variabilità piuttosto alta, perché nella area di studio non vi sono molti corpi di fabbrica e quelli esistenti sono caratterizzati da forme molto variabili. I palazzi storici della fondazione O/5, così come gli altri tipi edilizi identificati con una tipologia più specifica (Villino 1, D1, D2) mostrano una certa convergenza nei risultati.

I grafici successivi (figura 4.69) pongono in relazione il fattore S/V con il fabbisogno unitario e sono rappresentati secondo i periodi di costruzione e le tipologie edilizie. La nuvola di punti mostra correttamente una dipendenza diretta, grossomodo lineare, tra le due variabili, inoltre si possono individuare aree dove si densificano i punti appartenenti alle diverse tipologie edilizie. I grafici successivi ripropongono la relazione esplicitando i valori per tipologia edilizia (figure 4.70-71).

In generale, nel caso dei tipi storici si ha un forte gradiente del fabbisogno netto rispetto al fattore S/V. Si nota il gruppo di punti assiepati dei palazzi O/5, mentre per gli altri tipi, per quanto siano meno numerosi, si evidenzia un grado di dipendenza specifica per tipo.

Il grafico de tipo di edificio isolato B1, caratterizzato da forme più compatte e regolari, mostra una nuvola di punti abbastanza compatta, anche se sono presenti casi particolari da studiare nello specifico. Tale nuvola di

punti potrebbe essere utilizzata per settare delle linee di tendenza, magari specificate anche per periodo di costruzione.

Il tipo isolato B2 è caratterizzato dalla maggiore variabilità nell'area di studio: il grafico evidenzia diversi gruppi abbastanza compatti relativi ai diversi periodi di costruzione. Il gruppo verde in basso è molto compatto in quanto si tratta di edifici molto simili tra loro (edifici monofamiliare binati con 2 livelli + seminterrato e sottotetto) tutti realizzati tra il 2005 ed il 2015. Come ci si aspetta, il gradiente di fabbisogno rispetto al fattore di forma è molto basso perché si tratta di edifici con involucri piuttosto efficienti. Parallelamente si nota un gruppo di edifici caratterizzato da un gradiente molto alto, che corrisponde ad edifici realizzati tra gli anni '80-'90 caratterizzati da alto fattore di forma e involucri poco efficienti. Al centro del grafico vi è una nuvola meno compatta di punti, che nella parte bassa mostra edifici realizzati tra gli anni '90 ed i primi del 2000 e nella parte alta esempi di edifici realizzati negli anni '70.

Esaminando le tipologie a schiera, che per definizione stessa sono caratterizzate da una forma molto simile tra loro, sono chiaramente riconoscibili i gradienti del fabbisogno riferiti ai diversi periodi di costruzione, che potrebbero anche essere utilizzati per identificare delle linee di tendenza specifiche. Infine nell'ultimo grafico sono riportati i punti relativi ai villini\_1, chiaramente visibili in alto, e poi alcuni altri punti relativi a tipi di edifici poco numerosi nell'area.

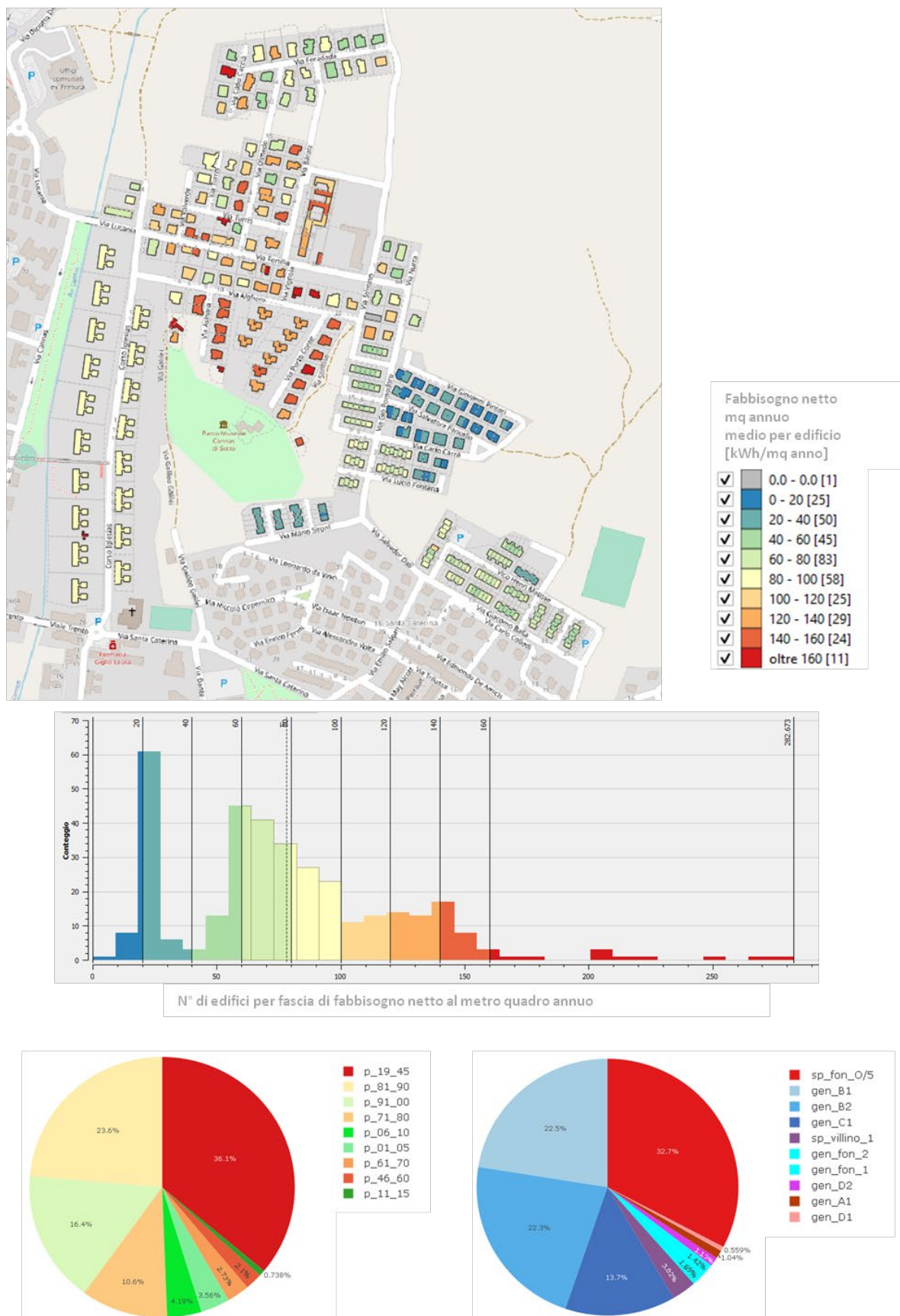
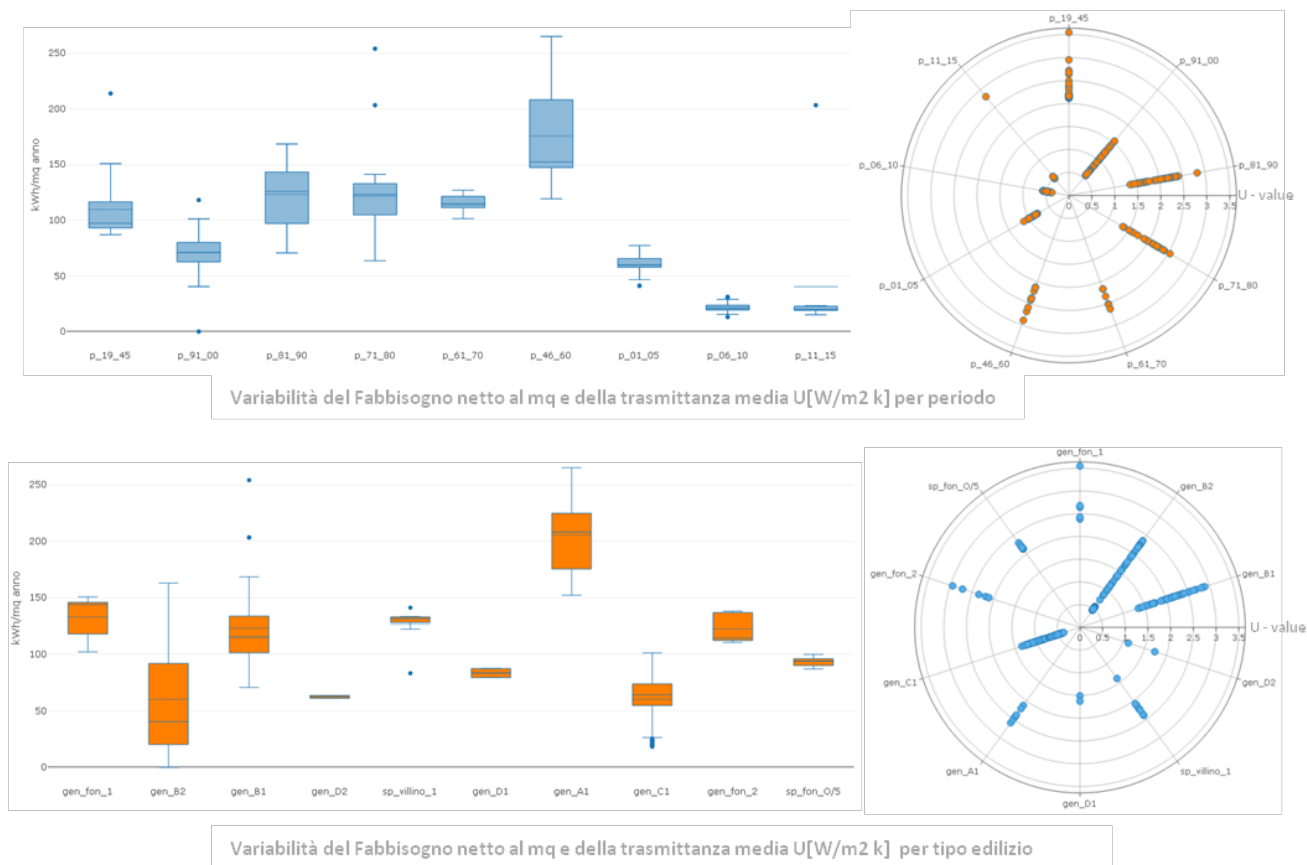


Figura 4.67 - Sintesi dei risultati di fabbisogno netto dell'involucro



**Figura 4.68 – Variabilità del fabbisogno netto dell’involucro per tipo edilizio, confronto con la U – Media**

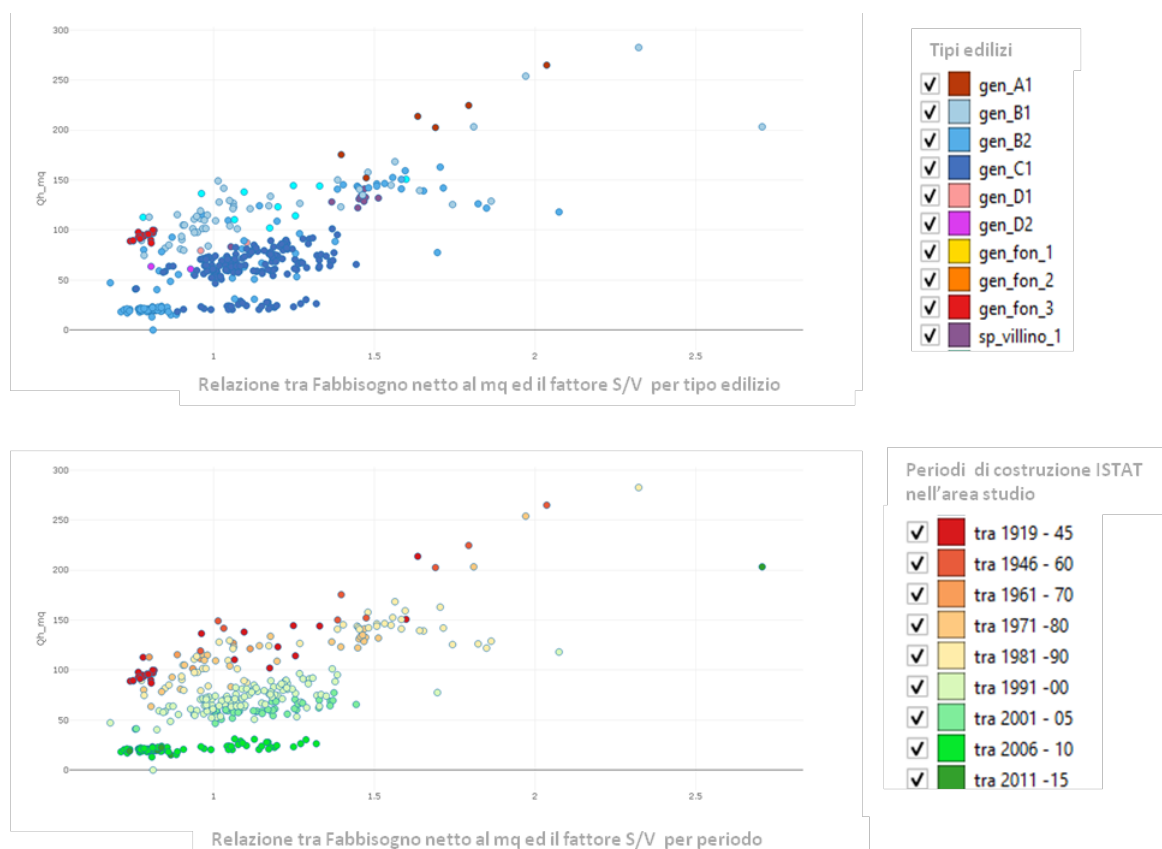


Figura 4.69 – Relazione fattore forma S/V e fabbisogno netto

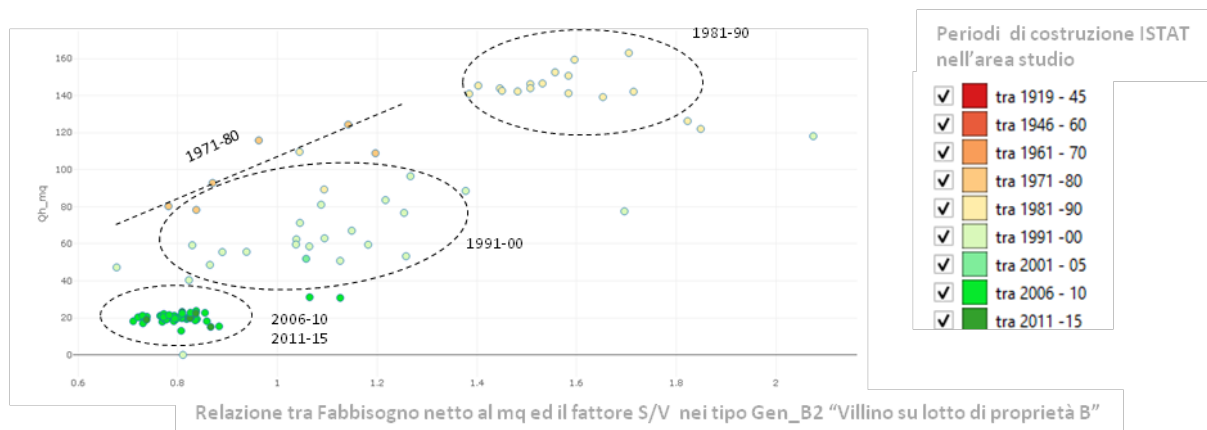
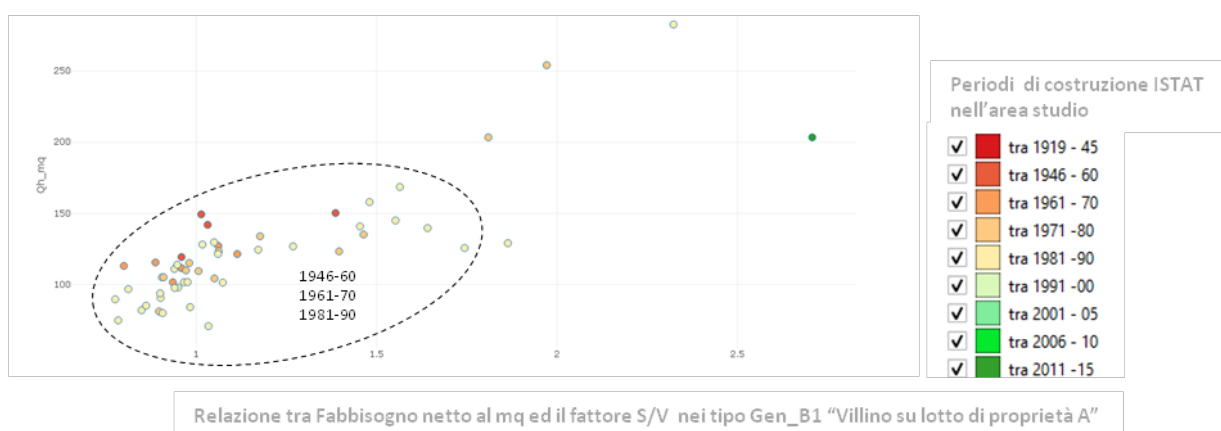
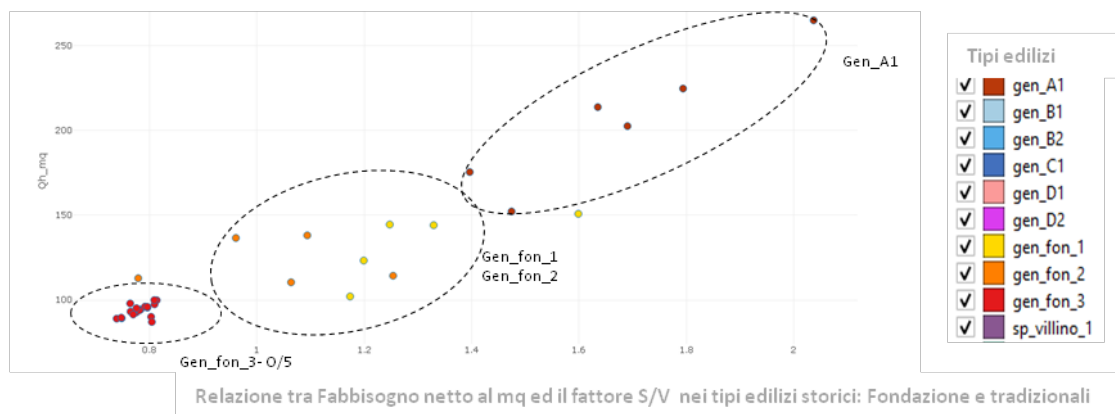
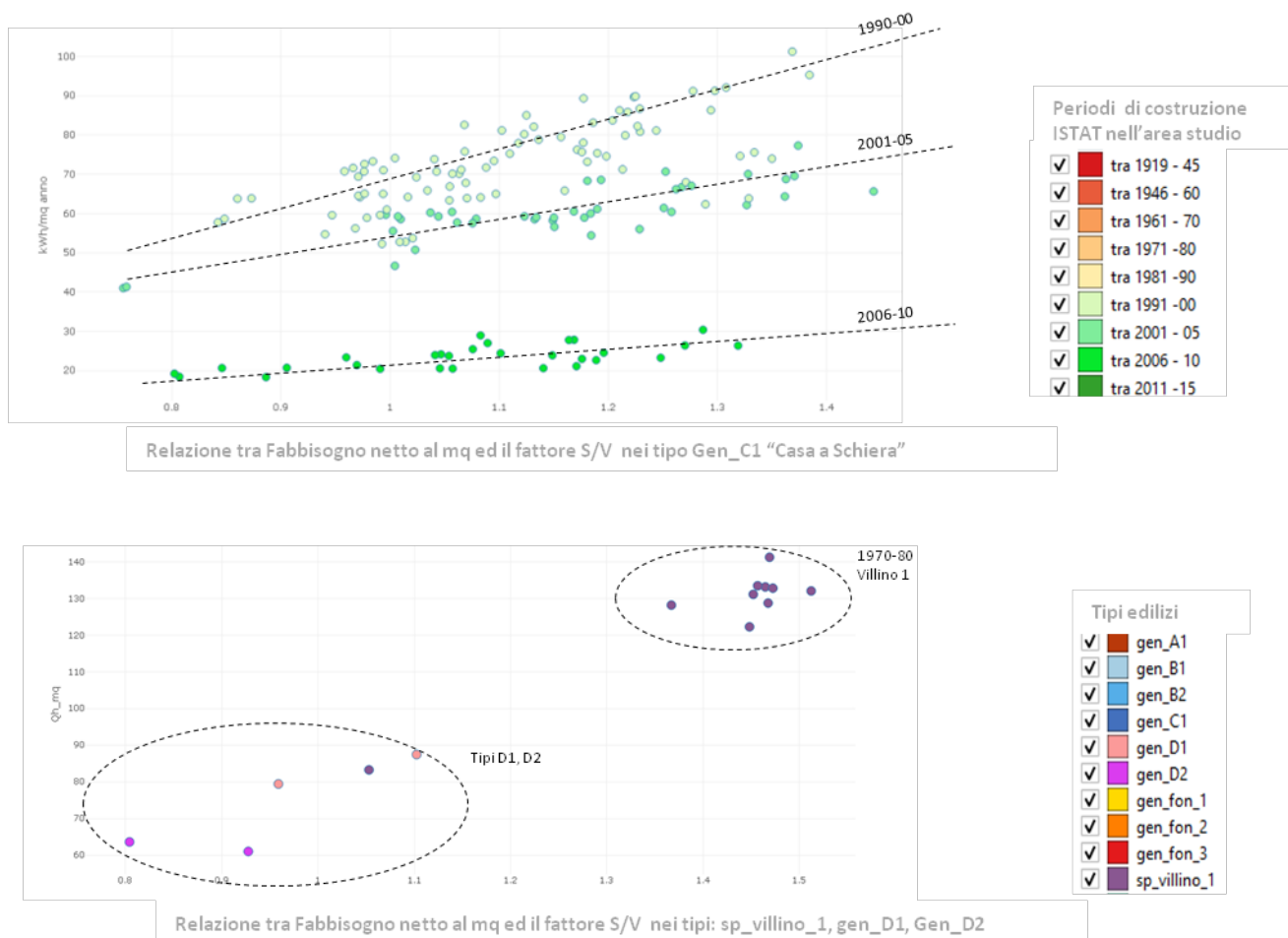


Figura 4.70 – Relazione fattore forma S/V e fabbisogno netto nelle tipologie storiche e negli edifici isolati Gen\_B1, Gen\_b2



**Figura 4.71 – Relazione fattore forma S/V e fabbisogno netto nelle tipologie a schiera e negli edifici aventi tipologie meno numerose nell'area di studio**

#### 4.5.5.2 Performance energetiche invernale

Utilizzando il fabbisogno netto calcolato in precedenza per ogni edificio, si sono ricavati i valori dei principali fattori che definiscono la performance energetica secondo l'approccio della normativa tecnica, utilizzando le ipotesi di impianti diffusi nel contesto adottate nell'approccio tipologico. Si sono calcolati per le tre soluzioni impiantistiche pompa di calore non recente, caldaia a GAS con termosifoni e senza impianto i seguenti parametri: fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per riscaldamento al mq annuo (EP<sub>nren</sub>), emissioni di CO<sub>2</sub> unitarie (CO<sub>2</sub>/mq anno) e costo operativo annuo (Euro/mq anno).

I grafici (figura 4.72) mostrano la variabilità dei parametri nelle diverse tipologie di edifici. I tre sistemi sono caratterizzati da efficienza molto differente: la caldaia mostra valori quasi doppi su tutti i parametri rispetto alle altre soluzioni, perciò è ampiamente quella caratterizzata da minore efficienza. Tuttavia si ricorda che si è ipotizzato un sistema caratterizzato da forte vetustà in tutte le sue componenti (distribuzione, emissione, regolazione generazione), perciò il risultato è abbastanza peggiorativo. Una migliore definizione dei sistemi impiantistici sarà disponibile tramite lo studio dei risultati del questionario. Utilizzando le ipotesi preliminari attuali si può notare che la soluzione senza impianto, pur avendo valori più bassi di EP<sub>nren</sub> e CO<sub>2</sub>, presenta una spesa unitaria paragonabile alla soluzione a pompa di calore, ma naturalmente implica una condizione di comfort generalmente insufficiente.

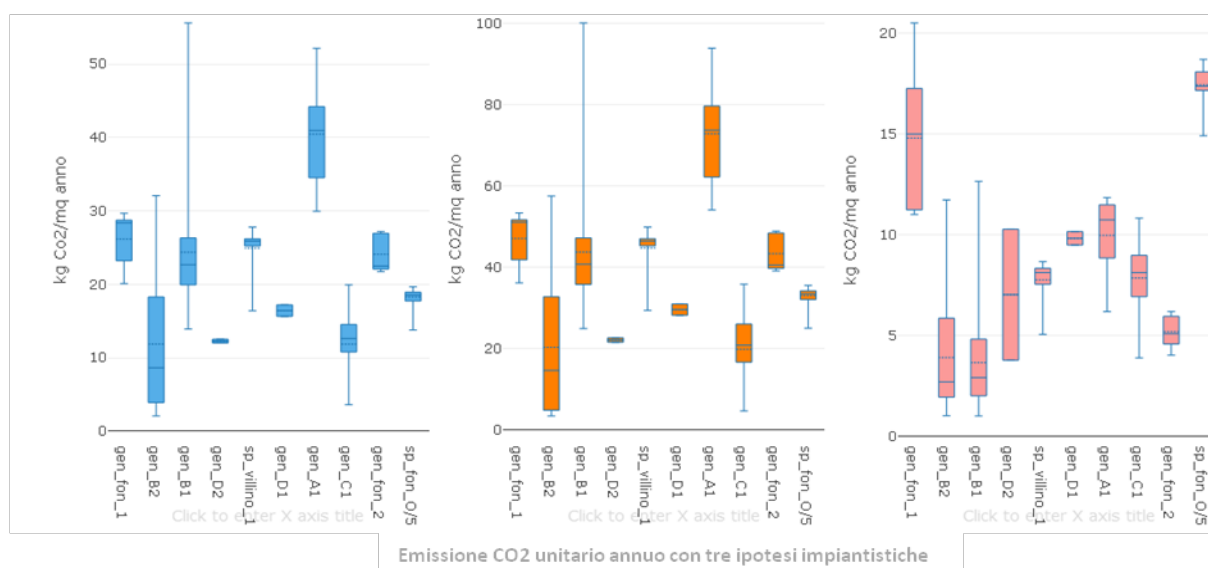
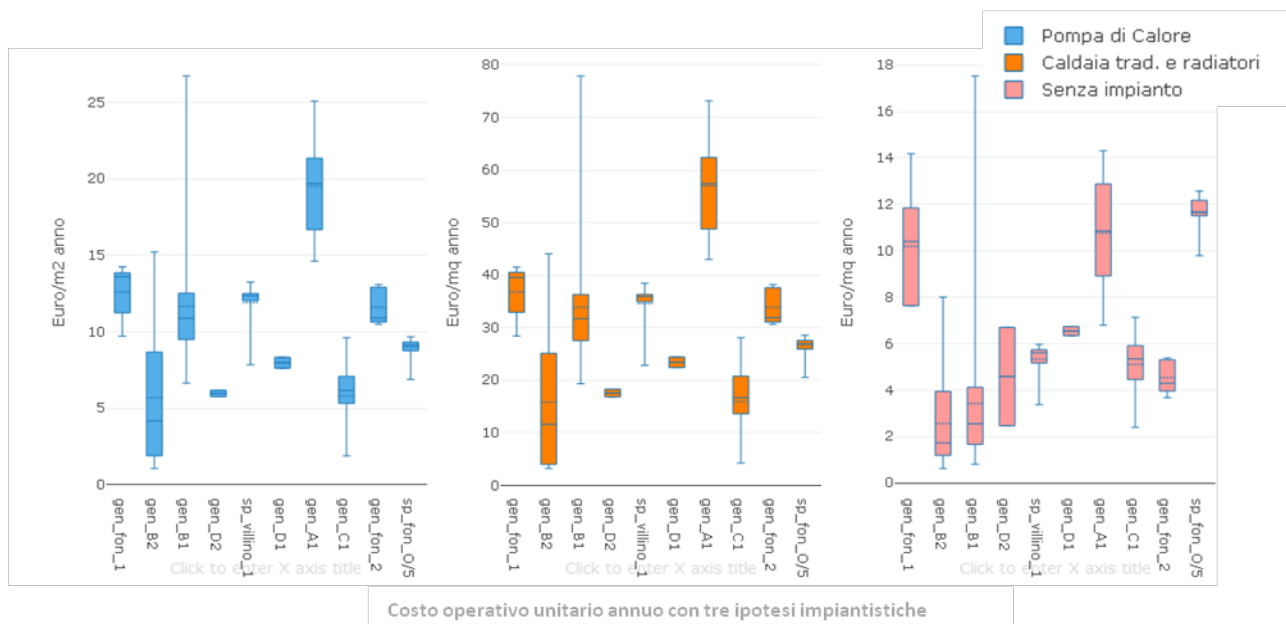
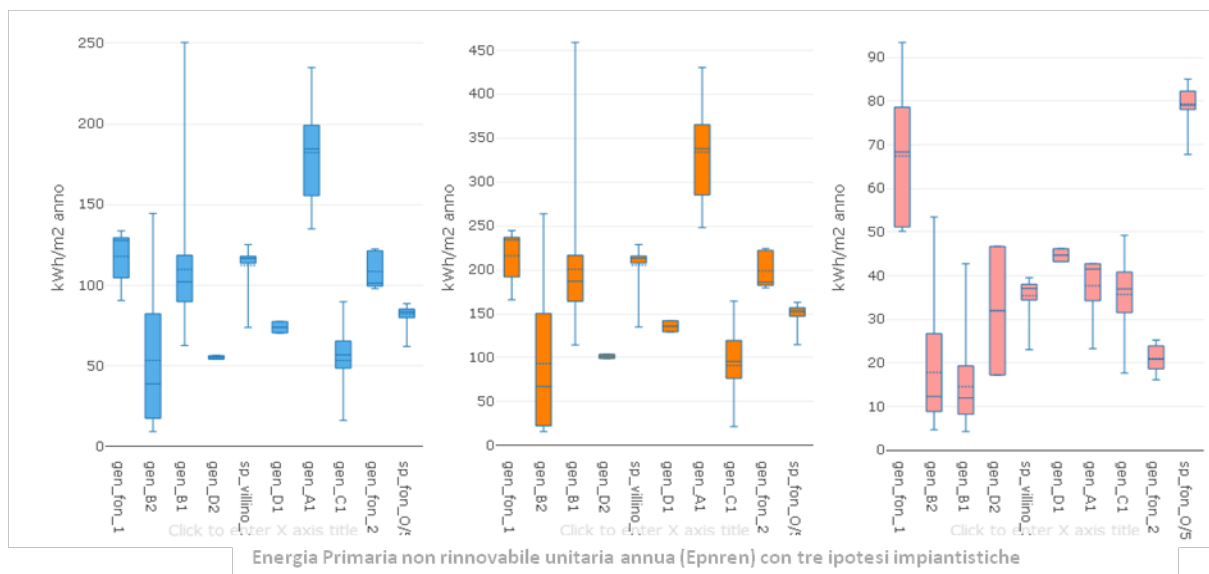


Figura 4.72 – Sintesi delle performance invernali con i sistemi più diffusi

#### *4.5.5.3 Acqua calda sanitaria*

Nel caso studio si è applicato il calcolo di prestazione proposto dalla normativa tecnica (UNI 11300 parte 2), che adotta dei fabbisogni standard basati sulla superficie utili delle unità immobiliari e dei rendimenti stagionali medie dei sistemi impiantistici (figura 4.73). Anche in questo caso, in attesa dei risultati del questionario, si sono effettuati i calcoli considerando le ipotesi impiantistiche più diffuse nel contesto, ossia boiler elettrico, produzione con caldaia a gas.

I risultati ottenuti tramite il tool E1 sono coerenti con quelli ottenibili tramite l'applicazione stretta delle formule della normativa. Il parametro che influisce maggiormente sul calcolo e la determinazione della superficie su cui si basa la procedura, valore che però viene chiesto in sede di questionario. Sulla base dei dati raccolti si valuterà la possibilità di implementare procedure di altro tipo, basate anche sul numero dei presenti e su profili utilizzo.

#### *4.5.5.4 Calcoli in regime estivo*

La procedura implementata in ambiente GIS effettua anche il calcolo estivo proposto dalla normativa per ogni edificio. Anche questi risultati necessiteranno di una procedura di validazione tramite software di controllo e di confronto con i risultati dei questionari. Allo stato attuale si mostra (figura 4.74) una sintesi dei risultati di fabbisogno netto raggruppati per tipo edilizio e per periodo storico, seguiti dal calcolo dei parametri di efficienza energetica stimati ipotizzando l'uso di sistemi a pompa di calore non recente per tutta la superficie residenziale utile.

I risultati mostrano una certa variabilità per tipo edilizio e per periodo di costruzione, probabilmente legata alla forte influenza del contesto sulla determinazione del fabbisogno netto. Tale aspetto sarà indagato in sede di validazione del modello nella prossima annualità.

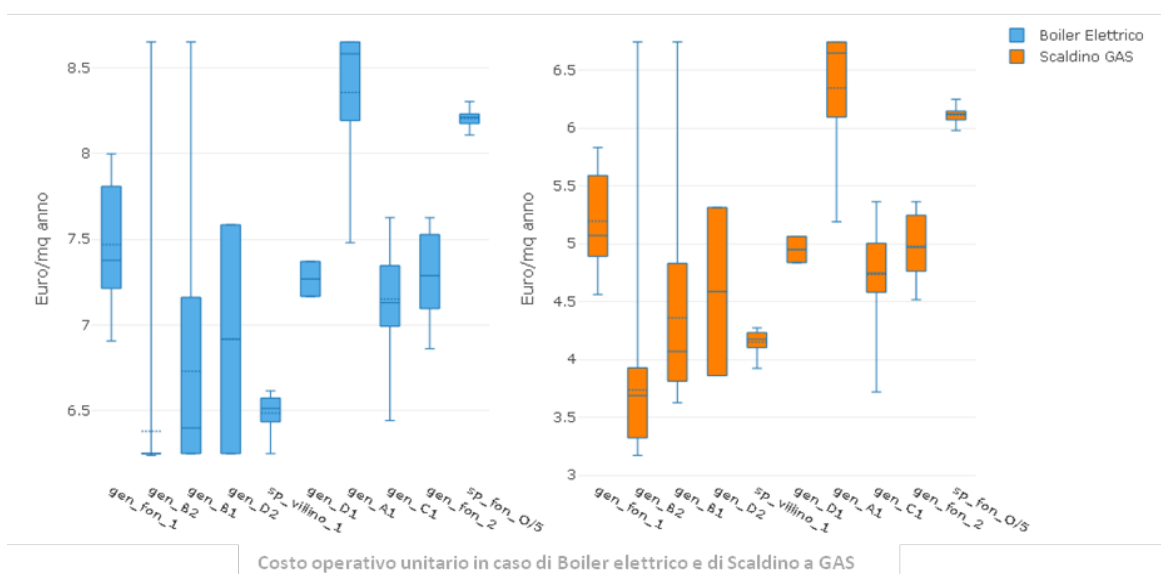
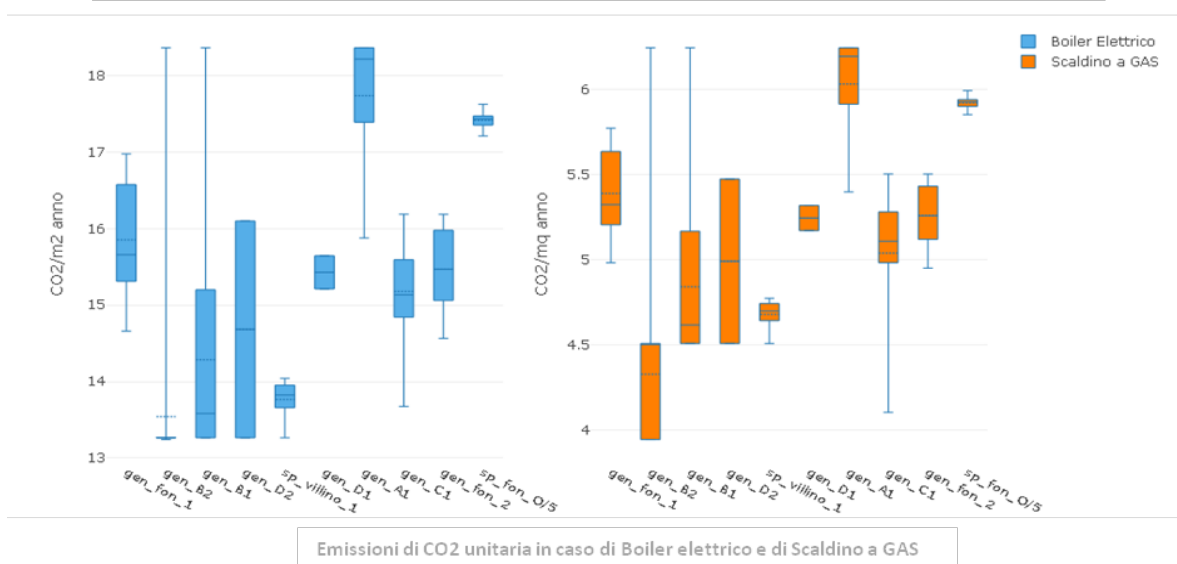
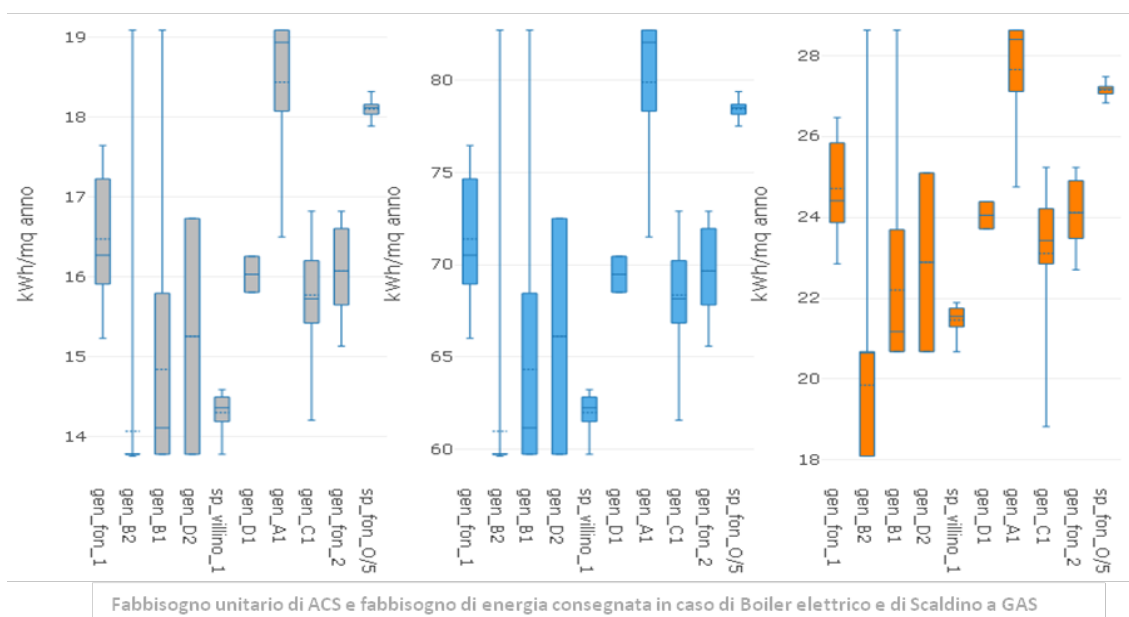


Figura 4.73 – Sintesi del fabbisogno per ACS, e delle performance con i sistemi più diffusi

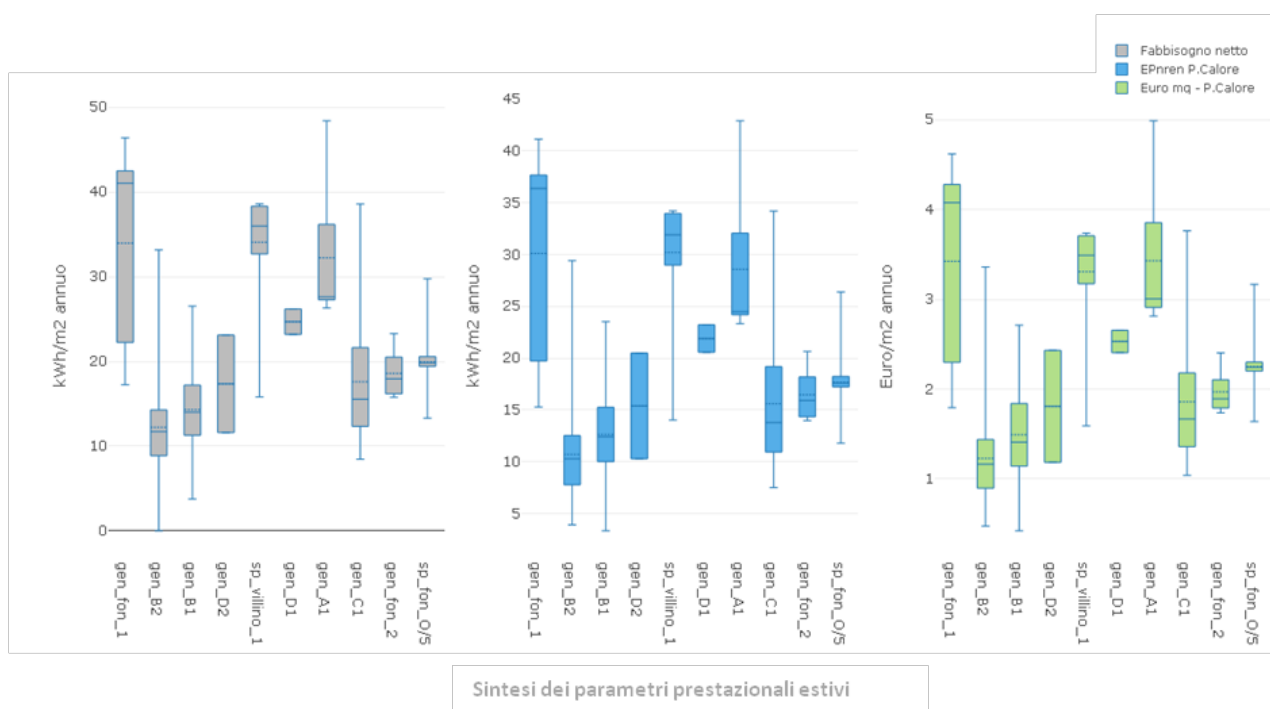
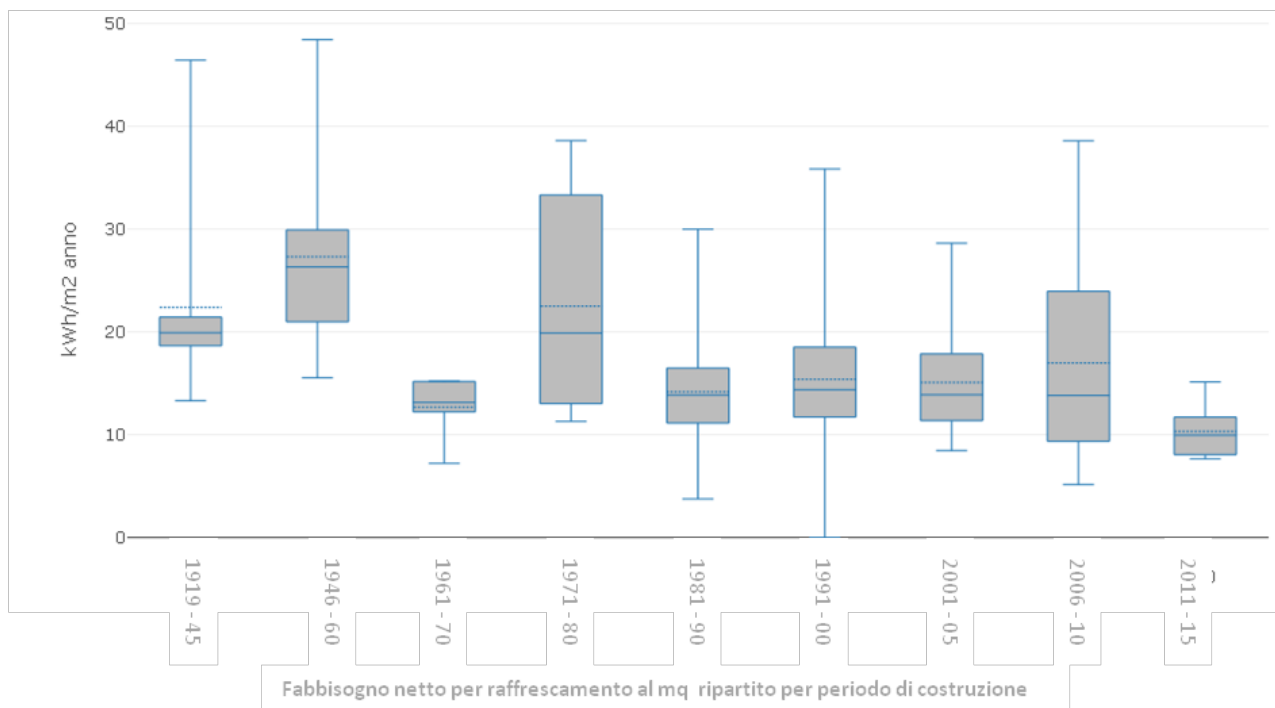


Figura 4.74 – Sintesi del fabbisogno per raffreddamento e delle performance con i sistemi più diffusi

#### 4.6 Risultati della valutazione di coerenza

La valutazione di coerenza prevede la comparazione dei risultati ottenuti da UBEP\_11300 con il software di controllo DOCET3, sulla base dell'edificio teorico definito in precedenza (CASE 0) e con la variazione di alcune condizioni di ombreggiamento del contesto (CASE\_A) e di geometria (Case B e Case C).

Il caso 0 (tabella 4.18), ossia dell'edificio isolato, mostra una buona congruenza tra i risultati ottenuti dal tool GIS e DOCET soprattutto nel calcolo invernale; le differenze aumentano nella stagione estiva (comunque sotto il 5%). Confrontando i fattori che prendono parte alla (1) e alla (2), si nota maggiore congruenza dei fattori calcolati in regime invernale, tuttavia la maggiore differenza dei valori estivi è legata anche alla diversa procedura di calcolo della stagione di raffrescamento.

Nonostante gli stessi dati di ingresso, la costante tempo e la stima della superficie utile hanno dato ha dato valori differenti. La costante tempo dipende dalle superfici interne e dalla capacità termica areica, che è stata stimata in entrambi i casi secondo il prospetto 16 della normativa, perciò l'unico elemento di variabilità è nella valutazione delle superfici interne. Pur avendo le stesse geometrie lorde di ingresso le due metodologie stimano una diversa superficie utile che può influire sui risultati della costante tempo, ma anche nella determinazione dei parametri  $Q_{hve}$ ,  $Q_{hint}$ . Si può comunque affermare che nel caso dell'edificio isolato si abbia una buona congruenza dei risultati.

Effettuando la comparazione di  $Q_c$  e  $Q_h$  (figura 4.75), si nota come l'influenza dell'ombreggiamento generi maggiori differenze: in regime invernale UBEP\_11300 presenta una leggera sottostima del fabbisogno, che cresce con l'aumentare dell'influenza dell'ombreggiamento fino ai valori di circa 7-8%; in regime estivo, al contrario, il tool GIS sovrastima il fabbisogno rispetto a DOCET3 di valori che in caso di forte ombreggiamento possono arrivare al 15-20%. La comparazione dei parametri della (1) e della (2) (figura 4.76) mostra come le prestazioni dell'involucro si mantengano entro buoni livelli di coerenza ( $\pm 5\%$ ), mentre si nota come le variazioni maggiori siano nella stima dei guadagni solari sempre sovrastimati (tra il 5% and 16%). La differenza nella stima dei guadagni solari aumenta con l'aumentare della influenza dell'ombreggiamento, generando maggiori differenze anche nella stima del fabbisogno di energia utile soprattutto in regime estivo. Tale fenomeno è probabilmente insito nella definizione dell'algoritmo utilizzato per il calcolo del fattore di ombreggiamento, che considera un valore mediato dell'UHA in luogo del massimo proposto dalla normativa, tuttavia si dovranno sviluppare delle valutazioni di sensitività su questo parametro.

Variando il numero di piani (caso B), le differenze tra le due procedure rimangono più contenute: il regime invernale mostra una buona coerenza ( $\pm 5\%$ ), mentre con l'aumentare del numero di piani aumenta l'influenza della diversa definizione delle superfici disperdenti e si conferma come il guadagno solare sia uno degli elementi di maggiore disallineamento delle due procedure (figura 4.77).

Il terzo esempio (caso C) si concentra nel valutare la capacità di UBEP\_11300 nel valutare alcune configurazioni di edifici adiacenti. In questo caso le differenze tra i due software rimangono pressoché costanti al variare della configurazione degli edifici adiacenti, confermando che la maggiore fonte di disallineamento tra i due è la valutazione dell'influenza degli ombreggiamenti esterni, che in questo sono assenti (figura 4.78).

Riassumendo, i risultati precedenti evidenziano che in regime invernale UBEP presenta una buona coerenza coi risultati della normativa mantenendosi su livelli di errore del non superiori del 10%, sempre in sottostima. Nel calcolo estivo le differenze possono essere maggiori soprattutto nei contesti urbani caratterizzati da complessi profili di ombreggiamento. Tuttavia, considerando il livello semplificazione delle ipotesi iniziali, legate allo sviluppo del calcolo alla scala urbana, tali differenze possono essere ritenute in linea con quelle ottenute da altri strumenti alla scala urbana presenti in letteratura.

Tabella 4.18 - Case O, sintesi della comparazione dei risultati

| CASE O                    |          | HEATING |       |       | COOLING  |       |       |       |
|---------------------------|----------|---------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|
| Envelope need factors     |          | DOCET   | UBEP  | Er    |          | DOCET | UBEP  | Er    |
| Shell heatloss [kWh]      | Qth      | 33826   | 33037 | -2,33 | Qtc      | 6879  | 6651  | -3,31 |
| Ventilationheatloss [kWh] | Qvh      | 1328    | 1335  | 0,47  | Qvc      | 686   | 642   | -6,41 |
| Internalheat gain [kWh]   | Qih      | 2479    | 2460  | -0,77 | Qic      | 1348  | 1267  | -6,01 |
| Solar heat gain [kWh]     | Qsh      | 9268    | 9304  | 0,38  | Qsc      | 12118 | 12091 | -0,22 |
| Time Constant             | [h]      | 20      | 23    | 13,86 |          | 20    | 23    | 13,86 |
| Season [Days]             | Dh       | 135     | 135   | 0     | Dc       | 80    | 75    | -6,25 |
| Energy Need [kWh]         | Qh       | 24138   | 23772 | -1,52 | Qc       | 6413  | 6189  | -3,49 |
| Unitarianheatingneed      | Qh/m2    | 149     | 144   | -3,25 | Qc/m2    | 40    | 38    | -5,19 |
| Availablesurface [sm]     | Cli_Surf | 162     | 165   | 1,79  | Cli_Surf | 162   | 165   | 1,79  |

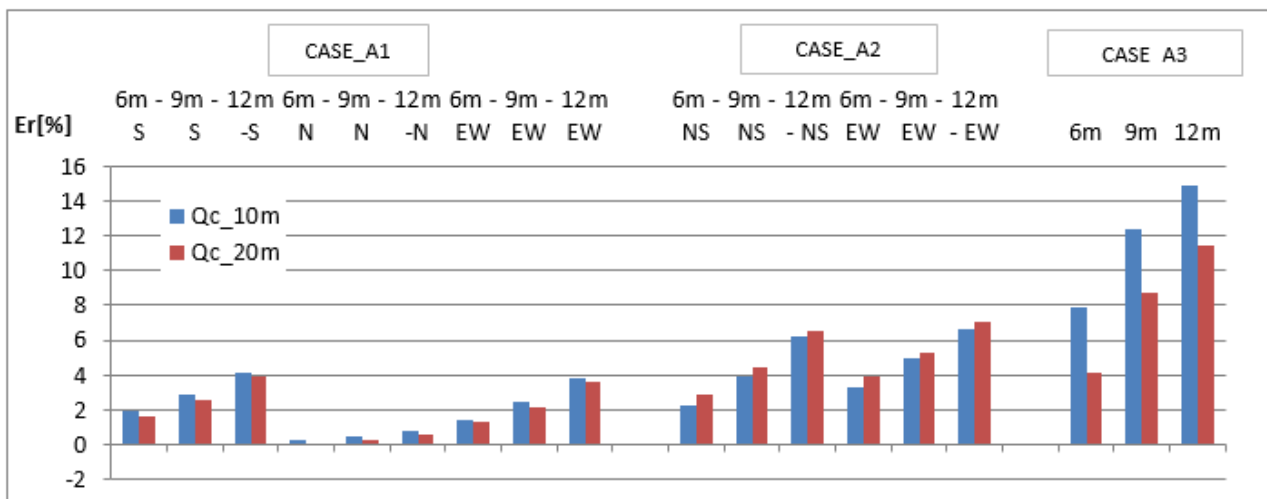
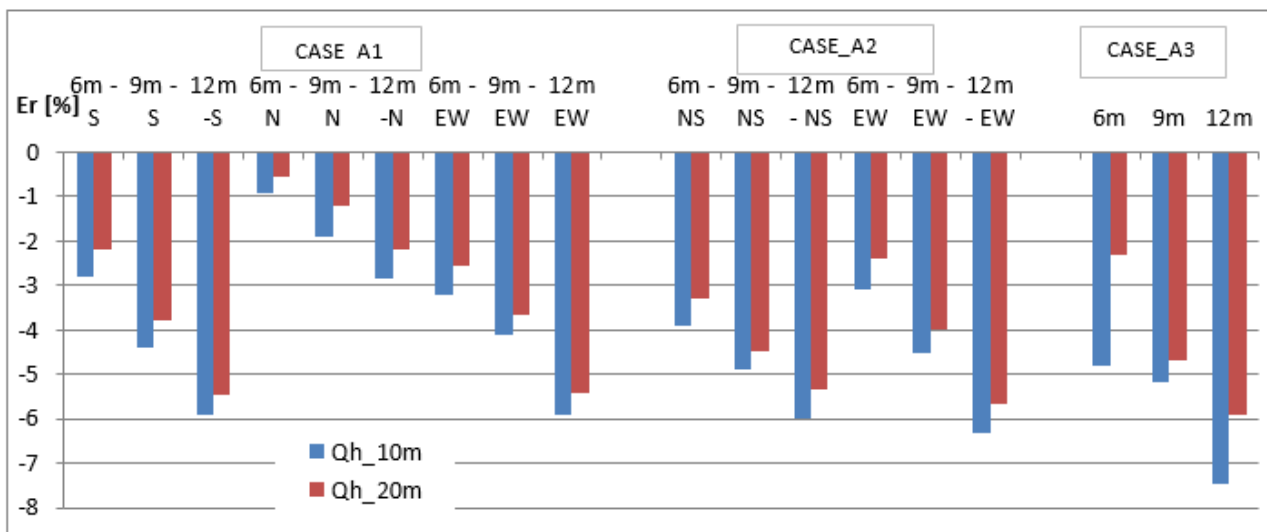


Figura 4.75 - Casi A, variazione [%] del Qh e del Qc stimati da UBEP\_11300 e DOCET3 nei casi CASE\_A

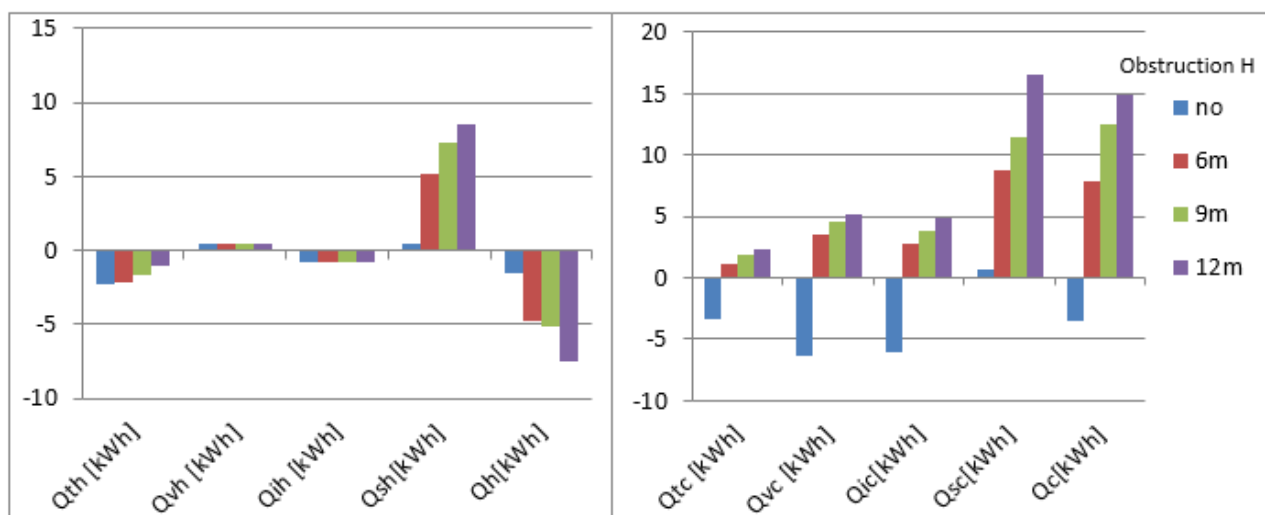


Figura 4.76 - Comparazione tra i fattori delle (1) e (2) calcolati da UBEP\_11300 and DOCET3 (CASE\_A3, D 10m)

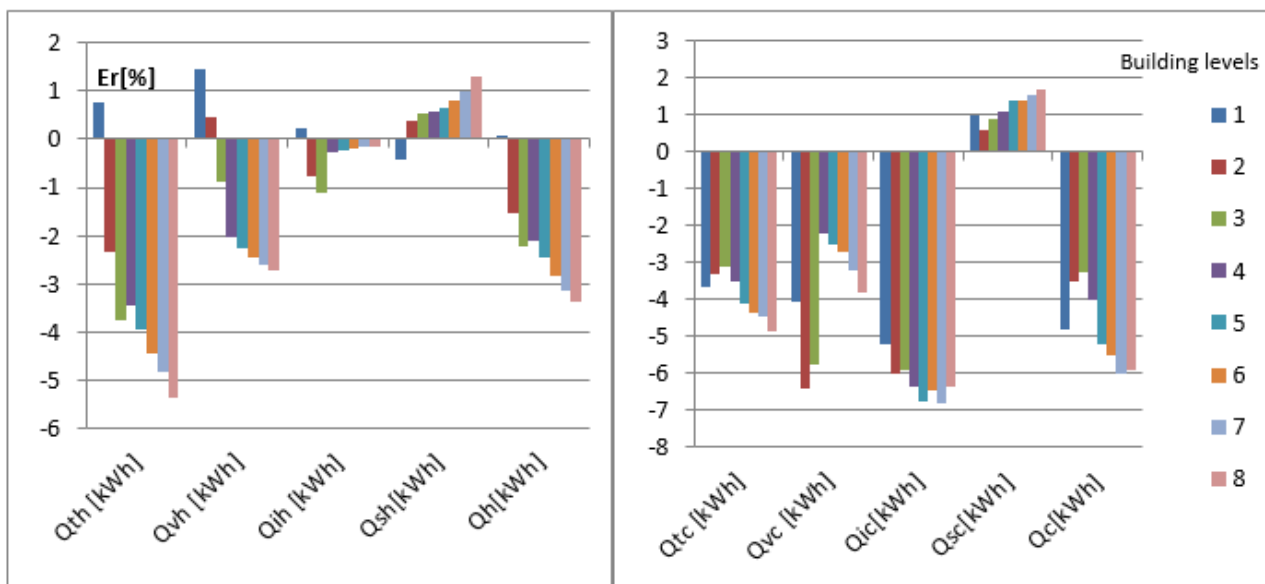


Figura 4.77 - Comparazione tra i fattori delle (1) e (2) calcolati da UBEP\_11300 and DOCET3 (CASO\_B)

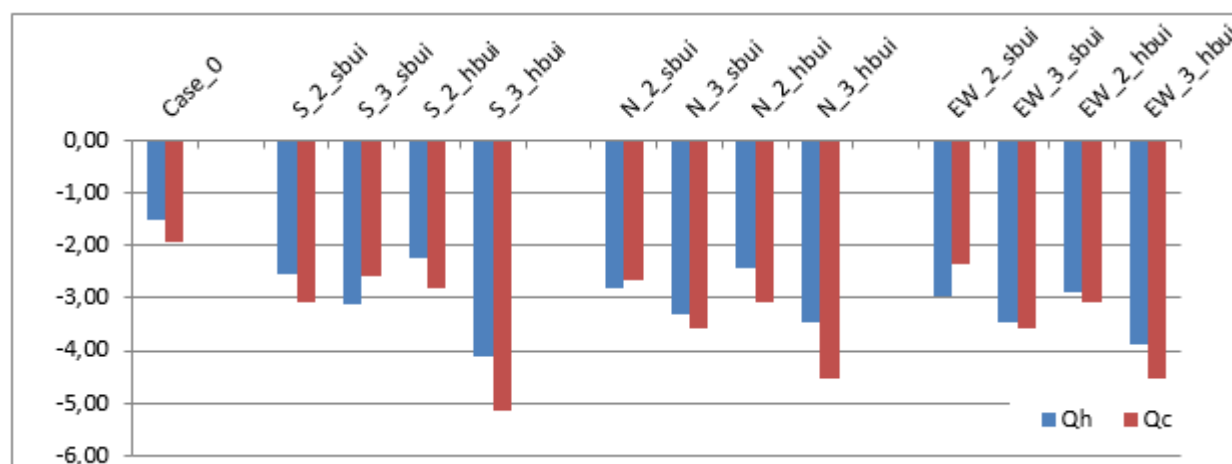


Figura 4.78 - CASO\_C, Confronto del Fabbisogno netto al mq estivo ed invernale ( $Q_h$ ,  $Q_c$ )

#### *4.7 Risultati della valutazione di affidabilità*

La valutazione di affidabilità è basata sulla comparazione con il software di controllo, capace di effettuare il calcolo fabbisogno di energia utile dell'involucro in regime stazionario (Asset rating UNI TS 11300) e dinamico (UNI ISO 52016), sulla base di alcune configurazioni di ombreggiamento (Case 0 and CASE\_A3, D = 10m- figura 4.71) e nel caso di modifica della geometria con aumento del numero di piani (CASE\_B – figura 4.72).

Il fabbisogno invernale mostra una certa coerenza tra gli andamenti dei diversi software di controllo. I valori dei metodi stazionari sono abbastanza simili tra loro e, come è noto, superano quelli del metodo dinamico di circa il 20-30%. Nella stagione estiva i valori ottenuti dei software mostrano andamenti meno regolari, pur partendo da valori simili sull'edificio isolato. Con l'aumentare dell'ombreggiamento, i valori divergono notevolmente: UBEP\_11300 mostra un andamento non allineato con gli altri software stazionari, ma più simile al dinamico, probabilmente legato alla diversa valutazione dei guadagni solari.

Il confronto con i valori calcolati dagli altri software di controllo mostra la ben nota differenza del fabbisogno di energia utile invernale ( $Q_h$ ), mentre i software stazionari mantengono andamenti comparabili con UBEP\_11300. Anche in regime estivo le metodologie stazionarie mantengono andamenti comparabili tra loro, tuttavia si discostano notevolmente dai risultati del motore dinamico orario. Nonostante i valori iniziali siano simili, il calcolo dinamico sembra essere meno influenzato dalla forma rispetto allo stazionario mantenendo dei fabbisogni più elevati.

La valutazione di affidabilità evidenzia che la procedura implementata in UBEP può essere considerata attendibile nell'ambito di validità di un calcolo stazionario, che in generale sovrastima i fabbisogni rispetto ai modelli dinamici e non considera in maniera corretta l'inerzia termica. Tuttavia per gli scopi dello strumento può essere considerato sufficiente, soprattutto per una stima limitata alle performance. Un approfondimento maggiore sembra necessario per il calcolo estivo.

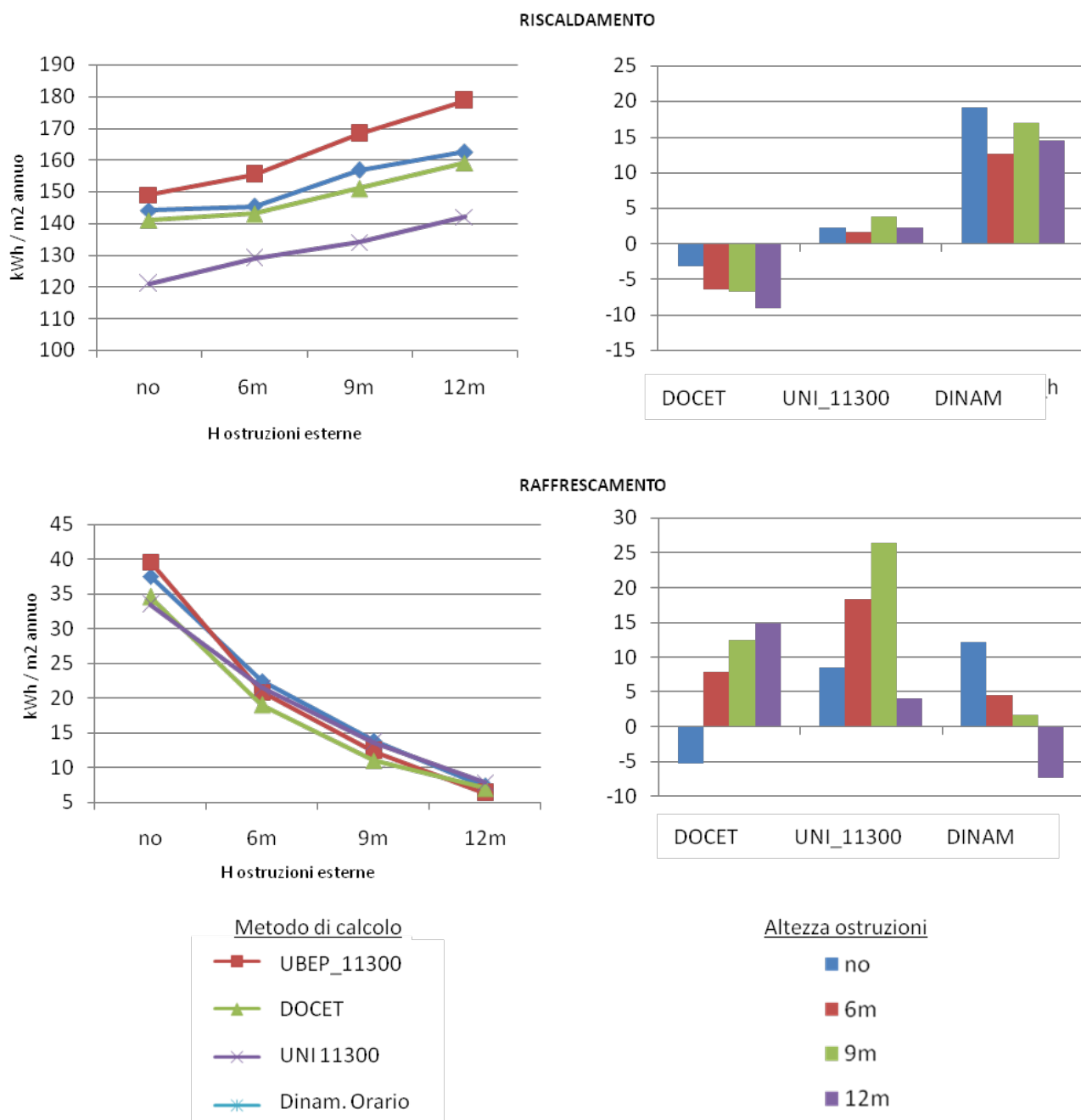
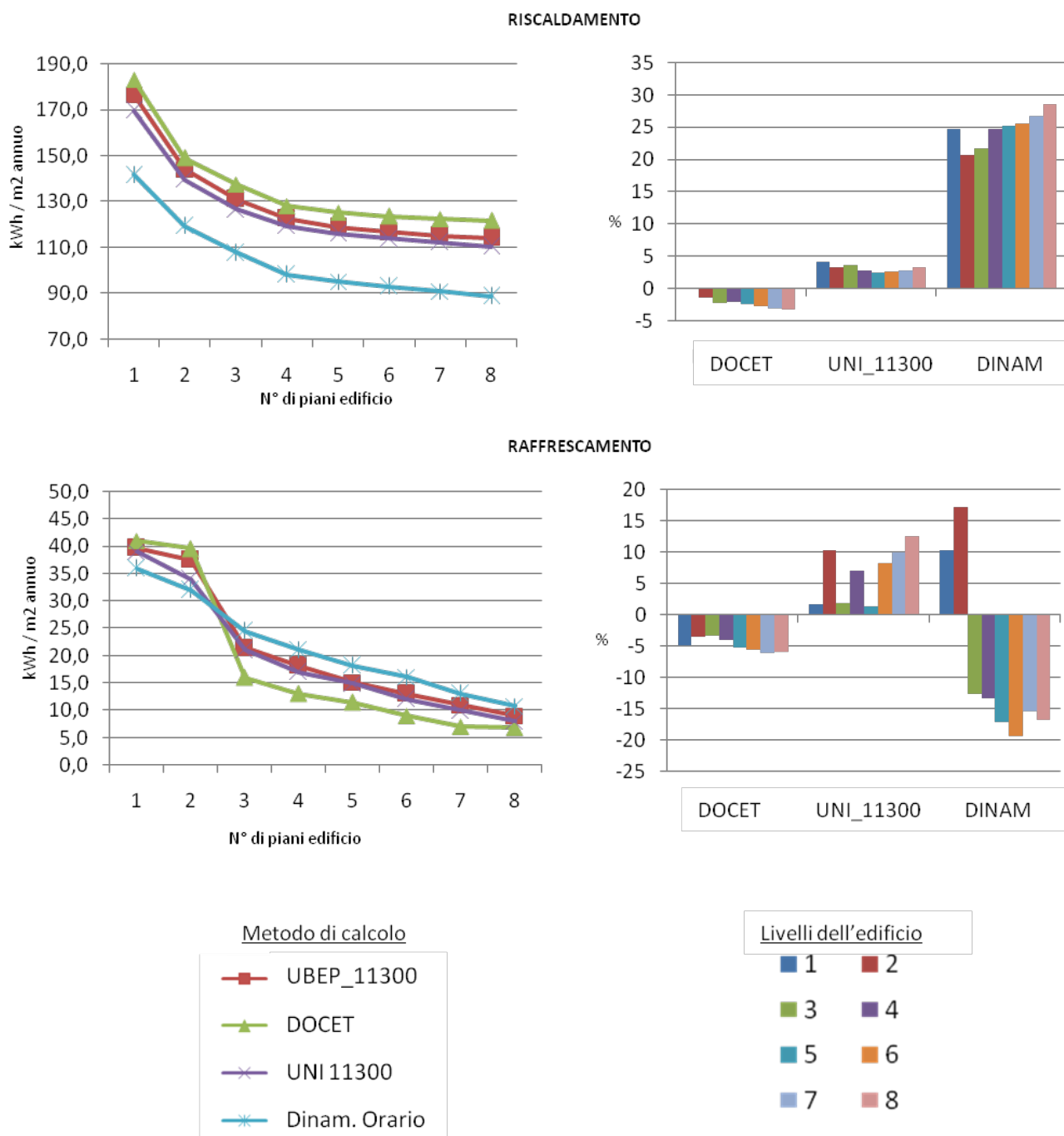


Figura 4.71 - Confronti del Fabbisogno netto ( $Q_h$ ,  $Q_c$ ) con i diversi software di controllo nel caso A3 ( $D=10$ )



**Figura 4.72 - Confronto del Fabbisogno netto (Qh, Qc) con i diversi software di controllo nel Caso B**

#### 4.8 Discussione dei risultati

Come già specificato, la metodologia, così come i risultati presentati in questo lavoro, hanno un carattere preliminare e saranno raffinati con le attività della prossima annualità. La discussione dei risultati è principalmente volta ad introdurre alcuni aspetti su cui ci si dovrà focalizzare nel proseguo nella ricerca. Più nello specifico in questo paragrafo si presentano:

- una discussione sulle attività di pre – processing, volta a valutare la disponibilità dei dati di base e la complessità delle operazioni di preliminari richieste;
- una discussione sulla modellazione energetica implementata in ambiente GIS, volta a esplicitare le differenze tra la procedura implementata nel tool GIS e quella proposta dalla normativa;
- una discussione su un'attività di validazione preliminare del modello energetico.

#### 4.8.1 Discussione sulla fase di pre-processing

Nel caso studio, le fonti di dato cartografico sono da considerare nel complesso abbastanza recenti e dettagliate, tuttavia hanno richiesto una non trascurabile attività manuale di aggiornamento dei dati al fine di renderli coerenti tra loro e permettere lo svolgimento della metodologia. Le attività di impostazione dei dati topografici di base hanno evidenziato altre criticità che possono complicare le attività di pre – processing, che si possono riassumere nelle seguenti aspetti:

- obsolescenza del dato cartografico,
- individuazione delle unità edilizie,
- coerenza tra DBGT, rilievo e stato di fatto.

##### 4.8.1.1 Obsolescenza del dato cartografico

Le ortofoto ufficiali della RAS raccolgono voli storici e voli recenti con una datazione massima del 2013, ma il dato più recente è ottenibile dai servizi web (GMaps, OSM, etc) (tabella 4.19). Il DB topografico, che costituisce necessariamente la base geometrica principale dell'UBEM, è però basato su un volo del 2008 e aggiornato al 2011 nell'ambito delle attività di pianificazione urbana, che hanno per loro struttura una cadenza temporale molto inferiore.

Questo ha reso necessario digitalizzare intere parti dell'area di studio che sono state realizzate successivamente alla base topografica, inserendo nuovi elementi con procedure non perfettamente coerenti con quelle della restituzione cartografica adottata per il resto del DBGT.

L'accesso alla versione vettoriale del DB catastale potrebbe essere una delle possibili soluzioni a questo disallineamento cronologico del dato topografico di base, in quanto si tratta di un DB che gode di procedure di aggiornamento continuo. Tuttavia è noto che la mappa urbana catastale, soprattutto per il patrimonio edilizio più datato, può presentare difformità non trascurabili rispetto allo stato attuale, a causa di ritardi e/o imprecisioni nelle procedure di aggiornamento, perciò il confronto manuale tra le due fonti di dato geometrico sembra essere comunque necessario.

Problema simile si è presentato anche per il DSM Raster, per il quale si sono evidenziati non solo le incoerenze per la mancanza dei nuovi edifici facilmente individuabili da una rapida osservazione delle foto aeree, ma anche incoerenze relative a edifici minori (tettoie, box, ruderi, etc), che per loro natura sono soggetti a modifiche più frequenti. Tali elementi non hanno effetto diretto sui volumi disperdenti o sulle geometrie, ma influiscono sull'ombreggiamento delle superfici esterne per il quale il modello Raster è stato utilizzato. La soluzione a questo problema, che è già stata utilizzata nel caso studio, è l'aggiornamento del DSM tramite l'aggiunta dei volumi edilizi nella configurazione aggiornata per l'analisi energetica, garantendo la coerenza tra le basi geometriche, almeno per manufatti di maggiore dimensione.

Tale attività richiede comunque una preventiva ricognizione delle maggiori modifiche sui volumi edilizie e sui manufatti accessori che può essere esigente in termini di tempo.

**Tabella 4.19 – Fonti dato geometrico e anno di aggiornamento**

| DATO GEOMETRICO    | DESCRIZIONE                                                               | ANNO AGGIORNAMENTO |
|--------------------|---------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Ortofoto RAS       | Le foto ufficiali della RAS, raccolgono orto foto storiche e voli recenti | 2013               |
| Foto Google Hybrid | Volo con aggiornato periodicamente                                        | 2019 -2020         |
| Catasto            | Contenuti aggiornati periodicamente                                       | 2020               |
| DBGT RAS           | Data base geo topografico,                                                | 2008-2011          |
| DTM – DSM          | Elaborato da volo lidar (1m) del 2008                                     | 2008               |

#### 4.8.1.2 Individuazione delle unità edilizie

Il confronto tra le fonti cartografiche ha evidenziato che i layers delle unità edilizie e dei VE del DBGT spesso non sono sufficienti a individuare in maniera corretta e uniforme in tutta l'area di studio le unità immobiliari di riferimento per il calcolo energetico (figura 4.57 precedente). I motivi sono da ricercare principalmente nella definizione cartografica dei VE e delle UE del DBGT, che non è perfettamente coincidente con quella richiesta per la zona termica semplificata adottata nel modello UBEM. Ogni edificio, a eccezione dei ruderi e di quelli in costruzione, è costituito da almeno un volume edilizio; nel caso si determinino differenze di quota superiore a 2,5 m che individuino una superficie di mq 10 (compresi attici e corpi tecnici), verranno acquisite distinte unità volumetriche. Qualora l'edificio sia di lunghezza superiore a 30 m o abbia un dislivello superiore a 2,5 m tra le quote a terra dei vertici estremi, dovranno essere acquisite diverse unità volumetriche. In questo caso le linee definenti le unità volumetriche sono "virtuali", ossia non corrispondono a elementi fisici individuabili nel corpo di fabbrica. La zona termica per il calcolo del fabbisogno dell'involucro dovrebbe coincidere con l'involucro esterno dell'edificio definito come edificio isolato o come corpo di fabbrica, caratterizzato da più unità immobiliari con condizioni simili, eventualmente sottoposte a una gestione unitaria del servizio di climatizzazione.

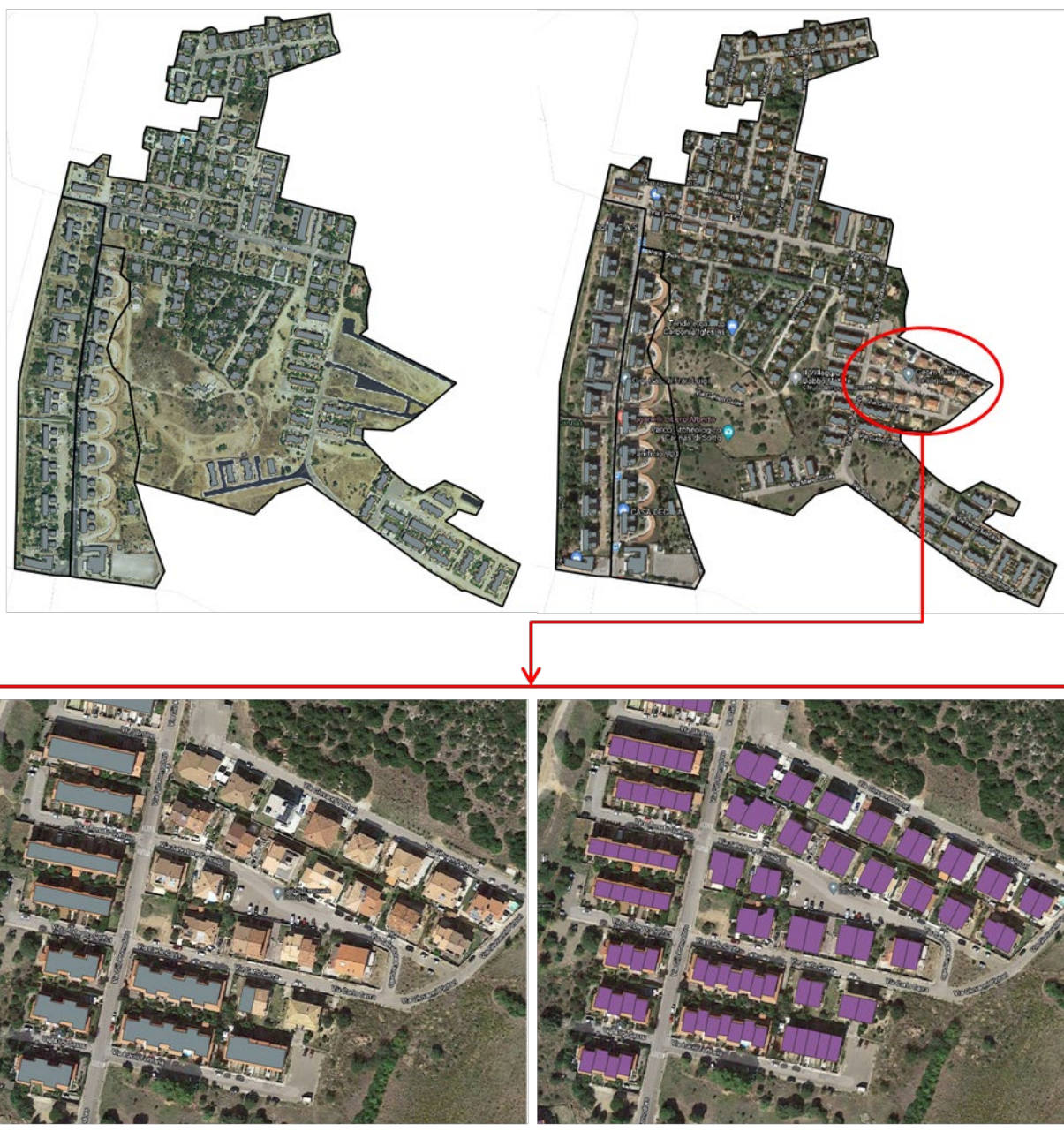
Risulta perciò necessario svolgere alcune attività di editing manuale (CAD – GIS) delle geometrie delle UE e dei VE per renderli coerenti con l'articolazione dei lotti e delle proprietà ricavabili dalla mappa urbana catastale e utili per il calcolo energetico.

Come risulta chiaro osservando il confronto tra le basi cartografiche (figura 4.57 e figura 4.72), si tratta per la maggioranza di operazioni di unione o divisione dei poligoni già presenti nel DB topografico, ma talvolta è necessaria anche la modifica delle forme e la creazione di nuovi elementi. Anche se queste attività di editing non prevedono competenze di natura altamente specialistica, e sono correntemente svolte durante la redazione e l'aggiornamento degli strumenti di pianificazione urbanistica, possono richiedere molto tempo, specie nel caso l'area sia estesa e siano necessarie molte modifiche in tessuti urbani complessi come i centri storici.

Un altro elemento di criticità è costituito dalla rappresentazione nel DBGT dei particolari architettonici e dei manufatti edilizi. Essi richiedono una attività solo parzialmente automatizzabile per ricavare le quote delle quali sono privi, e inoltre l'osservazione del caso studio ha mostrato altre due criticità:

- sono elementi caratterizzati da maggiore variabilità, in quanto spesso il DBGT non era coerente con lo stato attuale presente nelle ortofoto;
- il DBGT stesso presenta delle incoerenze interne, in quanto stessi elementi reali sono talvolta rappresentati con classi differenti, inoltre alcuni manufatti alcune volte vengono trascurati e altre volte no.

Tali incoerenze influenzano solo l'ombreggiamento, perciò possono avere un forte impatto sulle performance solo in caso di edifici di limitate dimensioni, tuttavia possono generare una variabilità non corretta tra i risultati di edifici oggettivamente molto simili (come le schiere o altri edifici realizzati in serie ed disorientati) per i quali ci si aspetterebbe al contrario una forte convergenza dei risultati.



**Figura 4.72 - Area di studio con riportati i poligoni delle Unità Edilizie sovrapposti alle ortofoto del 2008 e alla mappa di Google del 2019. Zoom su una area che ha necessitato forti modifiche dei poligoni.**

#### *4.8.1.3 Coerenza tra DBGT, rilievo e stato di fatto*

La fase di rilievo sviluppata per il progetto ha avuto il duplice ruolo di raccolta di informazioni per l'impostazione dei tipi edilizi e degli abachi e di raccolta dei dati direttamente da utilizzare per la modellazione energetica. Perciò ha avuto un peso notevole nello sviluppo del caso studio, tuttavia, una volta impostato un approccio tipologico sufficientemente rappresentativo del contesto urbano, le attività di rilievo possono limitarsi alla sola immissione dei dati prettamente necessari alla modellazione energetica (tabella 4.17 precedente).

Lo sviluppo del caso studio ha previsto l'immissione manuale di 16 variabili (7 per VE e 9 per UE), che, per quanto supportate da una pratica interfaccia di immissione dati, potrebbero essere considerate un numero eccessivo. Di contro, le quattro variabili riferite al numero e al tipo di unità immobiliari sono state necessarie a causa della impossibilità di accedere al DB catastale, dal quale si sarebbero potute ricavare le informazioni con procedure di tipo semiautomatico.

L'attività di rilievo ha mostrato che alcuni dati inseriti da rilievo urbano sono caratterizzati da una maggior indeterminatezza o difficoltà di rilievo, che potrebbero rendere più conveniente il ricorso a un approccio

totalmente tipologico. Questo approccio è anche coerente con le finalità dell'UBEM, principalmente orientato a strutturare una base dati per l'interazione con gli occupanti delle abitazione che a definire il fabbisogno energetico, per cui alcune assunzioni tipologiche potrebbero essere direttamente raffinate con contributo partecipativo dell'esperto dei luoghi, limitando lo sforzo in sede di rilievo. Probabilmente rientrano in questa casistica i dati relativi alle finestre, che spesso non sono visibili con dettaglio necessario dall'esterno e inoltre non sempre presentano un tipo chiaramente preponderante per tutto l'edificio, perciò potrebbe essere convenientemente assegnato in maniera simile agli altri elementi dell'involucro edilizio e poi modificato tramite interazione con gli utenti del portale.

Altro dato, che ha mostrato criticità simili nell'attività di rilievo, riguarda il tipo di attacco al suolo e di confine superiore della zona termica, che non sempre si riescono a individuare dall'esterno e non è chiaro l'uso climatizzato o non climatizzato degli ambienti. Tale dato però influisce molto sulle performance finali del corpo di fabbrica soprattutto in termini di superficie utile, perciò sarà sicuramente oggetto di un approfondimento nella prossima annualità, che potrebbe andare verso un approccio tipologico completo o una modalità di rilievo più semplificata.

Le altre informazioni sulle coperture (manto, colore, morfologia) invece sono facilmente rilevabili con buon grado di affidabilità e forniscono informazioni utili a indirizzare il tipo di intervento di efficientamento, perciò potrebbero essere convenientemente ricomprese in una attività di rilievo. Tuttavia l'influenza sul calcolo energetico di alcune di esse è abbastanza limitato, perciò in un'ottica di contrazione massima delle attività di rilievo, potrebbero essere riprese nella definizione di tipo. La stragrande maggioranza dei VE è da considerare residenziale riscaldato; solo in alcuni casi evidenti, come gli O/5 dell'area di studio, è possibile individuare elementi chiaramente non riscaldati come in corpi scala. Perciò questo tipo di rilievo non risulta particolarmente complicato.

Una valutazione più approfondita sembra essere necessaria riguardo alla coerenza tra le altezze dei VE ricavate direttamente dal DBGT come differenza tra quota di gronda e di base ( $h_b = a_b - a_g$ ) e le altezze stimabili tramite il rilievo del numero di livelli fuori terra. L'influenza della variabile dei livelli riscaldati sulla performance è molto alta, in quanto sulla base di ciò si ricava la superficie utile su cui ridistribuire il carico termico. È intuibile che, soprattutto per le tipologie di edifici di minore dimensione, il dover distribuire il fabbisogno termico legato all'involucro edilizio su 2 o 3 livelli può portare a performance unitarie [kW/mq annuo] radicalmente differenti. Le quote del DBGT dovrebbero essere definite considerando la maggiore quota di base dell'edificio e la minore quota della gronda, in quanto sono utilizzate per la stima del volume edilizio urbanistico che segue tale logica, tuttavia spesso si possono riscontrare difformità rispetto allo stato reale dei luoghi. La procedura adottata per limitare gli errori grossolani migliora lo scostamento tra  $h_b$  ed  $h_{lim}$ , ma è necessario impostare una analisi di sensitività più approfondita su questi dati di input al fine di determinare l'approccio più corretto nei limiti delle finalità dello strumento. Una possibile risoluzione del problema volto a garantire una maggiore coerenza interna tra i calcoli dell'UBEM potrebbe essere l'impostazione della quota di base dell'edificio completamente basato sul rilievo dei livelli e le altezze di interpiano tipici.

Sintetizzando, in una ottica di alleggerimento della fase di rilievo ci si potrebbe limitare alla assegnazione di poche variabili: tre ai VE (uso del VE, periodo di costruzione, n° livelli) e due alle UE (tipologia edilizia e il colore prevalente).

#### 4.8.2 Differenze tra calcolo GIS e normativa vigente

Lo sviluppo del modello energetico ha avuto come principale riferimento la normativa per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, riportata nelle specifiche tecniche della serie UNI 11300 TS e nella legislazione tecnica correlata. La procedura GIS adotta una struttura di calcolo con procedure molto simili a quelle della normativa, tuttavia adotta semplificazioni legate alla scala urbana dello studio e alla limitazione del carico computazionale. In quest'ottica, quando la normativa presentava alcuni elementi di criticità, si è fatto riferimento ad altri approcci contenuti nella normativa tecnica (generalmente riferiti alle versioni precedenti della serie UNI/TS 11300:2008), o, se non presenti, si sono sviluppate nuove procedure.

Vi sono perciò delle differenze tra il calcolo di normativa e quello implementato nel tool GIS, che, pur avendo un impianto assolutamente comparabile, saranno approfondite nello sviluppo della ricerca. Si intende che il fine non è avere lo stesso calcolo, in quanto le basi di partenza sono incomparabili: da una parte un approccio tipologico, geometrie di massima e un rilievo urbano, dall'altra un sopralluogo sulla singola unità immobiliare.

Seguono alcuni punti su cui si dovrà ragionare nella prosecuzione del lavoro, anche sulla base dei risultati ottenuti dalla sperimentazione nel caso di studio.

La normativa utilizzata come riferimento per lo sviluppo di UBEP\_11300 (serie UNI/TS 11300: 2008) ha avuto diversi aggiornamenti tra il 2014 ed il 2019 che, pur avendo lasciato la struttura del calcolo praticamente inalterata, hanno da una parte raffinato e specificato meglio l'uso e i valori dei prospetti semplificati (soprattutto quelli riferiti agli impianti) e dall'altra hanno aggiunto nuovi elementi da considerare nella determinazione del fabbisogno di energia utile e nel calcolo della energia primaria. Si sono introdotte alcune modifiche importanti, che influiscono nelle modalità di calcolo semplificate (Asset Rating, Design Rating) e altre minori, che entrano in gioco solo nella modalità di calcolo più accurata (Tailored Rating). Le principali modifiche vengono analizzate in seguito, esplicitando gli aspetti critici col tool UBEP\_11300, e riguardano:

- procedura per la determinazione dei dati climatici di ingresso basata sull'aggiornamento della normativa UNI 10349: 2016;
- maggiore dettaglio nel calcolo delle perdite per trasmissione: l'influenza dei ponti termici è sempre analitica e cambiano le norme di riferimento per definire le proprietà termofisiche dei materiali (UNI/TR 11552:2014);
- introduzione del carico termico latente in presenza di impianti che regolino l'umidità (UTA, VMC, etc);
- maggiore dettaglio nel calcolo delle perdite per ventilazione, basato sul concetto di ventilazione effettiva e di ventilazione di riferimento;
- maggiore dettaglio nel calcolo degli apporti solari con l'introduzione di alcuni coefficienti correttivi per l'incidenza tra sole e superficie vetrata;
- definizione delle stagioni di riscaldamento e raffrescamento per unità immobiliare;
- revisione e ampliamento delle procedure per il calcolo dell'energia primaria;
- nuovo metodo per la definizione delle classi energetiche.

#### *Clima di riferimento*

L'aggiornamento della normativa (UNI 10349: 2016) richiede l'utilizzo delle specifiche della UNI/TR 11328-1:2009 per l'elaborazione dei dati climatici per le località non riportate nella lista dei comuni capoluogo di provincia. L'introduzione di tale procedura nell'ambiente GIS può essere complessa, in quanto richiede l'applicazione di un modello di Perez semplificato per la determinazione dell'irraggiamento solare, sulla base dei dati riportati dalla norma per ogni capoluogo. Tuttavia le analisi delle geometrie del patrimonio edilizio ricavano già la maggior parte dei dati input locali necessari alla implementazione del calcolo Perez semplificato (azimut, skyview, etc), gli altri dati sono in gran parte contenuti nei prospetti tabellari della normativa. Per lo sviluppo del caso studio si sono utilizzati dei dati climatici elaborati esternamente dall'ambiente GIS, in maniera coerente con la normativa, ricavati da un software certificato per il calcolo delle prestazioni energetiche in edilizia. Nel proseguo dello studio si dovrebbe definire con migliore dettaglio questa fase preparatoria dei dati climatici.

#### *Perdite trasmissione*

Le modifiche introdotte della normativa tecnica attualmente vigente (UNI/TS 11300-1:2014) non permettono l'utilizzo della valutazione forfettaria della influenza dei ponti termici prevista nella versione precedente della normativa (UNI TS 11300:2008). Anche nel calcolo standard si rimanda ad una valutazione analitica (UNI EN ISO 10211, UNI EN ISO 14683) che richiede l'inserimento delle geometrie. La metodologia di UBEP\_11300 adotta una valutazione forfettaria dei ponti termici, essa potrà essere eventualmente legata alla geometria, sviluppando una metodologia specifica per una valutazione, e alla tipologia edilizia. In ogni caso l'inserimento analitico manuale per ogni edificio non è compatibile con le finalità dello studio.

#### *Perdite ventilazione e guadagni interni*

Il tool esegue solo le valutazioni del calcolo standard, considerando solo la ventilazione naturale. La normativa presenta una corposa parte per valutare il fabbisogno di ventilazione in caso di presenza di ventilazione meccanica (VMC, UTA) e specifica meglio (UNI 10339: 2008) le portate di riferimento in funzione della destinazione d'uso degli ambienti, soprattutto per quelli non residenziali. Introduce per i calcoli in asset rating e design rating, il concetto di *ventilazione di riferimento*, sempre basata sull'aerazione naturale, per il calcolo della

prestazione energetica del fabbricato (calcolo della energia termica utile dell'involucro  $Q_{hve}$ ,  $Q_{cve}$ ) e il concetto di *ventilazione effettiva* (naturale, ibrida, meccanica, etc), per il calcolo finalizzato alla stima dell'energia primaria. In caso di sola ventilazione naturale le due ventilazioni coincidono, perciò la semplificazione adottata dall'algoritmo GIS è sicuramente coerente con la condizione della maggioranza delle unità immobiliari residenziali, soprattutto del contesto di studio. Tuttavia l'utilizzo della ventilazione meccanica, anche nel settore residenziale, sta diventando sempre più frequente soprattutto negli interventi di retrofit, perciò si dovrà valutare come trattare questi casi, considerando che si dovrebbero stimare anche i carichi interni legati al calore latente.

#### *Guadagni solari*

Nell'aggiornamento della specifica tecnica (UNI/TS 11300-1:2014) il fattore di esposizione del vetro non è più costante ( $F_w = 0,9$ ), come proposto nella precedente versione, ma calcolato mensilmente come funzione della tipologia di vetro e dell'orientamento ed inclinazione della superficie, tramite l'interpolazione dei valori di una specifica tabella (prospetto 20, UNI 11300-1:2014). L'algoritmo implementa per semplicità solo il fattore costante, ma si hanno già tutti i dati a disposizione per effettuare anche il calcolo mensile del fattore di esposizione, con procedure simili a quelle adottate per il calcolo degli altri fattori di riduzione solare.

#### *Calcolo della Energia primaria*

La parte che presenta maggiori differenze tra l'approccio normativo e quello implementato è quella relativa al calcolo della energia di ingresso ai sistemi impiantistici. Il tool, coerentemente con altri strumenti simili presenti in letteratura, considera solo le efficienze complessive di alcuni sottosistemi impiantistici utilizzati in condizioni standard. Le specifiche tecniche vigenti adottano prospetti più articolati per la stima dei rendimenti dei sottosistemi, che dipendono anche dal tipo di impianto presente, e inoltre utilizzano dei fattori di carico dell'impianto che hanno un forte impatto nel rendimento termico dei sistemi (UNI TS 11300 parti 2-3-4). I fattori di carico sono perciò un elemento chiave per individuare il profilo d'uso ottimale dell'impianto nella specifica unità immobiliare: tempo di accensione, temperature di set back. In caso di progetto di intervento di retrofit sono elementi importati per il dimensionamento stesso dell'impianto.

Per quanto in linea generale non sia possibile pensare di sviluppare una campagna di rilievo tale da impostare un simile dettaglio per tutta l'area di studio, l'approccio di calcolo adottato da UBEP\_11300 può essere affinato ulteriormente, in quanto propone una valutazione semplificata delle efficienze basata su un approccio fortemente tipologico. Ciò sposta le considerazioni introdotte dalle normative nella fase di pre-processing dedicata allo studio dei valori caratteristici dei sistemi impiantistici da inserire negli abachi degli impianti. Tali studi possono convenientemente appoggiarsi a software (commerciali, o di utilizzo libero) per la redazione delle APE e degli altri calcoli che garantiscono la coerenza con la normativa, oppure essere il risultato di campagne di rilievo più o meno ampie. Nel presente caso lo sviluppo del portale avrà come principale risultato l'acquisizione di un maggiore numero di questionari riguardanti i profili l'uso delle unità immobiliari, che dovrebbero portare a introdurre anche nell'UBEM alcuni profili d'uso tipo utili a raffinare il calcolo della energia primaria

#### *Parametri di efficienza*

Un altro parametro di efficienza energetica molto conosciuto ricavabile dai risultati ottenuti è la classe energetica dell'APE. È una classificazione quanto - qualitativa del sistema edificio impianto che, pur con i suoi limiti, è molto conosciuta presso operatori del settore e cittadini non tecnici, perciò nel proseguo del lavoro si valuterà lo sviluppo di un tool per la sua stima.

La vecchia normativa (Legge 192/2005) ricavava la classe energetica della unità immobiliare valutando solo i servizi del riscaldamento e quello della ACS. L'etichetta energetica del riscaldamento è ricavata confrontando il valore di energia primaria per il servizio rapportato alla superficie utile dell'edificio ( $E_{Ph}/m^2$ ) con un valore di energia primaria limite ( $E_{PhL}$ ) ottenuto interpolando tra le caratteristiche geometriche dell'involucro edilizio (rapporto  $S/V$ ) e alcuni valori limite forniti dalla normativa in funzione della zona climatica al variare dei gradi giorno (tabella 4.20).

L'etichetta di efficienza della ACS invece si riferiva a dei range di confronto validi per tutta l'Italia.

Il raffrescamento e l'illuminazione sono state inserite nei decreti nel 2015 (per alcune tipologie di unità immobiliari) unitamente a una procedura di classificazione efficienza energetica completamente differente, che confronta i risultati ricavati per l'unità immobiliare con quelli di un edificio di riferimento di medesima geometria, ma costituito da strutture con prestazioni termiche coerenti con i limiti attuali di legge e da impianti

con rendimenti standard. Gli algoritmi sviluppati premettono già di implementare tale procedura, in quanto basta effettuare i calcoli anche prendendo come riferimento degli abachi convenientemente impostati sui parametri dell'edificio di riferimento. Tuttavia lo sviluppo di tale procedura richiede un approfondimento in quanto, come già esplicitato, il calcolo sviluppato dalla procedura GIS è riferito al corpo edilizio nel suo complesso e non a una specifica unità immobiliare, mentre i limiti previsti dalla normativa sono riferiti alle unità immobiliari. Inoltre si dovrà valutare l'opportunità di utilizzare anche questi risultati che fanno riferimento a un contesto normativo molto preciso basato sulla certificazione dello stato dei luoghi, cosa che però è ben lontana dalle finalità dello strumento e perciò potrebbero creare confusione negli utenti del portale.

**Tabella 4.20 – Parametri per il calcolo della EP limite nella vecchia normativa.**

| Zona climatica | A    | B   |     | C   |      | D    |      | E    | F    |        |
|----------------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|--------|
| DD             | <600 | 601 | 900 | 901 | 1400 | 1401 | 2100 | 2101 | 3000 | > 3000 |
| SV ratio       |      |     |     |     |      |      |      |      |      |        |
| < = 0,2        | 10   | 10  | 15  | 15  | 25   | 25   | 40   | 55   | 55   | 55     |
| => 0.9         | 45   | 45  | 60  | 60  | 85   | 85   | 110  | 145  | 145  | 145    |

*EPL Values defined by standard as function of local context degreedays and building S/V ratio (table1, annex C Law 192/2005)*

#### Discussione

Nel complesso, la procedura implementata nel tool GIS può considerarsi molto simile con quella della specifica tecnica (serie UNI 11300), soprattutto in caso di calcolo di Asset Rating per edifici residenziali, ma le differenze aumentano per le unità immobiliari non residenziali e in caso di presenza di sistemi di ventilazione e trattamento aria. Naturalmente le differenze sono ancora maggiori nelle valutazioni di progetto (Design Rating) e in quelle adattate all'utenza (Tailored Rating), perché la mancanza di dati certi non permette l'applicazione completa delle procedure contenute nella norma.

Le maggiori differenze si trovano nel calcolo della energia primaria e nella conseguente determinazione dei parametri di efficienza, in quanto le procedure hanno subito modifiche più radicali. Le ipotesi iniziali e la struttura del calcolo sviluppato in UBEP\_11300 rendono comunque sempre possibile un raffinamento delle procedure di calcolo e un miglioramento dell'approccio tipologico, soprattutto quello dedicato alla parte impiantistica. Attualmente si adotta il profilo d'uso del calcolo standard (Ti 20°/26°, uso continuo, tutta la superficie abitabile riscaldata), mentre, sfruttando le interazioni degli utenti col portale, si potrebbero ricavare dei profili d'uso tipici locali per raffinare le stime del modello, sviluppando una sorta di valutazione tailored alla scala urbana.

Il prossimo sviluppo della metodologia deve anche considerare l'opportunità di proseguire con un approfondimento dell'approccio basato sulle UNI11300 nell'ambito delle finalità del progetto e in uno scenario di imminente cambiamento della normativa tecnica. Presto la normativa tecnica per il calcolo della prestazione energetica degli edifici passerà dal modello energetico semi-stazionario (basato principalmente sulla EN ISO 13790: 2008) a una procedura dinamica semplificata (ISO EN 50016-17). Si tratta di un modello orario più semplice dei modelli utilizzati in letteratura (Energy Plus, TRNSYS,) perché ha algoritmi di calcolo più semplici e, per facilitare la diffusione della nuova procedura, è predisposto ad adottare circa gli stessi dati di ingresso dei modelli semistazionari. I pro della modellazione dinamica sono ben noti e altre metodologie, anche di modellazione alla scala urbana, sviluppano approcci tipologici di UBEM che richiedono la modellazione dinamica del fabbisogno energetico di alcuni edifici di riferimento o il calcolo dinamico completo di tutti gli elementi dell'area. Queste metodologie in generale hanno una struttura degli strumenti più complessa e richiedono una fase di pre-elaborazione più significativa di quella qui proposta. Per implementare un modello energetico dinamico nella metodologia proposta, la parte dello strumento GIS dedicata alla modellazione energetica deve essere completamente rinnovata; tuttavia considerando la modellazione energetica semplificata proposta dal nuovo assetto normativo, la fase di pre-elaborazione e l'analisi geometrica potrebbero essere considerate molto simili a quelle sviluppate nell'UBEP\_11300. Si delineerebbe la possibilità di sviluppare un approccio UBEP basato sul nuovo modello energetico dinamico proposto dalla norma (ISO EN 50016-17).

#### 4.8.3 Validazione preliminare del modello energetico

Questo lavoro mostra una breve validazione preliminare della parte del modello energetico della metodologia, basata su alcune configurazioni di edifici ideali e sul confronto di alcuni software di controllo. Si tratta di una attività preliminare, volta a individuare alcuni punti da indagare con procedure più rigorose nella prossima fase della ricerca.

In sintesi, la valutazione della consistenza mostra che il calcolo del fabbisogno di riscaldamento ha una buona coerenza con i risultati basati sui calcoli standard, mantenendo un errore non superiore al 10%, spesso con una sottostima. Nel calcolo del fabbisogno di raffrescamento le differenze possono essere maggiori, probabilmente causate dalle differenze dei risultati sui guadagni solari. Analizzando i parametri che prendono parte alle (1) e (2), i fattori legati alla trasmissione termica sono fortemente coerenti tra i due calcoli, mentre quelli che si discostano di più sono quelli legati all'irraggiamento solare. Le piccole differenze nella stima della superficie utile interna portano anche lievi scostamenti dei guadagni interni e nelle perdite di ventilazione che tuttavia influiscono poco sul fabbisogno netto complessivo. Sarà quindi necessario sviluppare una valutazione di sensitività sui parametri che influiscono sul guadagno solare. Le due procedure hanno in comune i prospetti e formule della normativa e il medesimo contesto e edificio ideale; l'unica differenza consiste nella procedura per la stima dell'angolo di ostruzione per ostacoli esterni che determina il fattore di riduzione solare. Il tool dovrà poi essere testato sia sulla base di casi ideali che nel contesto urbano, al fine di evidenziare l'effetto cumulato delle assunzioni tipologiche, delle semplificazioni dei dati di ingresso e delle procedure adottate rispetto ad uno studio standard sviluppato alla scala del singolo edificio.

La valutazione di affidabilità mostra che la procedura implementata in UBEP può essere considerata affidabile se confrontata con gli algoritmi di calcolo semi-stazionario, che come è noto generalmente sovrastimano il fabbisogno energetico rispetto ai modelli dinamici e non considerano correttamente l'inerzia termica. L'affidabilità del calcolo è un aspetto critico di questo tipo di strumenti, in quanto l'applicazione degli approcci tipologici nel caso reale porta a inevitabili incongruenze sul singolo edificio. Gli approcci di letteratura usano i dati sui consumi, generalmente noti per ambiti urbani più o meno vasti, per calibrare i modelli, al fine di ottenere per lo meno una convergenza complessiva rinunciando a quella sul singolo edificio. La possibilità di sviluppare un approccio di questo tipo verrà studiata nella prossima annualità sulla base dei dati che fluiranno dalla interazione degli utenti del portale.

Considerando il livello di semplificazione delle ipotesi iniziali (geometrie, strutture, impianti, etc) relative allo sviluppo di un calcolo alla scala urbana, tali differenze possono essere considerate simili a quelle ottenute da altri approcci e strumenti presenti in letteratura. La metodologia tuttavia, nel suo complesso, comprende anche passaggi di natura interpretativa che si valuteranno con l'ampliamento del caso di studio.

## 5 Auree.it

### 5.1 Scopo

Il portale Auree è uno strumento di supporto ai processi di efficientamento energetico e recupero del patrimonio edilizio urbano che promuove, attraverso specifiche interfacce, la partecipazione dei principali tipi di attori locali coinvolti: occupanti delle unità immobiliari, decisori delle pubbliche amministrazioni, operatori del settore (imprese, professionisti) o altri stakeholders più generici.

Tutti gli utenti potranno consultare con semplicità la mappa del patrimonio pubblico e privato e avere accesso, mediante un semplice click, alle informazioni di base riguardanti il patrimonio edilizio. Gli users del portale potranno inoltre fornire il proprio feedback e contributo e sarà loro consentito di esplorare soluzioni efficienti e affidabili in linea con il mercato di settore, con l'assetto storico culturale e geografico delle comunità e del tessuto sociale di riferimento, nel rispetto dei propri interessi e livelli di accesso.

La rappresentazione su mappa del patrimonio privato consentirà agli utenti proprietari di accedere alle schede del proprio edificio ed esplorare i dati precedentemente assegnati con criteri tipologici dall'UBEM. Da un'apposita interfaccia l'utente, inserendo alcuni dati sulla sua unità immobiliare (informazioni sul sistema edificio impianto e profilo d'uso), potrà ottenere una stima del fabbisogno energetico della propria abitazione e ricevere indicazioni tecniche e consigli sulle possibilità di miglioramento del grado di comfort e sulla potenziale riduzione dei consumi. Potrà inoltre accedere a un modulo per la richiesta di consulenza a imprese e studi tecnici.

Le imprese e i professionisti, registrandosi al portale, avranno la possibilità di elencare le tipologie di servizi offerti e di inserire eventuali casi studio di successo locali nell'uso di tecnologie o approcci al progetto innovativi. Accedendo alla rete del sistema informativo, avranno inoltre la possibilità di essere contattati in modo diretto dai potenziali clienti interessati a interventi di riqualificazione energetica. Previa autorizzazione da parte degli utenti proprietari, gli operatori economici potranno accedere a una scheda tecnica dell'edificio che ne riporta le caratteristiche salienti come struttura, impianti, consumi, tipo e numero di occupanti. Inoltre la possibilità di accedere a un set di informazioni piuttosto dettagliato riguardo l'immobile, in molti casi, potrà limitare le spese per sopralluoghi e preventivi. Il portale permetterà anche di sintetizzare statistiche utili a identificare le principali caratteristiche della domanda di servizi locale, permettendo agli operatori del settore di calibrare la propria offerta.

Le pubbliche amministrazioni potranno visualizzare agevolmente la rappresentazione del patrimonio edilizio pubblico georeferenziato attraverso una mappa interattiva. Saranno inoltre supportate nella gestione ordinaria associata all'efficientamento e alla trasparenza energetica del singolo edificio. Dalla mappa, cliccando sul singolo edificio, gli operatori pubblici avranno accesso a un'interfaccia nella quale potranno caricare e salvare tutti i documenti e le informazioni di interesse nella gestione energetica dell'edificio, consentendo così di visualizzare e rendere pubblici i consumi energetici per i diversi usi, comunicando le eventuali azioni intraprese per il loro contenimento.

Attraverso l'utilizzo di un protocollo basato su procedure di audit energetico e di monitoraggio, le PP.AA. saranno supportate nelle fasi di progetto, realizzazione, monitoraggio e gestione degli interventi di retrofitting sugli edifici pubblici tramite approcci BIM. Maggiori dettagli sulla procedura e sull'approccio utilizzato saranno riportati nel report *"Proposta di una metodologia di indagine per la tipizzazione del patrimonio costruito pubblico e residenziale e applicazione al caso studio di Carbonia"* realizzato da UniCA-DICAAR inerente alla linea di attività LA 1.32.

## 5.2 Struttura

Il portale Auree è sviluppato su un'infrastruttura WEB GIS e si basa su un sistema informativo territoriale (SIT) multi utente sviluppato su una piattaforma in CLOUD e con un'architettura informatica open source. Quest'ultima è in grado di supportare informazioni geografiche, permettendo di visualizzare e interrogare i dati spaziali, consentendo sia l'inserimento dinamico di nuove informazioni che l'aggiornamento in tempo reale dei risultati secondo i privilegi dei diversi tipi di users. Nello specifico è possibile individuare i seguenti users, articolati per livelli di accesso:

- *Utenti generici (U1)*, con la sola possibilità di visualizzare i contenuti aperti;
- *Utenti loggati (U2)*, hanno la possibilità di avere un proprio profilo, salvare e condividere visualizzazioni personalizzate dei contenuti aperti: mappe, abachi, best practices, etc;
- *Proprietari di edifici residenziali (U3)*, come U2, attraverso un codice specifico possono accedere all'interfaccia dell'edificio che permette di visualizzarne, personalizzarne e modificarne i dati (entro certi limiti);
- *Gestori di edifici pubblici (U4)*, come U2, grazie a uno specifico codice possono accedere alla interfaccia dell'edificio che permette di visualizzarne, personalizzarne e modificarne i dati (entro certi limiti);
- *Progettisti (U5)*, come U2, ma su richiesta di U3 e U4 possono accedere alla scheda dell'edificio e all'interfaccia di gestione degli abachi e delle best practices (visualizza, personalizza, modifica);
- *Imprese(U6) e produttori di materiali e tecnologie (U7)*, come U5;
- *Pubblica Amministrazione (U8)*, come U2, ha accesso massivo ai dati inseriti nel portale;
- *Amministratore (Ad\_1)*, come U8; tramite specifiche interfacce può aggiornare e modificare i contenuti del portale (aggiungere nuovi layer spaziali e nuove sezioni, etc)
- *Sviluppatore (Ad\_2)*, ha una completa gestione del portale e dei dati in esso contenuti.

Il portale sviluppato per il comune di Carbonia, presenta un'architettura scalabile in grado di replicarsi in altri casi studio con un intervento minimo da parte degli sviluppatori.

La piattaforma si presenta come un archivio, aggregatore di informazioni e conoscenza sul patrimonio edilizio pubblico e privato e sulle attuali tecnologie di riqualificazione energetica ed è organizzata in tre sezioni principali che contengono le basi informative ed alcune specifiche interfacce per l'interazione con gli attori locali (Figura 5.1):

- *Patrimonio pubblico*: costituisce uno strumento di supporto alla gestione energetica di qualità dell'edificio rivolto alle PP.AA., ma anche uno strumento per condividere i valori del patrimonio e rendere più trasparente la gestione dell'energia nella PA;
- *Patrimonio residenziale*: contiene la rappresentazione spaziale delle prestazioni energetiche del patrimonio edilizio e punta a coinvolgere direttamente gli occupanti delle unità;
- *Abaco Geografico*: raccoglie e riordina la conoscenza sugli elementi ricorrenti del patrimonio edilizio su base spaziale GIS, favorendone la diffusione anche ad un pubblico non tecnico e facilitando il collegamento tra domanda e offerta nel settore edilizio. Tramite questa sezione l'utente generico può consultare la mappa delle tipologie edilizie e attraverso una rappresentazione organizzata per livelli successivi di approfondimento, apprendere le nozioni essenziali inerenti al sistema edificio- impianto e le principali tecnologie di retrofit. Infine se interessato potrà direttamente contattare le imprese locali registrate nel portale.

A queste sezioni collegate a specifiche interfacce si possono poi aggiungere tutti i layers del contesto che si configurano come un insieme aperto di tematismi, anche non direttamente legati agli aspetti della efficienza energetica, che possono però influenzare le potenzialità di recupero.

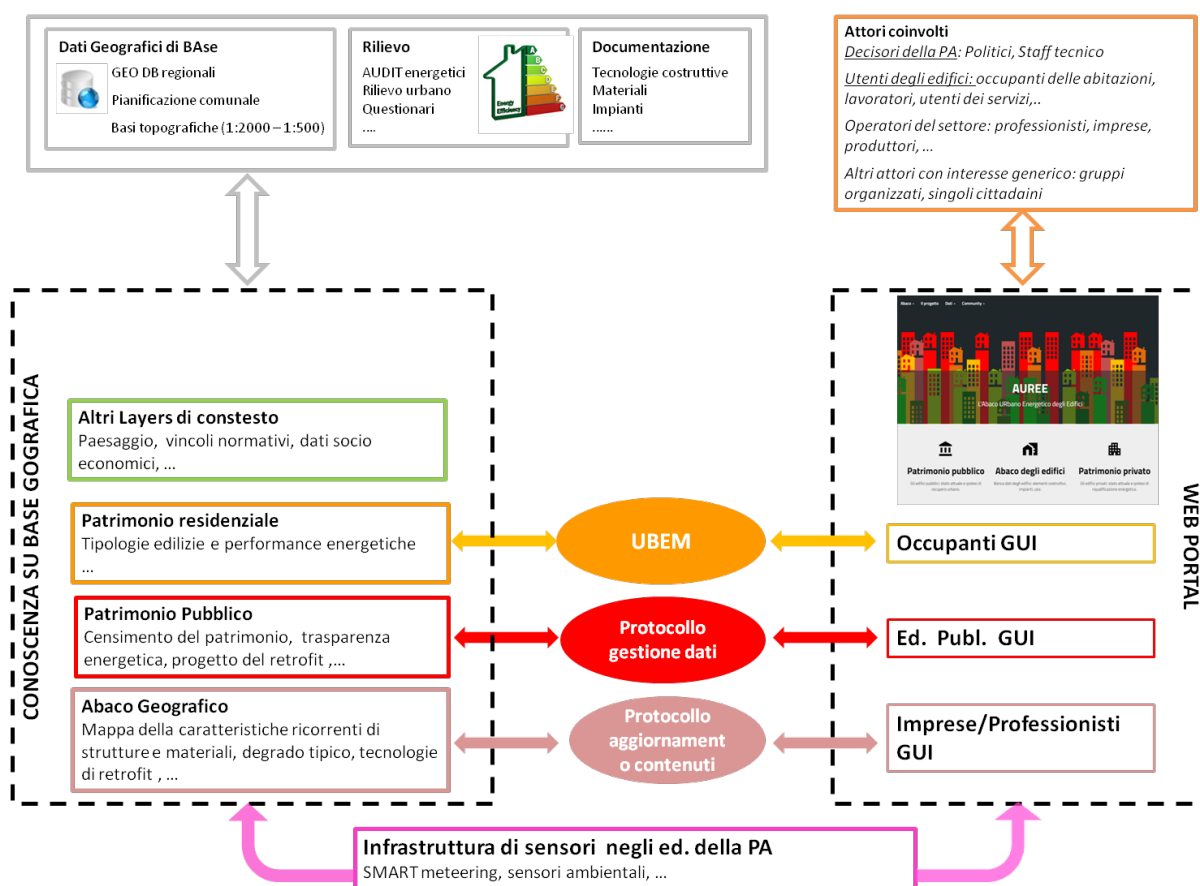


Figura 5.1 – Schema logico dello strumento

### 5.2.1 Le Basi informative

I servizi del portale si basano principalmente sui seguenti oggetti informativi:

- il DB geografico del patrimonio edificato (DB\_1), costituito da uno o più layer geografici (2D – 3D GML), collegato all'UBEM, con possibile collegamento con sensori, collegato all'interfaccia di gestione dell'edificio (S3), eventualmente collegato con il modello IFC dell'edificio;
- il DB geografico degli edifici pubblici (DB\_2), costituito da uno o più layer geografici (2D – 3D GML), collegato a sistemi BIM (Standard IFC), collegato con sensori IOT, collegato con interfaccia di gestione dell'edificio (S4);
- il DB spaziale dell'abaco (DB\_3), contiene schede di elementi del sistema edificio impianto interrogabili sia con interfaccia su base spaziale che con filtri e parole chiave. L'abaco contiene dati utilizzati dall'UBEM per effettuare i calcoli e generare gli scenari di retrofit, collegato alle interfacce di gestione dell'Abaco (S5);
- DB documentale (DB\_4), altri DB di materiale documentale, non connesso con l'UBEM, organizzato secondo parole chiave e classificazioni pre impostate e interfaccia spaziale;
- DB geografico del contesto (DB\_5), contiene informazioni su base spaziale non connesse con l'UBEM e l'abaco geografico; sono personalizzabili in visualizzazione;
- DB dei dati dei sensori (DB\_6), dedicato agli edifici pubblici, connesso con lo sviluppo di una rete di sensori visualizzati su mappa;
- DB dei profili utente (DB\_7), contiene dati degli utenti registrati e le pagine personali.

### 5.2.2 I servizi del portale

I principali servizi del portale sono i seguenti:

- *Interfaccia gestione profilo personale (S1)*: permette l'accesso al portale, il profiling dell'utente (inquadrate nelle tipologie sopra menzionate), la gestione dei dati utente, la scelta di alcuni parametri di privacy, l'attivazione di sezioni speciali delle interfacce basate sul profilo utente.
- *Interfaccia utente registrato generico (S2)*: l'accesso è dato a tutti gli utenti di almeno grado U2, permette di creare una pagina personale dove raccogliere e personalizzare la visualizzazione di elementi presenti nel portale, creare e condividere contenuti multimediali e geografici semplici, creare dei report;
- *Interfaccia gestione edificio privato (S3)*: l'accesso può essere effettuato da un U3 con un codice di ingresso. Al primo accesso il profilo è accoppiato a un edificio nella mappa (DB\_1). L'interfaccia dovrà permettere di visualizzare i dati relativi all'edificio, inserirli e modificarli, effettuare simulazioni di scenari di retrofit e creare report, contattare imprese o professionisti, visualizzare i dati dei sensori (se presenti);
- *Interfaccia gestione edificio pubblico (S4)*: l'accesso può essere effettuato da un U4 con un codice di ingresso. Al primo accesso il profilo è accoppiato a un edificio nella mappa (DB\_2). L'interfaccia dovrà permettere di visualizzare i dati relativi all'edificio, inserire dati, creare report, dare accesso all'ambiente BIM condiviso (U5, U6, U7), gestire i protocolli BIG\_P e Sen P;
- *Interfaccia gestione abaco geografico (S5)*: l'accesso può essere fornito alle imprese (U5, U6, U7), deve consentire di creare nuovi contenuti dell'abaco geografico, sia con inserimento spaziale che con il solo aggiornamento dei DB delle tecnologie, che diverranno opzionabili per effettuare le simulazioni con l'UBEM, creare report di tecnologie basate sulla selezione di alcune di esse;
- *Interfaccia gestione del portale (S6)*: accesso consentito a utenti di livello almeno Ad\_1, permette il download di dati complessivi e ordinati, la gestione dei contenuti del portale, la modifica delle sezioni e della documentazione.

## 5.3 Architettura

La soluzione applicativa proposta per il progetto AUREE è una piattaforma in cloud (per cui web oriented) che fornisce applicativi e servizi forniti compatibili su qualsiasi sistema operativo (Linux, Windows, Mac ed altre). Trattandosi di un sistema Cloud non vengono richieste installazioni nei PC dell'utente.

La fruizione dei servizi offerti della piattaforma, sia per gli utenti interni che per gli utenti esterni, avviene tramite il browser del proprio PC e non necessita di installazione di componenti aggiuntivi. Gli applicativi sono compatibili con tutti i browser più diffusi, sia desktop che mobile, e tutte le applicazioni del sistema sono pensate per essere di facile fruizione anche per utenti non esperti GIS.

La piattaforma AUREE segue le linee guida europee della direttiva INSPIRE che consentono una gestione dei dati più efficiente, l'interoperabilità dei dati e dei servizi, una facile condivisione delle informazioni dai diversi livelli di governo e una facile reperibilità e accesso delle informazioni geografiche.

Grazie all'utilizzo dei servizi di interoperabilità e agli standard internazionali (ad esempio quelli dell'Open Geospatial Consortium - OGC), la piattaforma AUREE può scambiare costantemente, in entrata e in uscita e in modo automatico, le informazioni geografiche con i Sistemi Informativi Regionali, Nazionali, Europei e degli altri Enti che supportano tali standard, come ad esempio la Regione Autonoma della Sardegna (RAS), L'Agenzia del Territorio, il Ministero dell'Ambiente, enti di Ricerca e Statistica. La piattaforma inoltre è compatibile con i software GIS più diffusi, sia OpenSource, come QGIS, gvSig, uDig, sia proprietari come ArcGIS di ESRI.

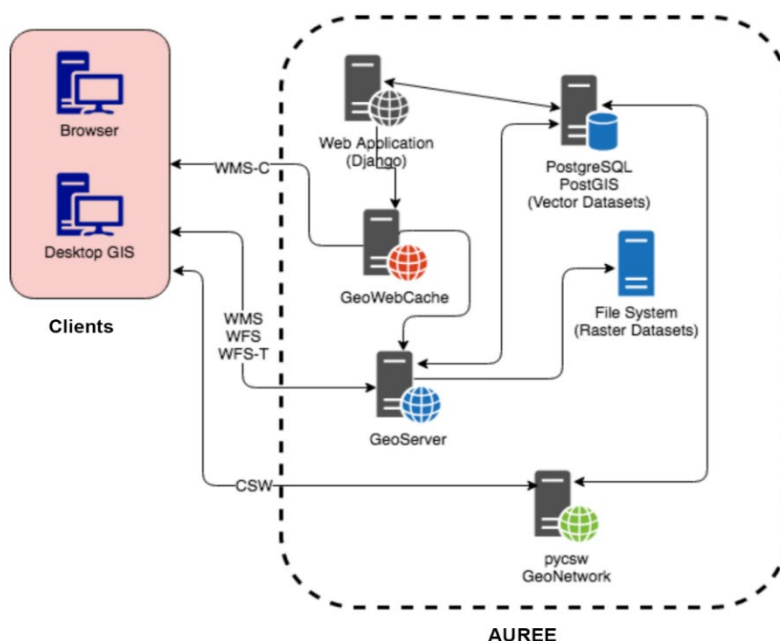
I dati pubblicati nella piattaforma AUREE possono essere pubblicati in automatico al portale regionale (<http://dati.regione.sardegna.it/>), portale nazionale (<https://www.dati.gov.it/>) e al portale europeo (<https://www.europeandataportal.eu/it>) degli Open Data.

Per il progetto AUREE è stata utilizzata come piattaforma web di base GeoNode, un Content Management System (CMS) OpenSource per dati geografici con funzioni di catalogo, pubblicazione, ricerca e facilità di condivisione di informazioni e mappe create direttamente dagli utenti. GeoNode, oltre ad avere già al suo interno delle funzionalità richieste dal progetto, consente di integrare facilmente dei moduli specifici con i requisiti richiesti.

Grazie alle caratteristiche ereditate da GeoNode, la piattaforma AUREE è capace di soddisfare le esigenze più disparate: dall'utente base che vuole pubblicare su mappa e condividere agevolmente su Web semplici geodatabase con pochi click, fino a un'utenza avanzata che ha bisogno di costruire geoportali e infrastrutture di dati geografici conformi alle specifiche OGC e alla direttiva INSPIRE. L'ecosistema di plugin di GeoNode consente numerose integrazioni con sistemi di catalogo, di autenticazione e meccanismi di ricerca avanzati che rendono i dati geografici, siano essi vettoriali o raster, interoperabili e riutilizzabili da sistemi federati.

Per la versione BETA del portale è stato acquistato un server in Cloud, dove è stato installato il Sistema Operativo Ubuntu 20.04.02 LTS con Docker <sup>(3)</sup> e installata e configurata la piattaforma AUREE con tutte le sue componenti:

- PostGIS: database spaziale;
- GeoServer: map server con servizi OGC standard;
- pyCSW: servizio di catalogo dati CSW;
- Django: la piattaforma del progetto estensione di GeoNode standard. All'interno di Django sono stati installati due moduli:
  - Wagtail: consente di gestire pagine e notizie trasformando il portale AUREE in un vero e proprio CMS di contenuti (molto simile al più famoso Wordpress) con anche la possibilità di creare workflow.
  - Survey: consente di creare dei questionari online da sottoporre agli utenti.



**Figura 5.2 – Architettura AUREE**

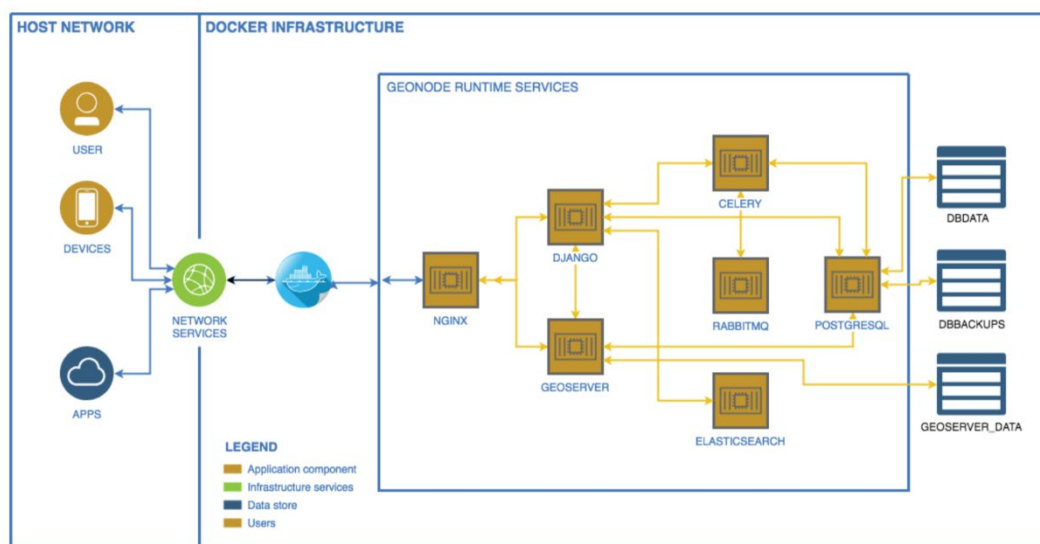
Il portale è stato customizzato con la grafica del progetto ed è disponibile all'indirizzo [www.auree.it](http://www.auree.it). All'interno del portale sono stati inseriti al momento i contenuti iniziali, alcune mappe e documenti del progetto.

Tutte le tecnologie utilizzate nel progetto sono OpenSource e il codice sarà disponibile per il suo riuso tramite GitHub. Attualmente il codice si trova in modalità privata nel repository di Nordai s.r.l., ma sarà facilmente esportabile in altri repository dedicati.

<sup>3</sup> Docker è un sistema per l'automazione del deployment di un'applicazione, ed è estremamente utile sia per gli sviluppatori in fase di test, sia per la distribuzione di un'applicazione.

Il sistema è stato costruito in un'infrastruttura cloud basata su hardware completamente ridondato, con performance elevate, che fornisce garanzie in termini di affidabilità e flessibilità. È stato inoltre configurato un backup di tutto il sistema a cadenza giornaliera.

La piattaforma AUREE sarà disponibile come pacchetto per essere installato e orchestrato con Docker. Questa peculiarità consentirà sia una forte scalabilità del progetto sia una migliore interoperabilità con i sistemi.



**Figura 5.3 – AUREE architettura a container**

Il Cloud, l'Open Source e l'interoperabilità rendono AUREE una piattaforma perfettamente in linea con gli orientamenti dell'Agenda Digitale Italiana ed Europea.

#### 5.4 Versione beta

La Beta del portale rappresenta un'anteprima di quel che sarà il nuovo modello di sito web e ha quindi come obiettivo quello di promuovere i servizi e il potenziale di rappresentazione dello strumento. È una prima versione del portale caratterizzata da una struttura capace di supportare la rappresentazione dell'informazione. Questa versione riguarda solo una parte dei contenuti e delle finalità del portale, ed è principalmente dedicata a testare le interfacce sviluppate, a provare procedure e algoritmi, alla raccolta dati tramite questionari e a perfezionare la rappresentazione grafica.

La versione beta comprende materiale documentale, semplici contenuti geografici e solo alcune delle interfacce di interazione con l'utenza; più nello specifico include:

- struttura in pagine tematiche (progetto, documentazione, ecc.);
- contenuti documentali e testi;
- layers geografici di contesto relativi al comune di Carbonia;
- layers di analisi e risultati dell'UBEM per una porzione della città di Carbonia;
- layers con i contenuti dell'Abaco per una porzione della città di Carbonia;
- interfaccia gestione profilo personale S1;
- interfaccia utente registrato generico S2;
- interfaccia gestione edificio privato S3;
- interfaccia gestione del portale S6.

Le interfacce di cui sopra si intendono realizzate in una versione preliminare e semplificata nella grafica, nei contenuti e nelle funzionalità, finalizzate a testare il trattamento dei dati e le informazioni richieste alle diverse tipologie di utenti (U1, U2).

#### 5.4.1 Home Page del portale

La *home page* del portale auree.it è caratterizzata da un menù di navigazione a tendina attraverso il quale è possibile accedere alle specifiche sezioni. Le voci principali sono:

- *Abaco*, costituito da tre pagine secondarie: abaco degli edifici, patrimonio privato, patrimonio pubblico;
- *Il progetto*, che contiene una breve descrizione dello stesso;
- *Dati*, contenenti mappe, layers, documenti e servizi remoti;
- Questionario energetico (Allegato 4 – Questionario energetico).

È inoltre possibile raggiungere le pagine secondarie del menù attraverso i link ad accesso rapido disposti in primo piano sulla pagina.

Il link di accesso al portale, da cui è possibile accreditarsi, è posizionato in alto a destra della barra superiore. In basso a sinistra della pagina, alla sezione *Discover the dataset* sono indicati il numero di mappe e layer disponibili e taggati con l’hashtag *#structure*. Vi è poi in primo piano una sezione notizie e la pagina del progetto. Parte dei contenuti descritti, che diverranno dinamici nella versione finale del portale, sono gestibili tramite CMS “Content Management System”, che consente anche il controllo dei livelli di accesso alle informazioni.

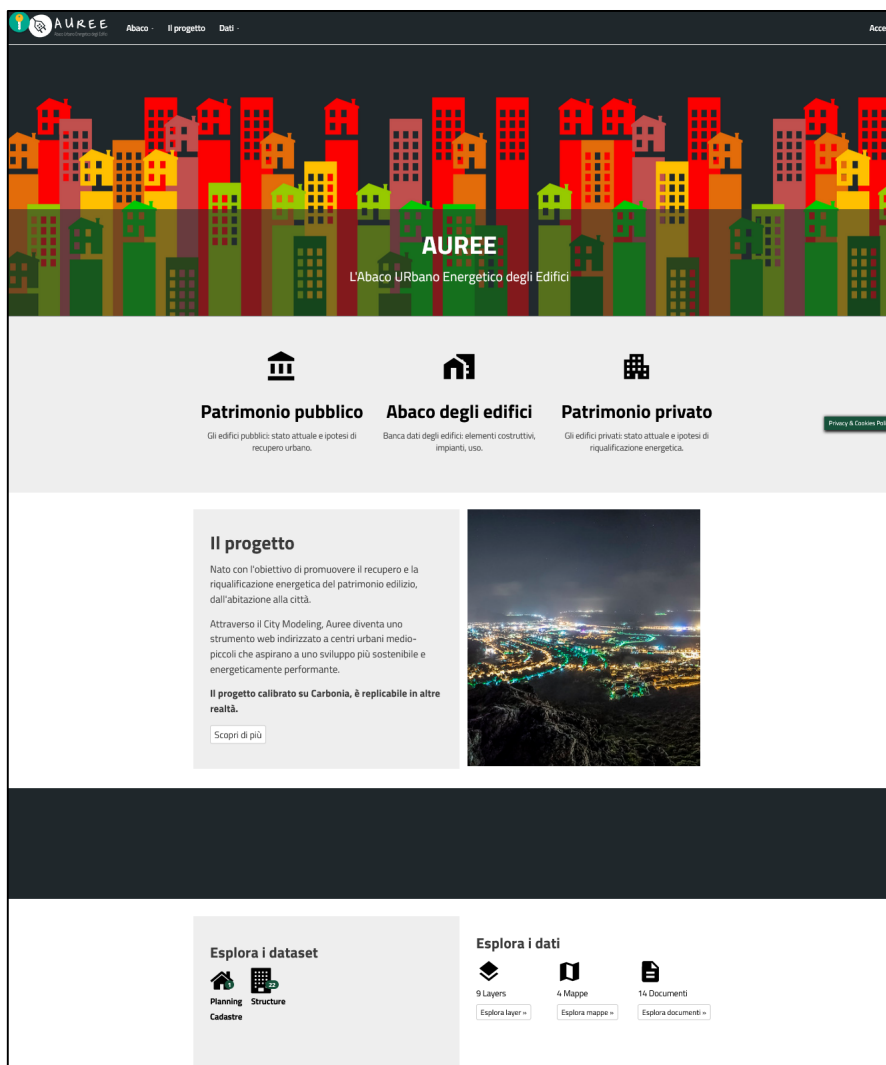


Figura 5.4 – Home page portale Auree.it

#### 5.4.2 Questionario energetico

In rilievo nella pagina principale, selezionando la voce “questionario”, si è indirizzati, previa registrazione alla piattaforma, alla sezione di compilazione. L’indagine consentirà di comprendere quali siano le interazioni che intercorrono tra gli edifici e i loro utilizzatori in termini energetici, andando a investigare il modo in cui le persone

vivono l'edificio, quanta, quando e perché si consuma energia, e quale è il ritorno in termini di benessere. In generale il *questionario* prende in considerazione diversi aspetti delle abitazioni, come informazioni generiche sulla casa, sulla struttura, sui consumi e sull'utilizzo dell'energia, sulle abitudini degli occupanti e si suddivide in 10 sezioni principali:

- *Informazioni generali sull'edificio della propria unità immobiliare* (ad es. città di ubicazione, tipologia edilizia; periodo di costruzione, etc);
- *Dati dell'involucro edilizio* (muratura, copertura, basamento);
- *Dati della propria abitazione* (superficie, tipologia di piani, tipologia di intervento di miglioramento delle prestazioni energetiche, tipologia di infissi e schermature, etc);
- *Dati sul sistema di riscaldamento della propria abitazione* (impianto installato a servizio della maggior parte dell'abitazione e o altri sistemi ad integrazione del sistema principale);
- *Dati sul sistema di raffrescamento* (impianto installato a servizio della maggior parte dell'abitazione e o altri sistemi ad integrazione del sistema principale);
- *Dati sul sistema per la produzione di acqua calda sanitaria ACS* (Tipologia di sistema)
- *Fonti rinnovabili* (sistemi alimentati a fonti energetiche rinnovabili sono presenti nella tua abitazione);
- *Consumi energetici* (in euro la spesa annuale media dell'energia elettrica, metano/gas di città, GPL;
- *Comfort e profilo d'uso dell'abitazione*;
- *Altre informazioni* inerenti il livello di soddisfazione generale dell'abitazione.

Il questionario si rivolge prevalentemente alla cittadinanza di Carbonia ed è comunque accessibile a tutti gli utenti che si registrano alla piattaforma. Il cittadino ricopre in tal senso un ruolo chiave: i dati ottenuti attraverso la compilazione consentiranno infatti di comprendere direttamente da chi vive all'interno dell'edificio le principali problematiche relative al patrimonio edilizio e, ad esempio, quali siano i sistemi tecnologici più utilizzati per la climatizzazione e la produzione di acqua calda sanitaria e di conoscere le loro preferenze e aspettative riguardo al proprio edificio.

In un primo momento il questionario sarà volto alla raccolta dati, utili alla creazione di un database degli edifici residenziali, che *saranno trattati in modo aggregato nel rispetto della legge sulla privacy* ed è proprio per questa ragione che i risultati saranno prettamente statistici e verranno adoperati per sviluppare studi tipologici più accurati. La versione finale del portale consentirà agli utenti di:

- effettuare un confronto tra i propri dati di consumo energetico e quelli di edifici simili;
- prendere coscienza delle opportunità e dei limiti del proprio edificio;
- ottenere per la propria abitazione dei consigli sulle possibili azioni di retrofit volte al risparmio energetico, alla riduzione dei consumi di energia sulle bollette e al miglioramento del comfort associato;
- ottenere indirizzi ed i contatti di imprese locali esperte nel settore.

Tutti i dati nel complesso contribuiranno a dare un quadro più preciso sul quale basare programmi eventuali, costruiti su strategie di recupero e di incentivazione di iniziativa comunale, dando al contempo alle imprese uno strumento in più per sviluppare servizi e prodotti mirati al contesto.

Nella versione definitiva del portale, il questionario diverrà parte integrante del modulo per il proprietario/occupante che permetterà di effettuare le simulazioni di retrofit.

La compilazione del questionario consentirà inoltre di testare l'efficacia dello stesso sia in termini di partecipazione, sia attraverso un feedback degli utenti coinvolti.

#### 5.4.3 Sezioni principali del portale

In questa prima versione del portale, sia nella sezione *Abaco degli edifici* che in quella *Patrimonio privato* sono state caricate le informazioni complete solo per la tipologia edilizia O5 (palazzo della fondazione), ma nella versione finale verranno riportate anche quelle disponibili per le altre tipologie ricadenti nell'area di studio e ampiamente descritte nei capitoli precedenti. La scelta di partire dalla rappresentazione della tipologia edilizia O5 nasce dalla ampia disponibilità di documentazione, che ha consentito lo sviluppo di un'interfaccia completa

tale da agevolare in seguito il lavoro di caricamento delle altre tipologie. Per gli edifici carenti di informazioni l'interfaccia sarà rimodulata in funzione dei dati disponibili.

#### 5.4.4 Abaco degli edifici

In questa sezione è possibile visualizzare la mappa di Carbonia, nella quale sono evidenziati gli edifici appartenenti al caso studio. Sarà possibile visualizzare il layer delle tipologie edilizie tematizzato per periodo di costruzione. In dettaglio, cliccando su un elemento di fabbrica, comparirà sul lato destro della mappa una finestra riportante la descrizione generale della tipologia edilizia, il periodo di costruzione, i dati generali ad essa associati (n° unità residenziali – commerciali; etc), quelli relativi alle volumetrie e alle superfici riscaldate. Dalla voce “scheda” sarà possibile accedere, tramite link diretto, ai documenti relativi alle pareti, alle coperture, alle basi (documenti visualizzabili in formato pdf) e alla tipologia, visualizzabili in questa versione solo per la tipologia edilizia O5 (Figura 5.5).

Ad eccezione della scheda relativa alle tipologie - in cui oltre a una descrizione generale sono presenti, se disponibili, anche alcune note storiche, i dati generali ad essa associati (livelli, n° unità immobiliari), il numero di edifici simili nel contesto urbano e l'anno di costruzione - nelle altre schede sono riportate:

- le caratteristiche costruttive più probabili dell'elemento edilizio considerato, ricavate o dalla documentazione disponibile o effettuando ipotesi plausibili sulla base della tipologia costruttiva e del periodo di costruzione;
- la scheda tecnica con i parametri termo –fisici dell'elemento raffrontati con i limiti di legge.

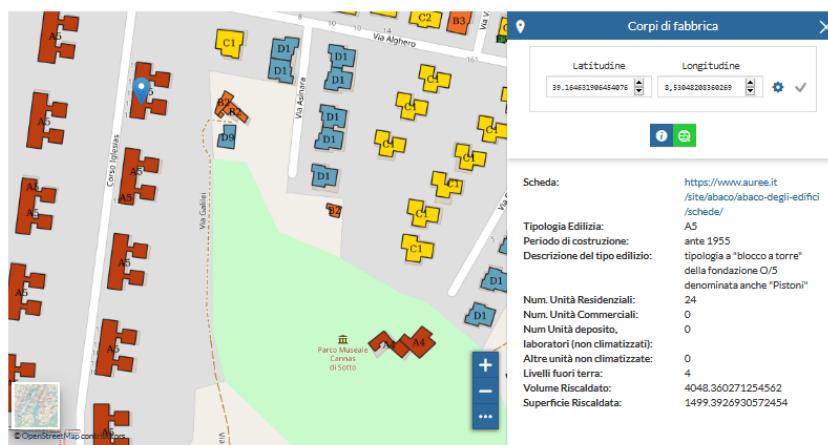


Figura 5.5 – Dettaglio della mappa dell'abaco degli edifici

#### 5.4.5 Patrimonio privato

Nella sezione patrimonio privato è pubblicata la mappa energetica degli edifici di Carbonia ricadenti nell'area studio. In questa versione i contenuti sono disponibili per la sola visualizzazione. Cliccando su un edificio, l'utente ha accesso a una finestra riportante i valori di prestazione energetica stimati dall'UBEM sulla base della procedura tipologica impostata, che fanno riferimento alle superfici e alle volumetrie riscaldate, ai guadagni e alle perdite di calore, al fabbisogno termico netto mensile dell'involucro e all'energia primaria (ovvero quanta energia richiederebbe l'edificio per essere totalmente riscaldato utilizzando: un impianto con pompa di calore, un impianto a caldaia e radiatori e in assenza di impianto, ovvero col solo utilizzo di stufette elettriche e a gas). In questa versione la scheda delle performance, accessibile tramite link diretto in formato pdf, è disponibile solo per gli O5 e nello specifico per l'unità immobiliare all'ultimo piano, al piano intermedio e al piano primo e per i tre appartamenti sono riportate le possibilità di retrofit proposte.

Nel calcolo delle prestazioni energetiche le performance sono state ottenute utilizzando un software di calcolo certificato, ipotizzando un impianto a pompa di calore, che dall'indagine condotta è risultata la tecnologia più diffusa. Un approfondimento della procedura adottata è riportato nel report sviluppato da UniCA - DIMCM

nell'ambito dell'attività LA 1.34 *“Sviluppo di un protocollo di audit per l'implementazione di soluzioni impiantistiche sostenibili: il caso studio di Carbonia”*.

Nella versione finale, l'*interfaccia proprietario* permetterà all'utente di fornire informazioni sul sistema edificio impianto e sul profilo d'uso. Con le nuove informazioni ottenute, il sistema adeguerà i calcoli di prestazione per l'edificio, proponendo all'utente dei suggerimenti per interventi di efficientamento energetico e miglioramento del comfort interno basati sul feedback qualitativi acquisiti e sulle caratteristiche specifiche dell'edificio.

## Patrimonio Privato

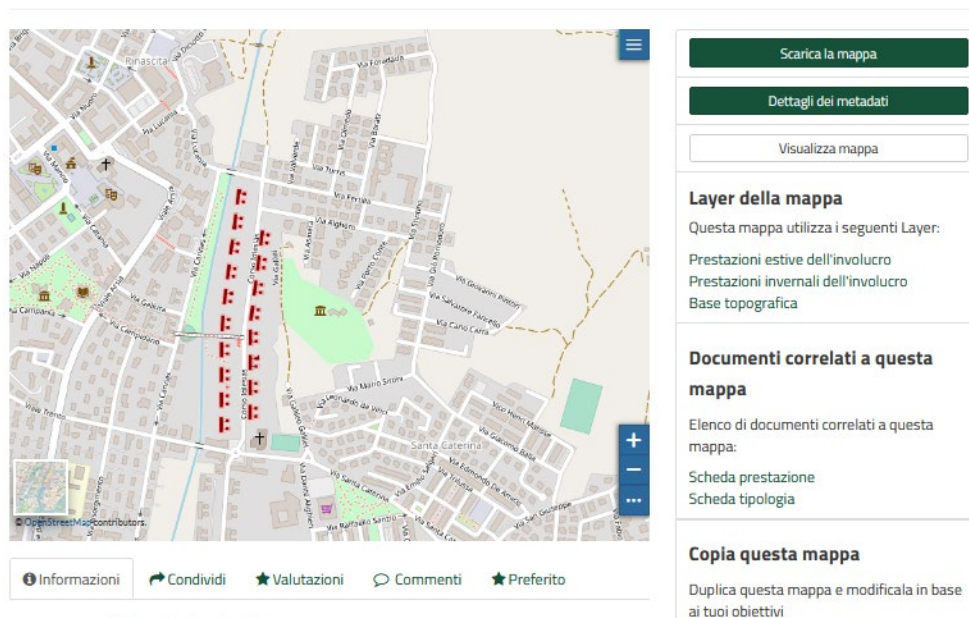


Figura 5.6 – Mappa Patrimonio Privato

### 5.4.6 Patrimonio pubblico

Accedendo alla sezione *Patrimonio pubblico* è possibile visualizzare la mappa georeferenziata degli edifici pubblici di Carbonia, la cui destinazione d'uso (ad esempio *edificio commerciale generico*, *edificio industriale generico*, *edificio pubblico scuole*, etc..) è contraddistinta da uno specifico colore come riportato nella legenda (Figura 5.7).

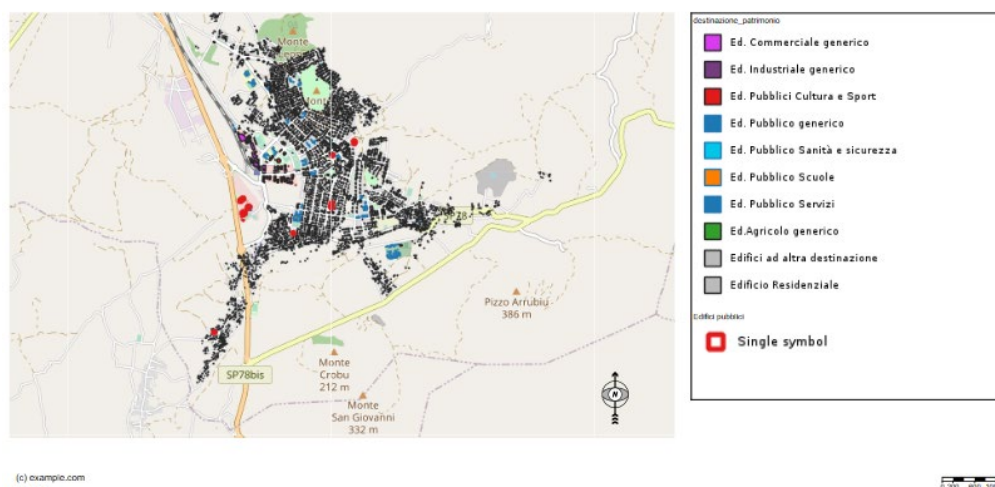


Figura 5.7 – Mappa georeferenziata degli edifici pubblici di Carbonia – destinazione d'uso

Acquisire le informazioni di base degli edifici è molto semplice. Cliccando infatti sull'edificio, si aprirà una finestra indicante alcuni dati estrapolati dal database comunale (consumi elettrici, dati relativi all'involucro edilizio e agli impianti installati, etc.). Se disponibile, selezionando l'icona  posizionata in alto a destra sulla finestra, sarà inoltre possibile accedere tramite link diretto alla scheda descrittiva dell'edificio in formato pdf (carta d'identità energetica dell'edificio), contenente una descrizione dell'edificio, degli impianti installati e dello stato di comfort estivo e/o invernale percepito all'interno degli ambienti.

## Patrimonio pubblico

Gli edifici pubblici: stato attuale e ipotesi di recupero urbano.

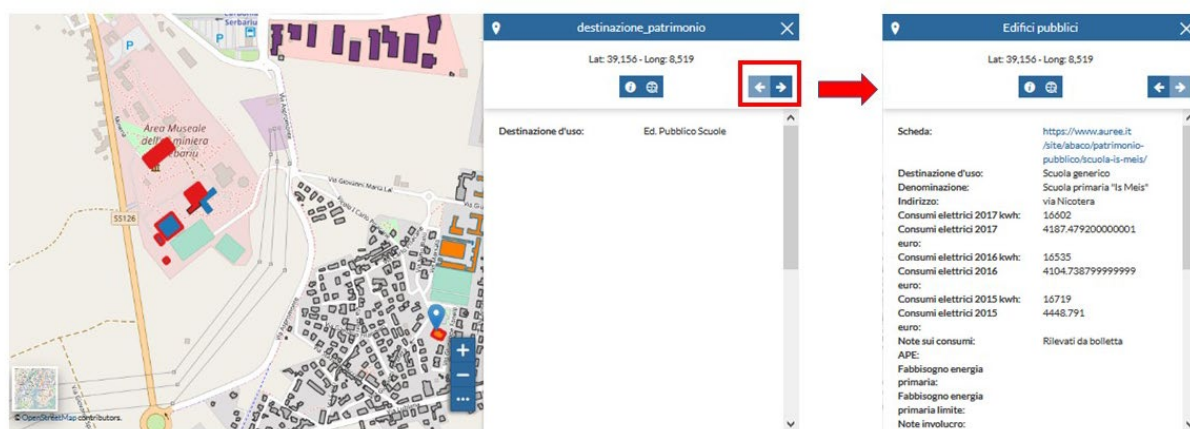


Figura 5.8 – Mappa degli edifici pubblici di Carbonia

### 5.4.7 Esplorazione delle mappe

Le mappe hanno accesso libero in consultazione, quindi l'utente non accreditato potrà scaricare la mappa e visualizzarla, accedendo alle funzionalità di base:

- Duplicare la mappa di default e modificarla in base ai propri obiettivi;
- Interrogare la mappa, accendendo e spegnendo i layers;
- Stampa , scegliendo la risoluzione e il formato All'interno del pannello di configurazione presentato dal sistema, selezionare il formato/orientamento (orizzontale / verticale);
- Creare una nuova mappa con i layers messi a disposizione nella cartella "catalogo". È possibile inoltre utilizzare anche i layers resi disponibili nei servizi di interoperabilità del geo portale della Regione Sardegna o vi è anche la possibilità di creare nuovi layers direttamente online. La procedura che permette di importare un nuovo layer che non è presente nella cartella "catalogo" e che si vuole aggiungere nella mappa è semplice e richiede i seguenti passaggi:
  - i. dal menu "Dati" selezionare la sezione "Servizi Remoti"; cliccando sul titolo del servizio si apre una pagina dedicata;
  - ii. cliccando sul pulsante "Importa risorse del servizio" si accede ad una lista delle risorse disponibili;
  - iii. si selezionano le risorse che si desiderano importare e si clicca su "Importa risorse"; a questo punto il sistema aggiunge le risorse nei layers disponibili ed è possibile aggiungerli sulle mappe.

Il sistema di coordinate corrente è visibile all'interno della barra posta in basso a destra della mappa ed è possibile scegliere di visualizzare o nascondere le coordinate. Il sistema di riferimento attivo di default è il World Geodetic System WGS84. È inoltre possibile impostare un sistema di riferimento differente. Registrandosi al portale, sarà inoltre possibile condividere la mappa via mail, facebook e twitter, rilasciare un commento/valutazione e salvare la mappa nella sezione “preferiti”.

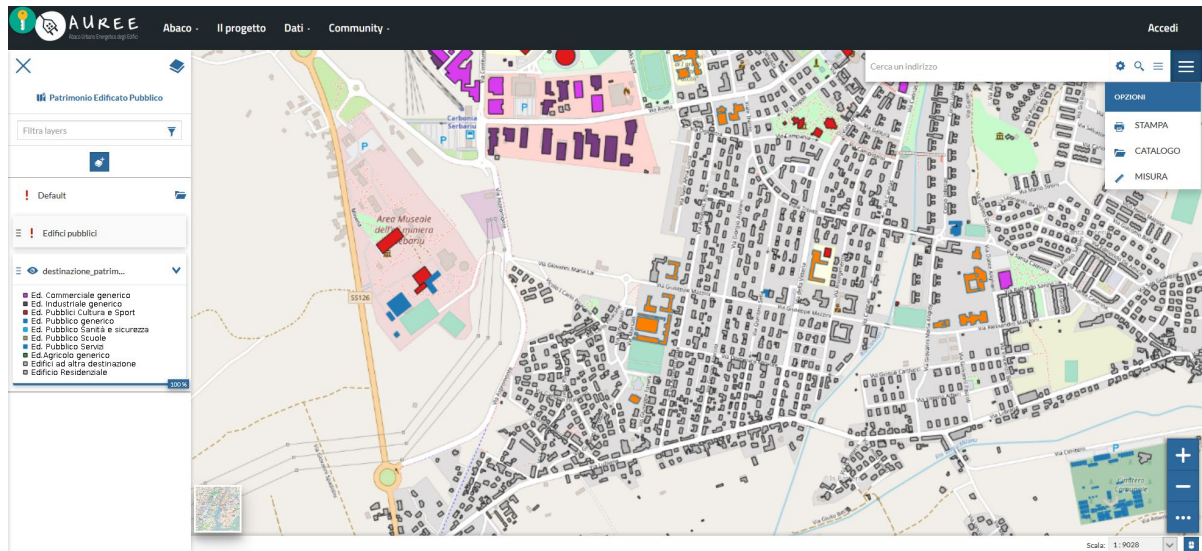


Figura 5.9 – Schermata visualizzazione mappa

## 6 Conclusioni e sviluppi

Come già accennato, questo lavoro riporta lo stato attuale di alcune attività che si concluderanno nella prossima annualità, perciò si sono presentati risultati preliminari e metodologie non ancora definitive e o completamente testate.

Tuttavia l'attività svolta nella presente annualità ha permesso di individuare meglio le criticità della metodologia, fornendo importanti indirizzi per il proseguo della ricerca. In sintesi le attività presentate si focalizzano sullo sviluppo della metodologie e degli algoritmi dell'UBEM e nella presentazione della struttura generale del portale con la sua versione preliminare.

In letteratura, la finalità principale degli strumenti di UBEM è la determinazione di una stima quanto più affidabile possibile della domanda energetica, con i limiti del contesto e le risorse legate allo studio. Nel presente caso a questo obiettivo si aggiunge la necessità di sviluppare efficaci interfacce di dialogo con gli utilizzatori del portale, i quali necessitano di sintesi, semplicità d'uso e trasparenza delle procedure. Le due attività sono perciò caratterizzate da approcci e finalità abbastanza diversi, ma dovranno essere ben coordinate per dare origine a uno strumento efficace, trovando un equilibrio tra dati disponibili, procedure di pre-processing, algoritmo di modellazione energetica, affidabilità dei risultati, e efficacia della rappresentazione e delle interfacce del portale. Perciò, anche nel proseguo della ricerca, l'attività proseguirà essenzialmente sulle stesse due tematiche principali: da una parte lo sviluppo e il testing del portale e dall'altra l'affinamento delle procedure di trattamento dei dati e di modellazione energetica.

Lo sviluppo e il testing delle procedure nel caso studio, ha permesso di individuare alcune criticità in diverse fasi della metodologia su cui il proseguo della ricerca dovrà focalizzare l'attenzione.

### *Trattazione dei dati geografici*

I dati geografici di base sono disponibili per gran parte dei centri della RAS. Essi hanno una struttura che consente la definizione di algoritmi per la loro preparazione. Il caso studio ha però mostrato che il dato topografico riferito ai volumi edilizi non è pienamente compatibile con la definizione dei volumi climatizzati utilizzati come base nella modellazione energetica: le altezze delle facciate non tengono conto delle parti interrato, la morfologia delle coperture può portare ad una valutazione non verosimile delle superfici utili che hanno un forte impatto sulla prestazione dell'edificio. Perciò nella prossima annualità si svilupperanno alcune analisi di sensitività sui dati di ingresso utili a ricalibrare i dati geografici di input ed a raffinare la metodologia.

### *Sviluppo dell'approccio tipologico*

L'approccio tipologico è l'altro principale dato di ingresso della metodologia, e ha un ruolo fondamentale nella strutturazione della conoscenza finalizzata alla rappresentazione e alla interazione con gli utenti del portale tramite dell'abaco geografico. Le tipologie sviluppate per l'involucro edilizio sembrano essere efficaci nel rappresentare geograficamente il patrimonio edilizio residenziale, tuttavia l'articolazione sviluppata per il caso di studio dovrà essere testata per tutto l'ambito urbano della città e valutata anche attraverso il feedback degli utenti che compilano il questionario proposto nel portale. Rimane ancora da definire l'approccio relativo ai sistemi impiantistici e ai profili d'uso degli edifici, i dati di base che si sono riusciti a raccogliere sono abbastanza frammentari e non completi, perciò per il momento ci si è limitati a completare la metodologia adottando le ipotesi impiantistiche più probabili sulla base delle attività di indagine già eseguite e della conoscenza esperta del contesto. Il questionario prevede molte domande sugli impianti e il loro profilo d'uso, perciò nella prossima annualità la metodologia verrà raffinata tenendo conto anche di questa fonte di dati diretta e dinamica, ma caratterizzata da una completezza ed affidabilità tutta da verificare.

### *Analisi geometrica degli edifici*

La modellazione geometrica, funzionale a definire i parametri di ingresso del calcolo energetico, ha mostrato alcune criticità, alcune direttamente legate ai dati topografici di ingresso, altre più proprie degli algoritmi sviluppati. La validazione preliminare presentata in questo lavoro ha mostrato che il fattore dell'equilibrio termico, che introduce maggiori differenze tra il calcolo UBEM e il calcolo di normativa, è la valutazione dei guadagni solari, che si basa essenzialmente sul valore di un angolo di ostruzione determinato su ogni facciata tramite tool GIS sviluppato nel progetto. Sarà perciò necessario approfondire il confronto tra i risultati ottenibili dal tool sviluppato e quelli di una procedura standard rigorosa, ed eventualmente raffinare l'algoritmo.

### *Modellazione energetica*

La procedura combina le assunzioni tipologiche con le geometrie di ogni singolo edificio per effettuare il calcolo del fabbisogno di energia utile, adottando una procedura coerente con quella della normativa. Si è poi sperimentata una procedura semplificata per ricavare i fabbisogni di energia consegnata e di energia primaria, per il momento basata sulle configurazioni impiantistiche più diffuse. L'approccio sviluppato attualmente è già sufficiente per lo sviluppo delle interfacce del portale, in quanto tramite il questionario di risolve l'assegnazione tipologica degli impianti e dei profili d'uso. Tale approccio tipologico sarà raffinato nella prossima annualità sulla base dei dati raccolti dal portale e tramite la comparazione con i risultati di software di controllo applicati su edifici tipo e su edifici reali. Inoltre l'approccio per il calcolo dei parametri di efficienza influenza anche la scala di dettaglio dei risultati dell'UBEM, che potrebbe passare da quella del singolo edificio a quella dell'isolato al fine di utilizzare dei valori statistici e profili medi.

### *Validazione e calibrazione modello*

Considerando la tipologia di dati disponibili e le difficoltà ancora presenti per la raccolta presso gli enti competenti e presso anche i diretti interessati, non sembra al momento possibile l'impostazione di una vera e propria attività di validazione e calibrazione dei modelli su dati misurati. Il portale permetterà di raccogliere informazioni sul profilo d'uso del sistema edificio – impianto, ma le domande sui consumi abituali generalmente sono quelle con meno risposte e per di più hanno un grado di affidabilità che dovrà essere valutato. Si prevede perciò di impostare un confronto tra i risultati del modello UBEM e altri software di controllo su edifici tipologici in configurazione ideale e su eventuali casi reali di cui si possa accedere a dati di consumo certi.

### *Sviluppo del portale*

La beta del portale, oltre che servire come test per l'interazione con gli utenti del portale, ha già la struttura e l'architettura informatica di base dello strumento. Nella prossima annualità si imposteranno le interfacce dedicate agli utenti del portale. Si dovranno perciò definire tutti gli algoritmi per la trattazione dei dati e per la gestione dei flussi informativi, compresa la realizzazione delle GUI. Le interfacce si baseranno sulla struttura conoscitiva impostata durante questa annualità (abachi, tipi edilizi, etc) e sui risultati dell'UBEM, e porteranno a nuovi contenuti sintetizzati sulla base del feedback degli utenti. Le stesse metodologie sviluppate in questa annualità dovranno in parte adeguarsi, in modo da facilitare la gestione dei dati e l'esecuzione dei modelli nelle procedure svolte dal portale e renderle complementari con quelle ancora gestite tramite gli strumenti desktop.

## 7 Riferimenti bibliografici

- [1] European Commission, 2050 long-term strategy,  
[https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050\\_en%23~:text=The%20EU%20aims%20to%20be,netzero%20greenhouse%20gas%20emissions.&text=All%20parts%20of%20society%20and,%2C%20buildings%2C%20agriculture%20and%20forestry](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en%23~:text=The%20EU%20aims%20to%20be,netzero%20greenhouse%20gas%20emissions.&text=All%20parts%20of%20society%20and,%2C%20buildings%2C%20agriculture%20and%20forestry)
- [2] COM (2018) 773 - Un pianeta pulito per tutti. Visione strategica europea a lungo termine per un'economia prospera, moderna, competitiva e climaticamente neutra -  
<https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2018/IT/COM-2018-773-F1-IT-MAIN-PART-1.PDF>
- [3] Commissione Europea, 2020 - Energy efficiency in buildings: consultation on 'renovation wave' initiative.  
<https://ec.europa.eu/info/law/betterregulation/have-your-say/initiatives/12376-Commission-Communication-Renovation-wave-initiative-for-the-building-sector>
- [4] <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12376-Commission-Communication-Renovation-wave-initiative-for-thebuilding-sector>
- [5] PNIEC, dicembre 2019 [PNIEC finale 17012020.pdf \(mise.gov.it\)](#)
- [6] ENEA – Report “Rapporto Annuale Efficienza Energetica”, 2020  
<https://www.efficientaenergetica.enea.it/component/jdownloads/?task=download.send&id=453&catid=40%20&Itemid=101>
- [7] ENEA - Report “L'efficienza energetica e l'utilizzo delle fonti rinnovabili negli edifici esistenti”, 2020  
<https://www.efficientaenergetica.enea.it/component/jdownloads/?task=download.send&id=452&catid=40%20&Itemid=101>
- [8] MiBACT - Segreteria tecnica, “Linee di indirizzo per il miglioramento dell'efficienza energetica nel patrimonio culturale, Architettura, centri e nuclei storici ed urbani”,  
<http://www.beniculturali.it/mibac/export/MiBAC/>
- [9] L. De Santoli, “Guidelines on energy efficiency of cultural heritage”, Energy and Buildings 86 (2015) 534–540, <http://dx.doi:10.1016/j.enbuild.2014.10.050>
- [10] L. Kranzl and the ENTRANZE consortium (2014), Laying Down The Pathways To Nearly Zero-Energy Buildings A toolkit for policy makers, Final Report of the Policies to enforce the transition to nearly zero energy buildings in the EU-27 (ENTRANZE) founded by IEE, <http://www.entranze.eu/pub/pub-policies>
- [11] P. De Pascali, M. Reginaldi, V. Alberti, D. De Ioris. Applicazioni di sostenibilità eco-energetica per la riqualificazione urbana. Editore: Orienta Edizioni (2014), ISBN-13: 9788896467312
- [12] P. Caputo, G. Costa, S. Ferrari, *A supporting method for defining energy strategies in the building sector at urban scale*. Energy Policy 55 (2013), 261–270. DOI: [10.1016/j.enpol.2012.12.006](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.006)
- [13] C. F. Reinhart, C.C. Davila, Urban building energy modeling — A review of a nascent field. Building and Environment, 97 (2016), 196–202. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.12.001>
- [14] <https://www.istat.it/it/dati-analisi-e-prodotti/microdati>
- [15] <http://www.regione.sardegna.it/j/v/2420?s=1&v=9&c=15032&esp=1&tb=15028>

- [16] <https://www.provincia.sudsardegna.it/it/page/impianti-termici-cc44b5f4-9ce5-4643-afad-0b1bce9b21fe>
- [17] [https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/statistiche/dnn\\_ctr4338\\_TernaViewDocumentView\\_grdDocumentChangePage/2](https://www.terna.it/it/sistema-elettrico/statistiche/dnn_ctr4338_TernaViewDocumentView_grdDocumentChangePage/2)
- [18] <https://www.sardegnaenergia.it/energia1;jsessionid=8E52E1B297BAB0571143FCDE8A47A12F>
- [19] <http://www.sardegnaenergiaportale.it/areetematiche/catasto/>
- [20] <https://gino.istat.it/energia/front/>
- [21] Lamberto Tronchin, Kristian Fabbri, Energy Performance Certificate of building and confidence interval in assessment: An Italian case study, Energy Policy, Volume 48, September 2012, Pages 176-184, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.05.011>
- [22] C. Ratti, N. Baker, K. Steemers, Energy consumption and urban texture, Energy Build., 37 (2005), pp. 762-776
- [23] Yoshiyuki Shimoda, Takahiro Asahi, Ayako Taniguchi, Minoru Mizuno, (2007); Evaluation of city-scale impact of residential energy conservation measures using the detailed end-use simulation model; Energy 32 (2007) 1617–1633; <https://doi:10.1016/j.energy.2007.01.007>
- [24] G.V. Fracastoro, M.A. Serraino, A methodology for assessing the energy performance of large scale building stocks and possible applications, Energy and Buildings 43 (4) (2011) 844–852, <https://doi:10.1016/j.enbuild.2010.12.004>
- [25] J. Hofierka, M. Zlocha, A new 3D solar radiation model for 3-D city models, Trans. GIS, 16 (5) (2012), pp. 681-690
- [26] <https://inspire.ec.europa.eu/Themes/126/2892>
- [27] <https://www.catasto.it/categorie.html>
- [28] Perez, R., Ineichen, P., Seals, R., Michalsky, J., Stewart, R., 1990. *Modelling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance*. Solar Energy 44 (5), 271–289
- [29] Robinson, D., Stone, A., 2005. *A simplified radiosity algorithm for general urban radiation exchange*. Building Services Engineering Research and Technology 26 (4), 271–284
- [30] Rich, P. et al. (1994), *Using Viewshed Models to Calculate Intercepted Solar Radiation: Applications in Ecology*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing Technical Papers, 524–529
- [31] Robinson, D., Stone, A. (2004), Solar radiation modelling in the urban context, Solar Energy, (77)3, p295-309
- [32] <https://www.logical.it/energetica/il-software-di-calcolo-dinamico-orario-per-progetto-e-diagnosi-energetica-con-la-uni-en-iso-52016-e-l-appendice-italiana-cti>
- [33] <http://www.sardegnaenergiaportale.it/cittacentristorici/manualirecupero.html>
- [34] <https://www.comune.carbonia.su.it/ppcs-centro-storico>
- [35] <http://www.sardegnaenergiaportale.it/index.php?xsl=2425&s=325563&v=2&c=14414&t=1&tb=14401>

## 8 Ringraziamenti

Un ringraziamento particolare spetta al prof. Antonello Sanna, esperto conoscitore e studioso del patrimonio edificato di Carbonia e della sua storia, per la pazienza e la generosità con cui ha messo a disposizione la sua notevole competenza, indirizzando di volta in volta molte delle scelte effettuate durante la ricerca.



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA



Ricerca di Sistema elettrico

## Allegato 1 – Data Base Geografico *Analisi e rappresentazione del patrimonio edilizio residenziale: Caso studio di Carbonia*

S. Pili, F. Poggi, G. Cau, E. Loria, C. Frau



Report RdS/PTR2020/119

## ANALISI E RAPPRESENTAZIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO RESIDENZIALE: CASO STUDIO DI CARBONIA - Allegato 1 – Data Base Geografico

S. Pili, F. Poggi, G. Cau, E. Loria, C. Frau (SOTACARBO)

Aprile 2021

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità

Obiettivo: *N. 1 - Tecnologie*

Progetto: *1.5 - Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti*

Work package: *1 - Edifici ad alta efficienza energetica*

Linea di attività: *LA1.27 - Analisi e rappresentazione del patrimonio edilizio residenziale: caso studio di Carbonia*

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi, ENEA

Responsabile del Work package: Domenico Iatauro, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *"Metodologie e strumenti per lo sviluppo di strategie di riqualificazione del patrimonio edilizio esistente"*

Responsabile scientifico ENEA: Giovanni Puglisi

Responsabile scientifico SOTACARBO: Marcella Fadda

## Indice

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| INTRODUZIONE.....                   | 207 |
| 1. USO DELLA INTERFACCIA QGIS ..... | 207 |
| 2. CONTENUTO DEL DB .....           | 211 |

## Introduzione

In questo allegato si presentano i contenuti del Data Base Geografico come risultato delle attività di quest'anno. Si tratta perciò di un testo descrittivo dei contenuti e delle modalità di utilizzo del DB geografico, che completa quanto presentato nella parte metodologica.

La finalità del DB geografico è di affiancarsi al testo del report mostrando i risultati preliminari ottenuti per l'area studio di Carbonia, permettendo di esplorare l'articolazione degli algoritmi implementati nel modellatore grafico.

Vista la fase ancora di sviluppo della metodologia più volte richiamata, il DB viene fornito in un ambiente di lavoro non propriamente adatto a un uso non esperto. I layer geografici riportano inoltre risultati preliminari non ancora validati e preparati per la rappresentazione sintetica per una utenza non esperta.

In questo documento si forniranno tuttavia le conoscenze minime per permettere di visualizzare i contenuti già precaricati e impostati nella interfaccia. Per azioni più complesse si rimanda alla ampia documentazione sull'uso di QGIS presente in rete.

Durante la prossima annualità verranno impostati strumenti *user friendly* per mostrare la metodologia adottata e i dettagli dei risultati ottenuti. Essa sarà sviluppata in maniera coordinata alla stesura definitiva della metodologia e costituirà una sezione dedicata del portale.

Di seguito si riporta una spiegazione sull'utilizzo dell'interfaccia e una sezione in cui sono riportati in sintesi i contenuti del DB, rimandando per maggiori dettagli al testo del report.

## 9 Uso della Interfaccia QGIS

Il DB geografico è stato sviluppato in ambiente QGIS 3.14, che funge da interfaccia per l'esplorazione dei layer geografici e come ambiente per lo sviluppo delle procedure di trattazione dei dati. Il DB si compone dei seguenti sottoelementi:

- un file in formato geopackage (.gpkg), che contiene tutti dati geografici di base e i risultati dei tools;
- un file progetto di QGIS (.Qgz) che contiene tutte le interfacce di visualizzazione dei contenuti del gpkg e i tools sviluppati.

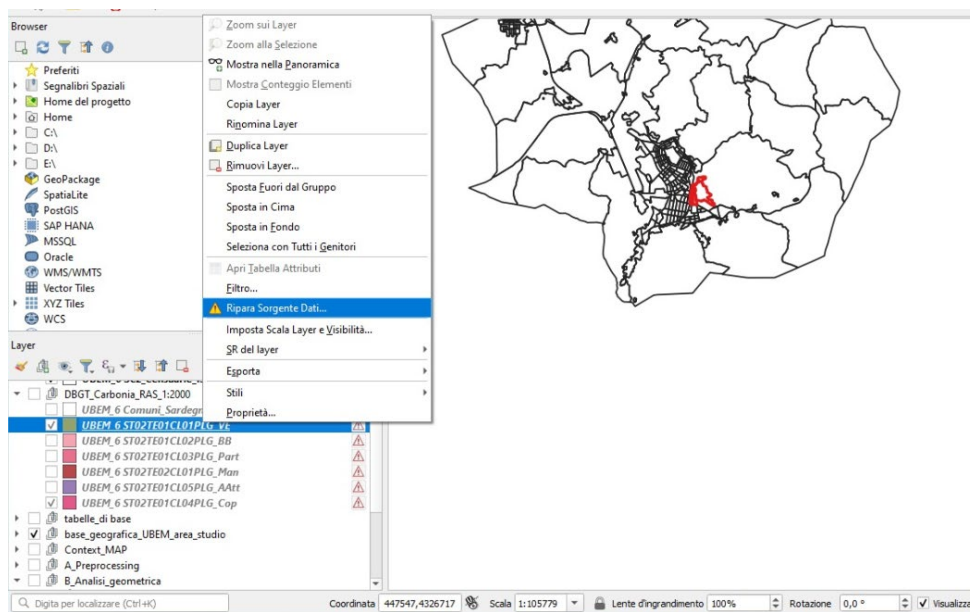
QGIS 3.14 è un software a uso libero, che è facilmente scaricabile e installabile sulla maggior parte dei sistemi operativi<sup>4</sup>. Si consiglia di scaricare l'installatore desktop nella stessa versione di quella utilizzata per il progetto, tuttavia le funzionalità della interfaccia dovrebbero essere pienamente operative anche con le versioni più aggiornate del software.

### Apertura del progetto

Una volta installato il software, si deve procedere al download dei file forniti e posizionare la cartella in C://, poi aprire il file progetto. L'interfaccia dovrebbe già mostrare tutti i contenuti caricati. Qualora alcuni layers mostrassero messaggio di errore per mancanza del collegamento al DB (un segnale rosso triangolare con un punto esclamativo), è necessario rifornire il percorso manualmente tramite l'apposito comando accessibile dal menu a tendina, attivabile con azione del tasto destro sul layer che ha perso i riferimenti (figura 1). Poiché tutti i contenuti presenti nella interfaccia puntano allo stesso DB, dovrebbe bastare correggere il percorso di uno solo dei layers affinché il software corregga in automatico anche tutti gli altri mancanti.

---

<sup>4</sup> <https://qgis.org/it/site/>

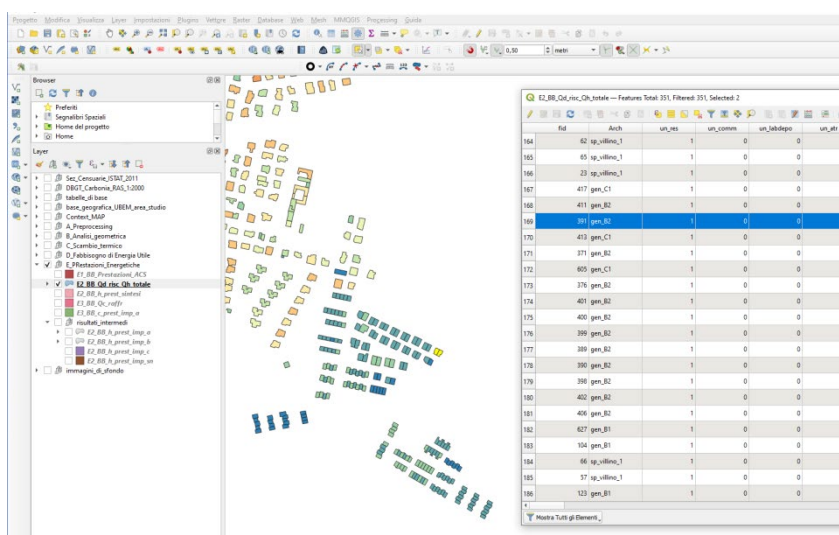
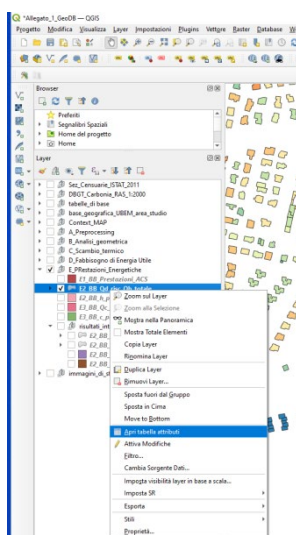


### Visualizzazione dei layer

Per visualizzare i layers inseriti nel progetto è sufficiente attivare la spunta. Nel caso sia presente una tematizzazione, è disponibile anche la legenda sotto il nome dell'oggetto. L'ordine di visualizzazione procede dall'alto verso il basso, perciò un layer attivo in alto copre alla vista quelli sottostanti.

### Visualizzazione delle tabelle

Per visualizzare i contenuti delle tabelle è necessario azionare il tasto destro sul layer di interesse nel riquadro a sinistra, e selezionare "Apri tabella attributi (figura 2)". Si aprirà la tabella che mostra tutti i valori presenti nel layer: a ogni riga corrisponde un oggetto sulla mappa e la selezione può essere effettuata sia tramite la mappa che tramite la tabella.

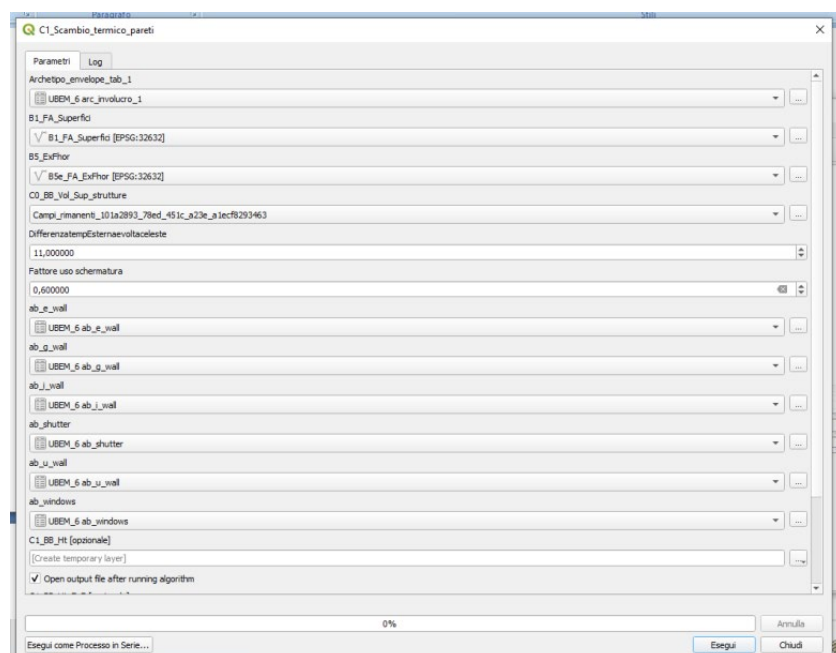
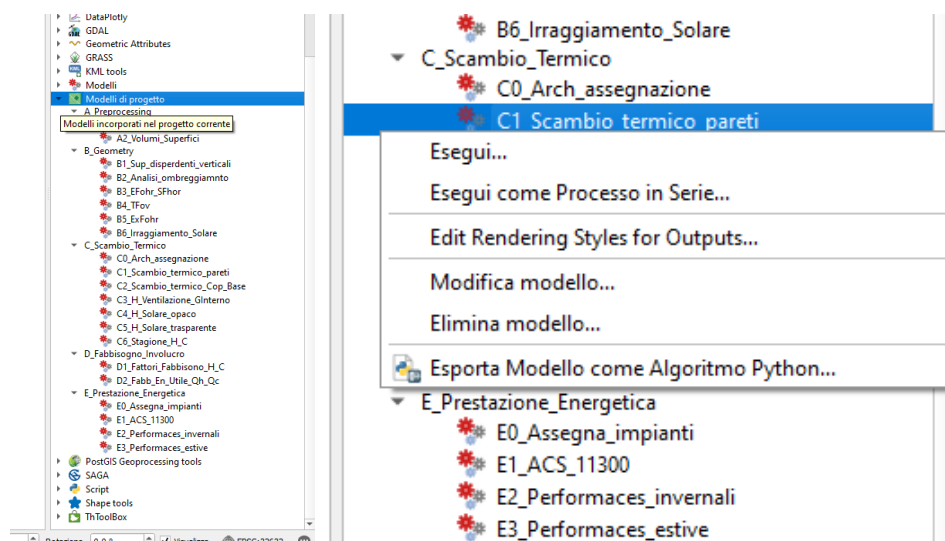


### Esplorazione degli algoritmi inseriti nel modellatore grafico

Per esplorare gli algoritmi implementati nel modellatore grafico è necessario andare nel riquadro degli strumenti di processing posizionato sulla destra della interfaccia e aprire il menù a tendina “Modelli di progetto”. Navigando in esso saranno disponibili i diversi toolset sviluppati (figura 3):

- per utilizzarne uno azionare il tasto destro su quello desiderato e selezionare “Esegui”, si aprirà una interfaccia per inserire i dati di ingresso (figura 4);
- per esplorare il contenuto azionare il tasto destro su quello desiderato e selezionare “Modifica modello”: si aprirà la struttura a grafo che compone il tool, attraverso la quale si possono vedere i dettagli degli algoritmi (figura 5).

Nella interfaccia del modellatore grafico, i riquadri bianchi rappresentano le funzioni utilizzate e per valutarne i settaggi basta effettuare il doppio klik: i riquadri verde chiaro sono gli input e quelli scuri gli output della procedura.



Inputs

- Parameters
  - Banda Raster
  - Booleano
  - Campo del Vettore
  - Colore
  - Configurazione Autenticazione
  - Connection Name
  - Coordinate Operation
  - Database Schema

Reorder Model Inputs

Inputs Algorithms

Model Properties

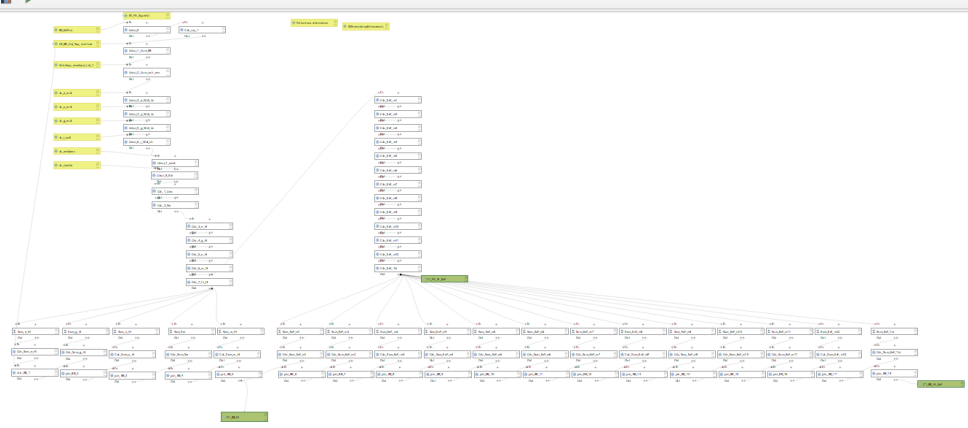
Name CI\_Scambio\_terrino\_pareti

Group C\_Scambio\_Terrino

Variables Model Properties

Undo History

<vuoto>



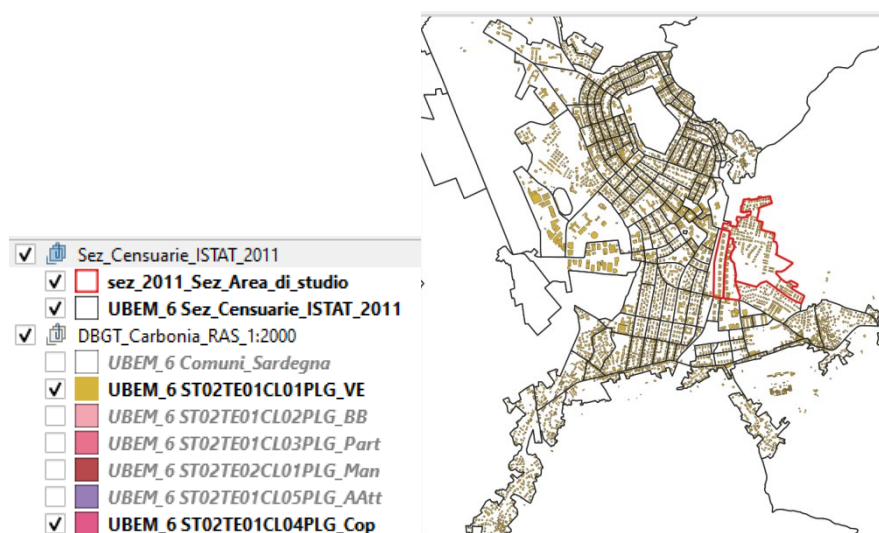
## 10 Contenuto del DB

Il progetto organizza i contenuti del DB geografico secondo la successione logica dello sviluppo del calcolo impostato nel modellatore grafico.

I primi due gruppi contengono le sezioni censuarie ISTAT (CPA 2011) e i layer di base del DBG 1:2000 RAS del centro urbano di Carbonia, utilizzati per la modellazione (figura 6), ossia i layers relativi a:

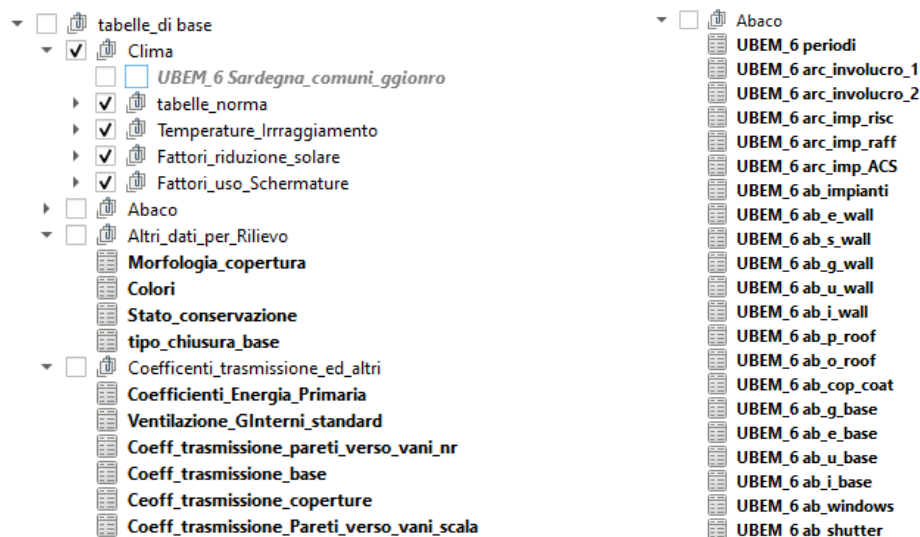
- volumi edilizi (VE),
- unità edilizie (BB),
- particolari edilizi (Par),
- manufatti edilizi (Man),
- copertura del suolo (AAtt),
- coperture degli edifici (cop).

L'esplorazione dei dati contenuti dà una idea dei dati di partenza utilizzati. Per la legenda dei dati presenti nelle tabelle associate, si rimanda alle specifiche tecniche RAS e dell'ISTAT.



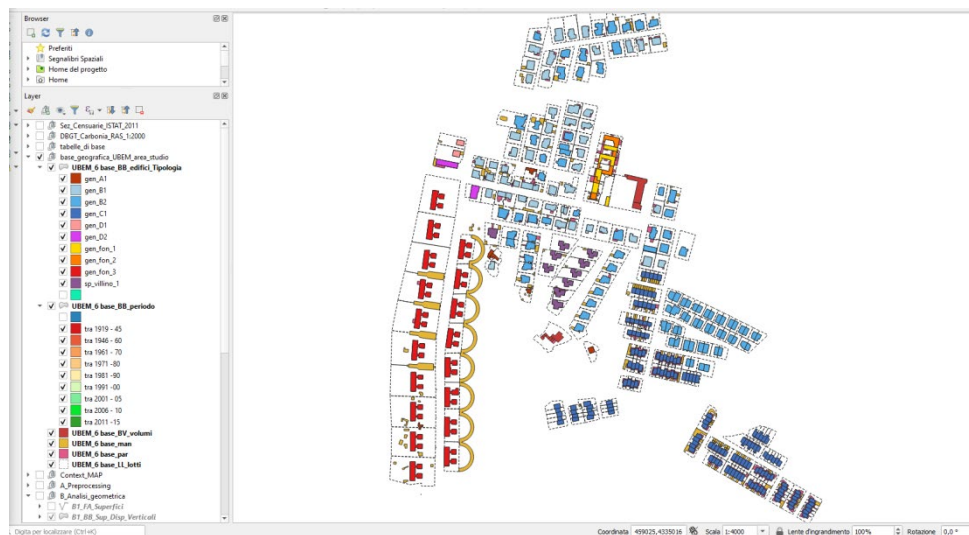
Il terzo gruppo (figura 7) riordina tutti i dati tabellari necessari allo svolgimento della procedura, divisi in quattro sotto sezioni: i dati relativi al clima ed alla valutazione dell'ombreggiamento, le tabelle legate allo sviluppo dell'approccio tipologico (abachi e tipologie), alcuni classi di valori adottati per la fase di rilievo urbano, altri coefficienti utilizzati dalla normativa.

Esplorando le tabelle è possibile vedere l'azione di riordino dei dati base, legata alla implementazione dei prospetti della normativa nelle procedure GIS, e si possono esplorare i contenuti dell'approccio tipologico (figura 2), ricordando che si tratta di dati preliminari utilizzati per testare le procedure del modello.

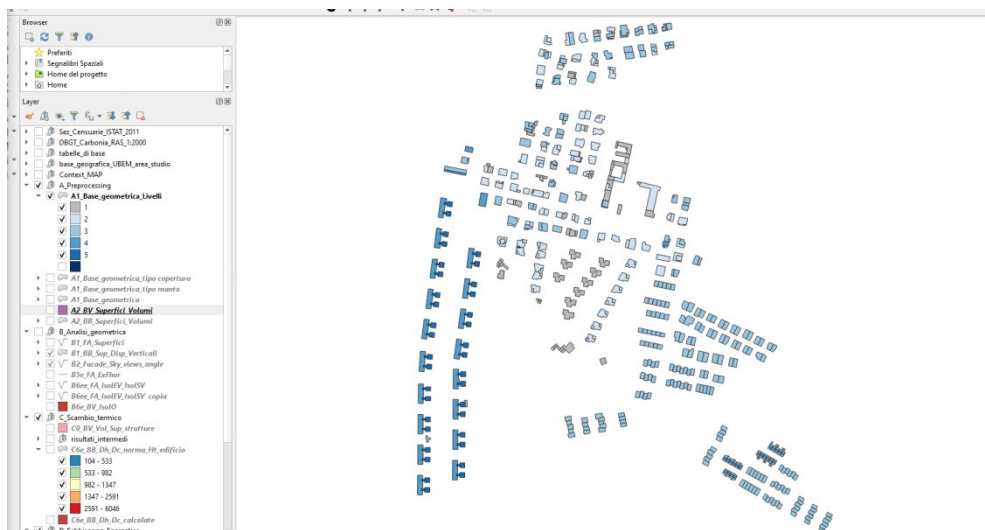


Il quarto gruppo (figura 8) mostra i dati di base della procedura, con i risultati dalla azione di rilievo urbano. Sono reimpostate due mappe tematizzate sul tipo edilizio e sul periodo di costruzione ISTAT.

Il quinto gruppo contiene uno stralcio del DSM utilizzato come contesto per la valutazione degli ombreggiamenti.



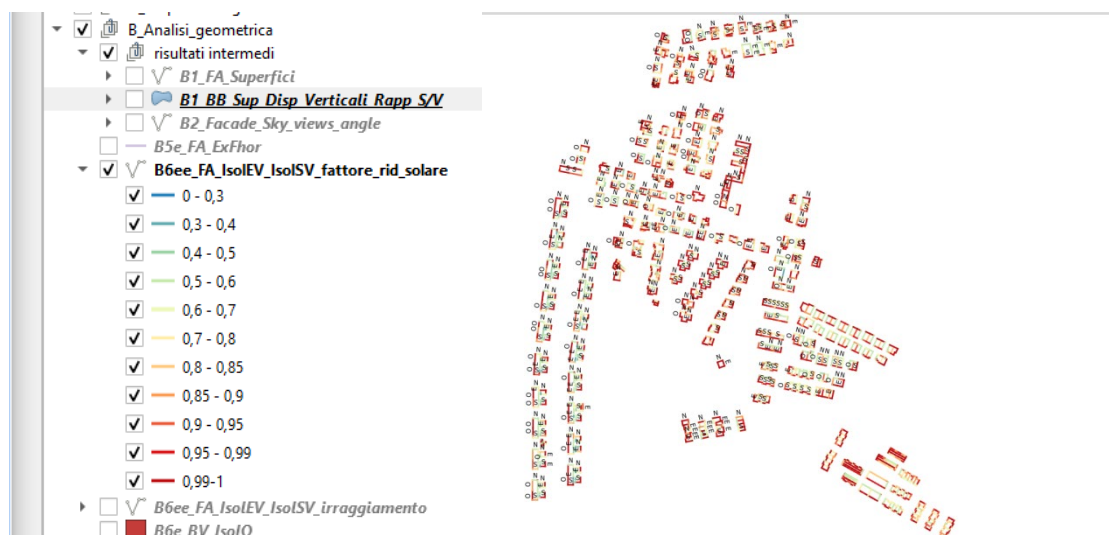
Il sesto gruppo A - preprocessing (figura 9), mostra i risultati dei tools di pre-processing, e presenta alcuni tematismi tra i quali il numero di livelli riscaldati, corretto sulla base dei tipi di chiusure di base e di sottotetto.



Il sesto gruppo B – Analisi Geometrica (figura 10), raccoglie i principali risultati di questa fase di modellazione. Vi sono preimpostate alcune visualizzazioni:

- fattore di riduzione solare per ogni facciata,
- irraggiamento utile per facciata,
- ambiente confinante per ogni parete,
- rapporto S/V,
- angolo di ostruzione per ostacoli esterni.

Per esplorare compiutamente la tabella si raccomanda di fare riferimento alle definizioni e agli step di calcolo riportati nel Report, di cui il presente costituisce Allegato.



Il settimo gruppo (C\_Scambio termico) raccoglie i risultati di tutte le fasi di calcolo dello scambio termico (trasmissione, irraggiamento, ventilazione, attività interne) e riporta i due layers geografici che riassumono i risultati utili al calcolo, riportando i giorni mensili di riscaldamento e raffreddamento. I risultati principali del

toolset sono due file: uno con la stagione invernale limitata dalla durata massima della normativa (C6e\_BB\_Dh\_Dc\_norma) e l'altro con un calcolo libero. Tali file contengono tutti dati necessari per la prosecuzione del calcolo, per i contenuti della tabella si rimanda al Report.



Figura 11 – Scambio termico

L'ottavo gruppo (D\_Fabbisogno Energia Utile) raccoglie i risultati di tutte le fasi di calcolo del fabbisogno di energia utile, con l'esplicitazione dei guadagni (solari, attività interne) e delle perdite (trasmissione, ventilazione) di calore mensili e dei fattori di utilizzazione degli apporti gratuiti.

I risultati principali del toolset sono due file (figura 12): uno dedicato al fabbisogno per riscaldamento e l'altro per il fabbisogno per raffrescamento. Essi contengono tutti dati necessari per la prosecuzione del calcolo.

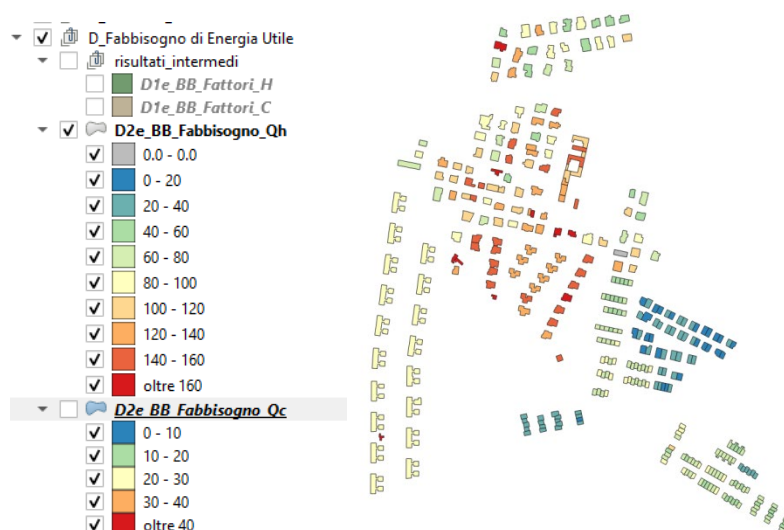


Figura 12 – Fabbisogno Energia Utile

L'ultimo gruppo (E\_Prestazioni Energetiche) raccoglie i risultati dei calcoli della energia consegnata agli impianti e della energia primaria, secondo le ipotesi sulle configurazioni impiantistiche più diffuse adottate nell'approccio tipologico.

I risultati principali (figura 13) sono divisi tra riscaldamento e raffrescamento, con un layer per ogni ipotesi impiantistica.

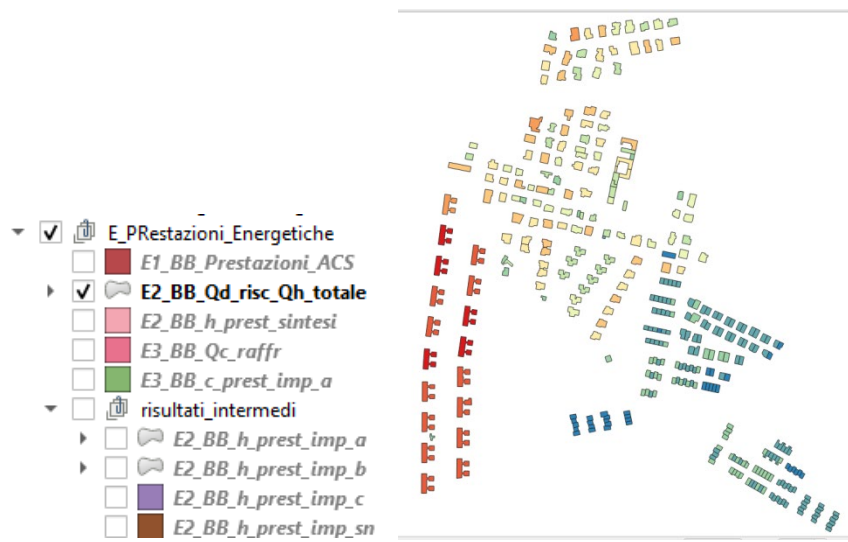


Figura 13 – Energia Primaria ed altri indici di prestazione



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO



Ricerca di Sistema elettrico

## Allegato 2 – Tipologie Edilizie *Analisi e rappresentazione del patrimonio edilizio residenziale: Caso studio di Carbonia*

S. Pili, F. Poggi, G. Cau, E. Loria, C. Frau



Report RdS/PTR2020/119

## ANALISI E RAPPRESENTAZIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO RESIDENZIALE: CASO STUDIO DI CARBONIA - Allegato 2 – Tipologie edilizie

S. Pili, F. Poggi, G. Cau, E. Loria, C. Frau (SOTACARBO)

Aprile 2021

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità

Obiettivo: *N. 1 - Tecnologie*

Progetto: *1.5 - Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti*

Work package: *1 - Edifici ad alta efficienza energetica*

Linea di attività: *LA1.27 - Analisi e rappresentazione del patrimonio edilizio residenziale: caso studio di Carbonia*

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi, ENEA

Responsabile del Work package: Domenico Iatauro, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Metodologie e strumenti per lo sviluppo di strategie di riqualificazione del patrimonio edilizio esistente*"

Responsabile scientifico ENEA: Giovanni Puglisi

Responsabile scientifico SOTACARBO: Marcella Fadda

Indice

INTRODUZIONE..... 219

1. TIPOLOGIE EDILIZIE GENERICHE..... 219

2. TIPOLOGIE DELLA FONDAZIONE ..... 227

## Introduzione

Questo allegato si configura come materiale aggiuntivo del paragrafo del report dedicato alla sintesi delle tipologie edilizie dell'area di studio (paragrafo 4.1 del Report). Il documento riporta elaborazioni grafiche e foto di edifici-tipo a supporto della definizione delle tipologie edilizie adottata in questo lavoro. Ricordando che l'articolazione definitiva delle tipologie sarà sviluppata anche a valle della sperimentazione della interazione con gli utenti del portale, di seguito sono riportate una sezione dedicata alle tipologie generiche utilizzate per classificare il patrimonio edilizio prevalentemente post guerra e un'altra sezione che riporta una sintesi dei modelli edilizi della fondazione.

### 1 Tipologie Edilizie generiche

Il rilievo delle caratteristiche del patrimonio edilizio nell'area di studio si è appoggiato su una definizione di tipi edilizi "di rilievo", che è stata funzionale alla acquisizione analitica delle informazioni divise per anno di costruzione e per tipologia morfologica dell'involucro. Tali tipi di rilievo sono stati la base per sintetizzare una classificazione di tipi più generici, capaci di rappresentare non solo l'area di studio, ma tutto il contesto di Carbonia. Tali tipi saranno utilizzati per impostare l'interazione con gli utenti del portale, e sulla base dei loro feedback saranno poi ricalibrati entro la fine del progetto.

I tipi edilizi generici incrociati con il periodo di costruzione (ISTAT) identificheranno le strutture e i materiali di costruzione da inserire nell'abaco geografico e da utilizzare per le simulazioni energetiche. Nella figura 1 si mostra l'assegnazione dei tipi di rilievo dell'area di studio a quelli generici validi per tutto il contesto di Carbonia (figure 2, 3, 4, 5, 6), (per più dettagli sui tipi di rilievo si rimanda al paragrafo 4.2 del Report)

Di seguito sono proposte le schede inerenti i tipi generici che riportano alcuni esempi di edifici (tabella 1). Nell'area di studio gli edifici tradizionali (figura 2) sono costituiti da poche unità, tuttavia nel contesto periurbano di Carbonia è sicuramente una tipologia ben rappresentata, perciò è necessario impostare un tipo generico dedicato. Considerando la tipicità dei materiali e delle tecniche costruttive dei diversi tipi tradizionali, nel seguito della ricerca si valuterà se specificare meglio la tipizzazione degli edifici tradizionali, spingendosi nella individuazione di sottotipi: "Case a Corte" (antistante, retrostante, doppia), "Medau", case di montagna, ecc. Nell'area di studio si segnala la presenza di un edificio rurale (tipo di rilievo D9) realizzato negli anni '80 probabilmente sopra una vecchia area di sedime di un edificio precedente (l'ortofoto non è chiara a riguardo), che nello schema generale, pur essendo morfologicamente simile ad un edificio tradizionale, ricade nella tipologia Villino tipo A (Gen\_B1).

Le tipologie di edilizia privata al centro del lotto (figura 3-5) e quelle a schiera (figura 4) sono molto rappresentate nell'area di studio e sono anche piuttosto diffuse nel contesto urbano. Nel seguito dello studio si valuterà se sviluppare anche dei sottotipi più specifici, sulla base di documentazione più precisa ottenuta o su esigenze di modellazione energetica.

Nell'area di studio si possono identificare due tipi di edifici realizzati in serie, in lottizzazioni degli anni '70 e '80, classificati in sede di rilievo come C1 e D1 (figura 8). Il C1 è un edificio residenziale di un livello fuori terra a tre corpi, che presenta caratteristiche morfologiche (rapporto S/V, sup. finestrata, etc) piuttosto differenti rispetto alla media dei villino tipo A (Gen\_B1) in cui dovrebbe ricadere, perciò sarebbe necessario sviluppare un tipo specifico. Il tipo di rilievo D1 è più prossimo alla media degli edifici classificati come villino tipo B (Gen\_B2): si tratta di edifici monofamiliari organizzati su due livelli più seminterrato e sottotetto abitabile caratterizzati da un'ampia metratura utile.

Le altre classi generali riferibili agli edifici oltre i tre livelli non storici (Gen\_D, Gen\_D2, Gen\_D3) sono poco rappresentate nell'area, ma nel contesto di Carbonia vi sono diversi esempi. Vi sono solo alcuni casi isolati (figura 6-7) che riferiscono a un complesso immobiliare degli anni '80 – '90 (tipo di rilievo D5), e una palazzina isolata negli anni '70 (tipo di rilievo C4).

### Assegnazione dei tipi di rilievo alle tipologie Generiche dell 'UBEM

| tipologie<br>"Generiche" |                   | Gen_A1                | Gen_A2                 | Gen_B1         | Gen_B2         | Gen_C1            | Gen_D1          | Gen_D2           | Gen_D3           |
|--------------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|----------------|----------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|
| Periodo Istat            | Periodo ortofoto  | Edilizia Tradizionale | Altra edilizia storica | Villino tipo A | Villino tipo B | Edifici a schiera | Palazzo isolato | Palazzo in linea | Palazzo a blocco |
| Ante 1919                | Ante 1955         |                       |                        |                |                |                   |                 |                  |                  |
| 1919 - 45                |                   |                       |                        |                |                |                   |                 |                  |                  |
| 1946 - 1960              | 1955 – 1968       | B2                    |                        | B1             | B3             |                   |                 |                  |                  |
| 1961-1970                |                   |                       |                        |                |                |                   |                 |                  |                  |
| 1971-1980                | 1969 – 1977       |                       |                        | C1,C2          | C3, Cx         |                   | C4              |                  |                  |
| 1981-1990                | 1978 – 1998       |                       |                        | D2, D9         | D1, D3,D4, DX  | D6; D7; D8        | D5              | D5               |                  |
| 1991-2000                |                   |                       |                        |                |                |                   |                 |                  |                  |
| 2001-2005                | 1999 – 2005       |                       |                        |                | E1             | E2;E3             |                 |                  |                  |
| 2006-2010                | 2006 – ora (2016) |                       |                        |                | F1             | F2;F3;F4          |                 |                  |                  |
| 2011 - 2015              |                   |                       |                        |                |                |                   |                 |                  |                  |
| Oltre 2015               |                   |                       |                        |                |                |                   |                 |                  |                  |

 Possibili periodi di costruzione per classificazione tipo – morfologica del patrimonio edilizio dell'area di Carbonia

 Codice che assegna i tipi di rilievo dell'area di studio al tipo generale riferito al contesto di Carbonia

**Figura 1 – Schema delle tipologie generiche**

**Tabella 1 – Elenco delle tipologie generiche adottate**

| codice | denominazione                 | descrizione                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| gen_A1 | Edilizia storico tradizionale | Edilizia uni o bi-familiare di tipo tradizionale (casa a corte, medau, palazzetto, etc) ancora riconoscibile (1-2 livelli) anche inserita nel tessuto urbano, ben conservata o modificata per successivi ampliamenti, le parti originali sono realizzata con materiale tradizionale (pietra, ladiri, mattoni pieni, etc) e chiusure orizzontali lignee, gli ampliamenti con tecniche più recenti di muratura mista (mattoni forati, blocchi cementizi, solai latero-cementizi)                                                                         |
| gen_A2 | .....                         | Edilizia pluriplano storica, ancora da definire                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| gen_A3 | .....                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| gen_B1 | Villino tipo A                | Edilizia uni- o bi-familiare isolata nel lotto, o a «villino», comprendente abitazioni sviluppate su 1 – 3 livelli, escluso eventuale sottotetto e 221pluriplano221i (affaccio su 3-4 fronti, con pertinenza di verde privato). Tipologia caratterizzata da morfologie regolari e basso rapporto finestrato. Le strutture dipendono dal periodo di costruzione, sono diffusi esempi di queste tipologie di edifici anche realizzati tra la fine deli anni 50 ed i primi anni 60, in murature miste tra la pietra tradizionale e materiali più moderni. |
| gen_B2 | Villino tipo B                | Edilizia uni- o bi-familiare isolata nel lotto, o a «villino», comprendente abitazioni sviluppate su 1 – 3 livelli, escluso eventuale sottotetto e 221pluriplano221i (affaccio su 3-4 fronti, con pertinenza di verde privato). Tipologia caratterizzata dalla presenza di nicchie e volumi non sempre regolari con maggiore rapporto finestrato. Le strutture dipendono dal periodo di costruzione generalmente dagli anni 70 in poi, spesso adottano strutture in CA con tamponature in laterizio forato anche di basso spessore.                    |
| gen_C1 | Casa a schiera                | Edilizia di abitazioni pluriplano aggregate a schiera, comprendente abitazioni sviluppate quasi sempre 2 piani fuori terra, escluso eventuale sottotetto (affaccio obbligato su 2 fronti, con pertinenza di verde privato). Le strutture generalmente a muratura portante, dipendono dal periodo di costruzione che non precede gli anni 70.                                                                                                                                                                                                           |
| Gen_D1 | Palazzina isolata (Torre)     | Edilizia plurifamiliare e pluriplano (oltre 3 livelli) isolata nel lotto, o palazzina, con singolo corpo scala che disimpegna più appartamenti per piano (affaccio su 4 fronti).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| gen_D2 | Palazzina in linea            | Edilizia plurifamiliare oltre 3 piani aggregata in linea, Edilizia plurifamiliare (oltre 3 livelli) aggregata in linea, con 2 o più corpi scala che disimpegnano ciascuno 2 o più appartamenti per piano (affaccio obbligato su 2 fronti in genere, salvo le caposchiera).                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| gen_D3 | Palazzina a blocco            | Edilizia plurifamiliare (oltre 3 livelli) aggregata a blocco, con più corpi scala che disimpegnano ciascuno 2 o più appartamenti per piano (affaccio obbligato su 2 -3 fronti in genere non isorientati.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

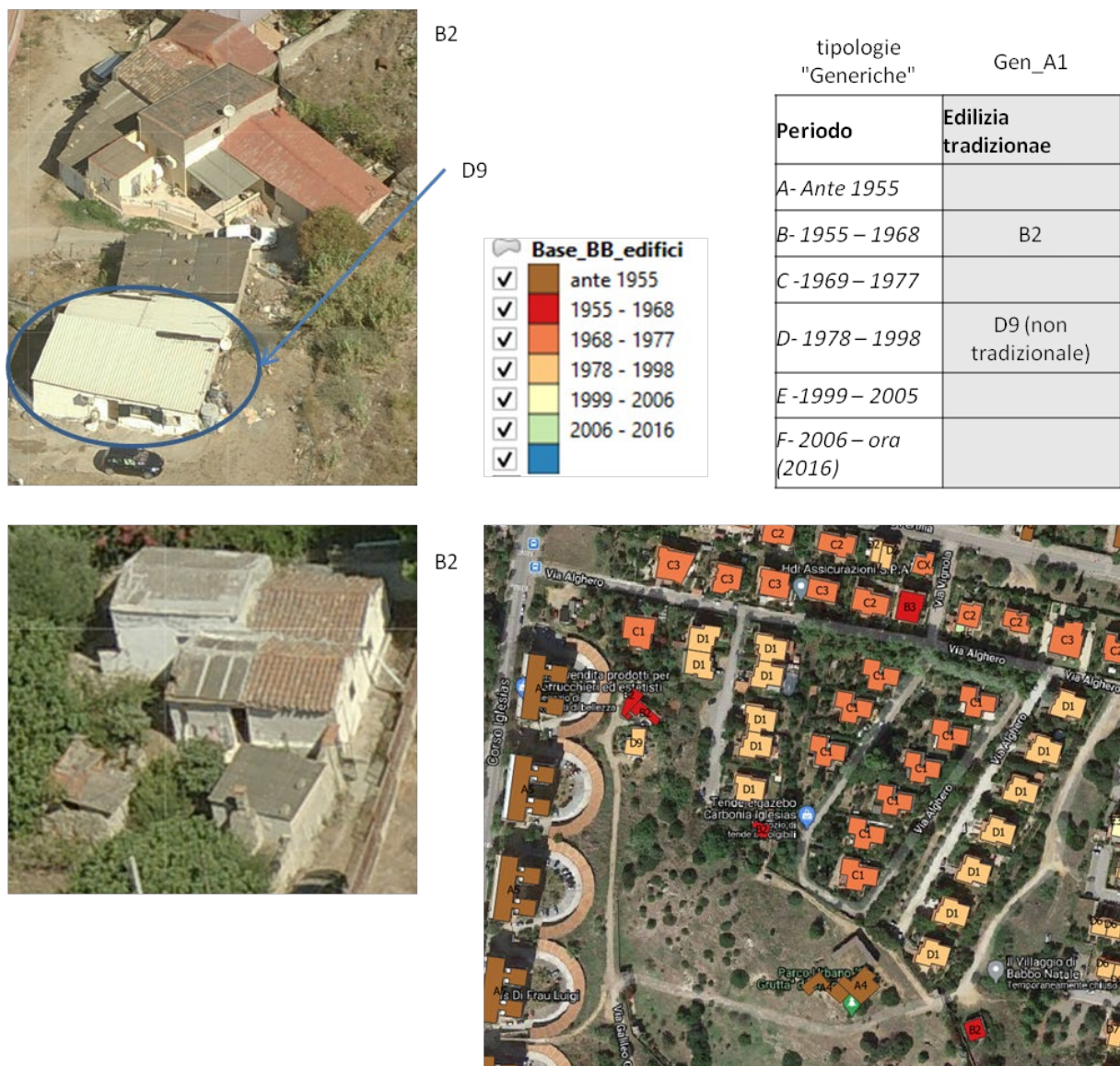


Figura 2 - Esempio di edifici dell'area di studio tipo tradizionale - Gen\_A1



Alcune D2

| tipologie<br>"Generiche" | Gen_B1         |
|--------------------------|----------------|
| Periodo                  | Villino tipo A |
| A- Ante 1955             |                |
| B- 1955 – 1968           | B1             |
| C- 1969 – 1977           | C2             |
| D- 1978 – 1998           | D2             |
| E- 1999 – 2005           |                |
| F- 2006 – ora<br>(2016)  |                |



Alcune B1 e C2

**Figura 3 - Esempio di edifici dell'area di studio tipo - Gen\_B1**



**Figura 4 - Esempio di edifici dell'area di studio tipo - Gen\_C1**

| tipologie<br>"Generiche" | Gen_C1         |
|--------------------------|----------------|
| Periodo                  | Case a schiera |
| A- Ante 1955             |                |
| B- 1955 – 1968           |                |
| C- 1969 – 1977           |                |
| D- 1978 – 1998           | D6; D7; D8     |
| E- 1999 – 2005           | E2; E3         |
| F- 2006 – ora (2016)     | F2; F3; F4     |



B3 (unica)

| tipologie<br>"Generiche" | Gen_B2         |
|--------------------------|----------------|
| Periodo                  | Villino tipo 2 |
| A- Ante 1955             |                |
| B- 1955 – 1968           | B3             |
| C -1969 – 1977           | C3,Cx          |
| D- 1978 – 1998           | D1, D3, D4, DX |
| E -1999 – 2005           | E1             |
| F- 2006 – ora<br>(2016)  | F1             |



E1 (unica)



C3 (alcune C3)



Alcune D3

**Figura 5 - Esempio di edifici dell'area di studio tipo - Gen\_B2**

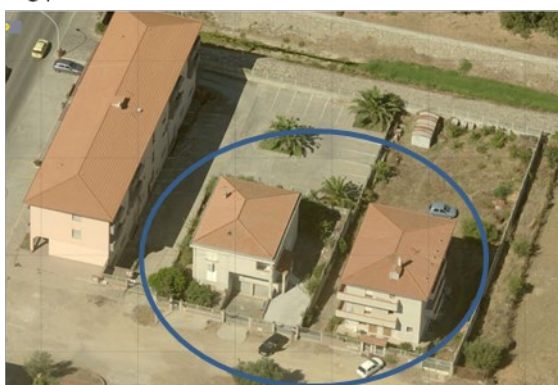


C4

tipologie "Generiche"

Gen\_D1

| Periodo              | Palazzina isolata |
|----------------------|-------------------|
| A- Ante 1955         |                   |
| B- 1955 – 1968       |                   |
| C -1969 – 1977       | C4                |
| D- 1978 – 1998       | D5( palazzo)      |
| E -1999 – 2005       |                   |
| F- 2006 – ora (2016) |                   |



D5 palazzi isolati

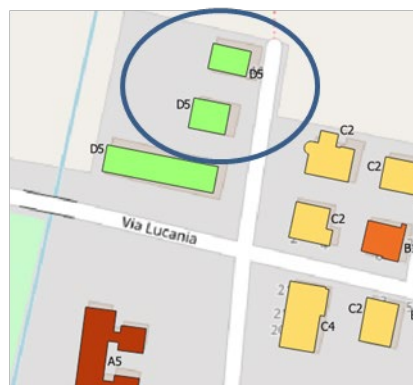


Figura 6 - Esempio di edifici dell'area di studio tipo - Gen\_D1



D5 palazzo in linea

tipologie  
"Generiche"

Gen\_D2

| Periodo              | Palazzina in linea |
|----------------------|--------------------|
| A- Ante 1955         |                    |
| B- 1955 – 1968       |                    |
| C -1969 – 1977       |                    |
| D- 1978 – 1998       | D5( linea)         |
| E -1999 – 2005       |                    |
| F- 2006 – ora (2016) |                    |



Figura 7 - Esempio di edifici dell'area di studio tipo - Gen\_D2



tipologie generiche e  
"specifiche"

Gen\_B1

Gen\_B2

| Periodo              | Villino_1 | Villino 2 |
|----------------------|-----------|-----------|
| A- Ante 1955         |           |           |
| B- 1955 – 1968       |           |           |
| C- 1969 – 1977       | C1        |           |
| D- 1978 – 1998       |           | D1        |
| E- 1999 – 2005       |           |           |
| F- 2006 – ora (2016) |           |           |



Villino 1 e Villino 2 realizzati in serie

**Figura 8 - Esempio di edifici dell'area di studio con tipologie specifiche non storiche**

## 2 Tipologie della Fondazione

Per l'edilizia risalente al periodo della fondazione, il discorso è per certi versi inverso e più semplice: si hanno a disposizione i modelli progettuali di ogni edificio per un totale di 16 tipi di edifici realizzati in serie più un altro gruppo di edifici rappresentativi, presenti come unicum ricadente nell'area di studio: il complesso dell'ex-poliambulatorio con l'ospedale.

In ottica di facilitare l'interazione con gli utenti del portale è stato necessario definire alcuni tipi generici riferiti alla edilizia della fondazione, che siano facilmente riconoscibili anche da un utente non esperto, basati essenzialmente sul numero di livelli fuori terra (tabella 2). L'edilizia della fondazione presente nell'area di studio è rappresentata da diversi esempi di palazzi intensivi O/5 e dal complesso dell'ex poliambulatorio. Al momento non è stato impostato il tipo specifico sul complesso del poliambulatorio, e si sono utilizzati i tipi generici a uno e due livelli della fondazione per la modellazione energetica.

Segue una sintesi dei modelli progettuali della fondazione (figure 9, 10, 11, 12, 13).

**Tabella 2 – Tipi generici della fondazione**

|           |                                       |                                                                                                                                                                                                                |                                                                                               |
|-----------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| gen_fon_1 | Edilizia a 1 livello della fondazione | Edilizia ad 1 livello della fondazione, comprende principalmente la tipologia "Cameroni"                                                                                                                       | Per semplicità ricadono in questa tipologia gli edifici dell'Ex-Poliambulatorio a un livello  |
| gen_fon_2 | Edilizia a 2 livelli della fondazione | Edilizia a 2 livelli della fondazione, comprende la maggioranza dei modelli della fondazione costituiti da edifici al centro del lotto a due livelli quadri familiari, ma anche da alcuni modelli bi familiari | Per semplicità ricadono in questa tipologia gli edifici dell'Ex-Poliambulatorio a due livelli |
| gen_fon_3 | Edilizia pluriplano della fondazione  | Edilizia a pluripiano della fondazione                                                                                                                                                                         | Ricadono in questa classe gli O/5 presenti nell'area                                          |



Palazzo intensivo della Fondazione O/5

tipologie "generali" e "specifiche"

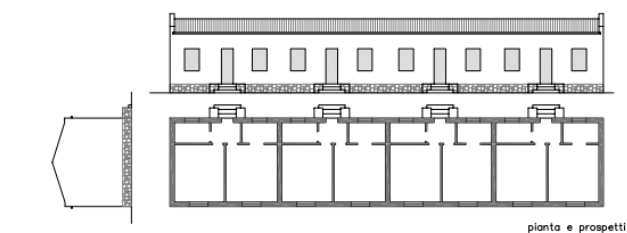
Gen\_fon\_1    Gen\_fon\_2    Gen\_fon\_3

| Periodo              | Ex Poli 1 liv | Ex Poli_2 liv | O/5 |
|----------------------|---------------|---------------|-----|
| A- Ante 1955         | A1            | A2            | A5  |
| B- 1955 – 1968       |               |               |     |
| C-1969 – 1977        |               |               |     |
| D- 1978 – 1998       |               |               |     |
| E -1999 – 2005       |               |               |     |
| F- 2006 – ora (2016) |               |               |     |



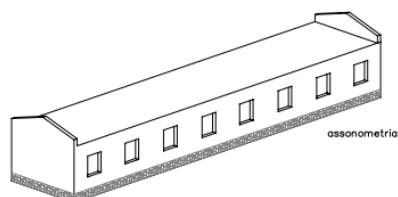
Complesso degli Ex Poli Ambulatorio

**Figura 8 - Esempio di edifici dell'area di studio: edifici della Fondazione**

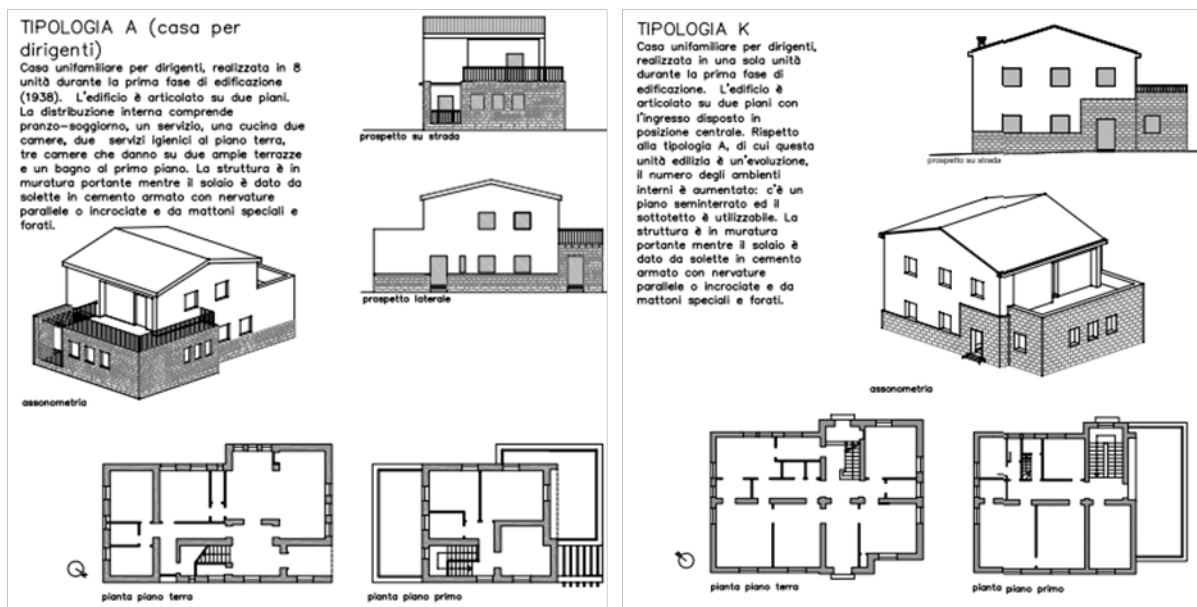


#### TIPOLOGIA GRA B

Edifici ad un piano di forma parallelepipedica a base rettangolare molto allungata sormontata da copertura a capanna. Esistono due soluzioni: a tre e a quattro alloggi, quest'ultima sarebbe dovuta essere la più frequente ma, per la necessità di dare alloggio a numerosi operai senza famiglia numerose non furono ultimate e rimasero ad ambiente unico destinato a dormitorio collettivo.



**Figura 9 - Tipo generico della fondazione "Gen\_Fond\_1", Edilizia della fondazione ad un livello, essenzialmente il modello GRA B detto dei "Cameroni"**



**Figura 10 - Tipo generico della Fondazione "Gen\_Fond\_2", case unifamiliari della fondazione su due livelli: tipo A, Tipo K**

### TIPOLOGIA LACCHI NORMALE

Casa binata quadrifamiliare per operai, realizzate in 44 unità nella prima fase di edificazione (1938). Questo tipo è articolato su due piani e contiene in tutto 4 alloggi uguali e con ingressi indipendenti. Ogni alloggio si compone di un pranzo-soggiorno, una cucina, un servizio igienico e due camere per una superficie totale di 59 mq. Le scale disposte sui lati corti fungono da contrafforti per le volte a botte che reggono il solaio intermedio. Le murature portanti sono in trachite.



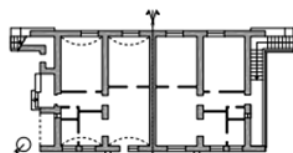
assonometria



prospetto su strada



prospetto laterale



piano piano terra/primo piano

### TIPOLOGIA LACCHI RIDOTTA

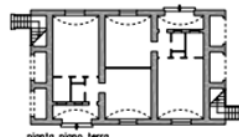
Casa binata quadrifamiliare per operai, realizzate in 12 unità nella prima fase di edificazione (1938). Questo tipo è articolato su due piani e contiene in tutto 4 alloggi serviti da ingressi indipendenti. Ogni alloggio è composto da pranzo soggiorno, cucina, bagno, camera. Le scale disposte sui lati corti fungono da contrafforti per le volte a botte che reggono il solaio intermedio. Le murature portanti sono in trachite, a differenza della Lacchi normale è più piccola e non è simmetrica.



prospetto su strada



assonometria



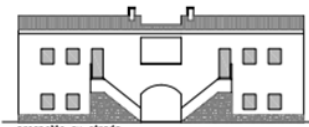
piano piano terra



piano primo piano

### TIPOLOGIA LENTI

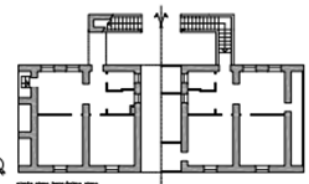
Casa binata quadrifamiliare per operai, realizzata nella prima fase di edificazione (1938). Il prospetto principale è attraversato nella parte centrale da un arco che permette di raggiungere i due ingressi degli alloggi al piano terra disposti nel retro. Ogni alloggio è composto da zona pranzo-soggiorno, cucina, servizio igienico, due camere. Gli ingressi agli alloggi del primo piano vengono raggiunti tramite due scale composte da una rampa ortogonale e da una parallela al prospetto longitudinale.



prospetto su strada



assonometria



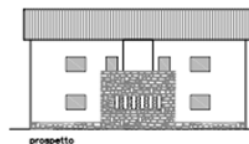
piano piano longitudinale piano



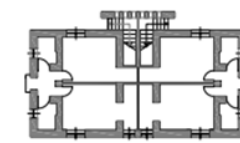
prospetto laterale

### TIPOLOGIA SANTI RIDOTTO

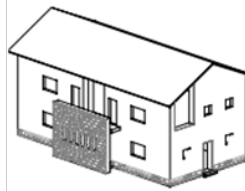
Casa binata a due piani quadrifamiliare per operai, realizzata in 46 unità nella prima fase di edificazione. Ciascuna unità edilizia si articola su due piani con due alloggi perfettamente uguali per piano. Ogni alloggio comprende un soggiorno, una cucina, un servizio e due ripostigli. dietro il setto in trachite appare il volume puro intonacato, bucatò con tagli verticali e bucatò con tagli verticali in modo da disarticolare modernamente la scatola muraria.



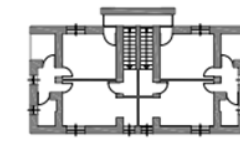
prospetto



piano piano terra



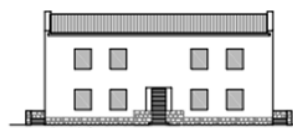
assonometria



piano primo piano

### TIPOLOGIA GRA M

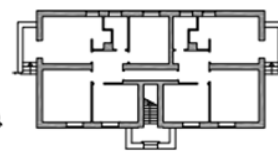
Casa binata a due piani quadrifamiliare per operai, realizzata nella seconda fase di edificazione (1940). Gli ingressi dei due alloggi del piano terra sono collocati sul lato corto, mentre agli alloggi del primo piano si accede tramite una scala, disposta nella parte centrale del prospetto longitudinale che dà sul fronte strada. La struttura portante è sempre in pietra di trachite; i solai hanno una struttura mista in laterizi e cemento armato; le divisioni interne sono realizzate con mattoni pieni uniti con malta ordinaria o con mattoni forati uniti con malta di cemento.



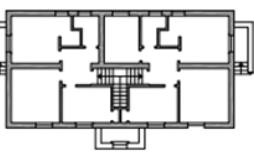
prospetto su strada



assonometria



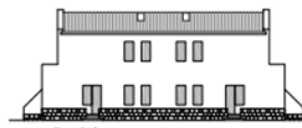
piano primo piano



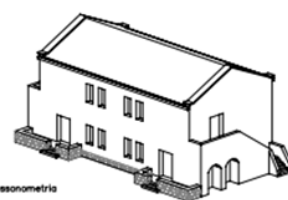
piano primo piano

### TIPOLOGIA GRA N

Casa binata a due piani quadrifamiliare per operai, realizzata nella seconda fase di edificazione (1940). Qui, a differenza della GraM, gli alloggi sono tutti uguali e mentre gli ingressi del piano terra sono disposti sul prospetto longitudinale, quelli del primo piano sono raggiungibili tramite delle scale, localizzate sui lati corti, disposti trasversalmente rispetto al fronte strada. La variante di questa tipologia, la GraN, viene ottenuta realizzando nei due alloggi del piano terra due locali atti ad ospitare un'attività commerciale. Le soluzioni strutturali sono le stesse utilizzate nella tipologia Gra M.



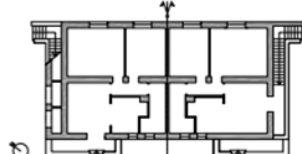
prospetto su strada



assonometria



prospetto laterale

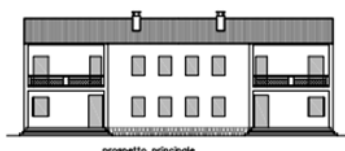


prospetto

Figura 11 - Tipo generico della fondazione "Gen\_Fond\_2", case binate della fondazione quadrifamiliari su due livelli: Lacchi normale, Lacchi Ridotta, Lenti, Santi Ridotta, GRA M GRA N

### TIPOLOGIA IMPIEGATI C

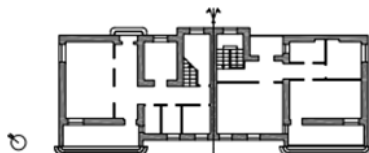
Casa binata bifamiliare per impiegati, realizzata in 9 unità nella prima fase di edificazione (1938). Si tratta di edifici articolati su due piani con corpo scala centrale. Ogni alloggio comprende due piani ed è così composto: soggiorno - pranzo, cucina, un servizio igienico, una dispensa, un ripostiglio, tre camere un bagno ed una loggia al primo piano. La struttura portante è in muratura. Sono aggregate in gruppi di 3 su altrettanti isolati, che si susseguono.



prospetto principale



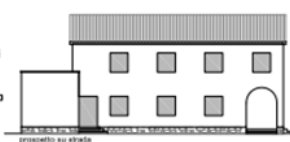
assonometria



pianta piano terra/piano tipo

### TIPOLOGIA IMPIEGATI D

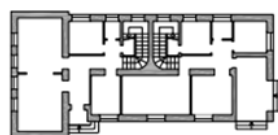
Casa binata bifamiliare per impiegati, realizzata in 4 unità durante la prima fase di edificazione (1938). È l'unica fra le tipologie per impiegati che non è simmetrica. Il fabbricato, infatti, è composto da due corpi a base rettangolare di dimensioni diverse. L'ingresso ad un alloggio è situato sotto una piccola loggia, mentre l'altro è posizionato in corrispondenza dell'intersezione dei due corpi. Entrambi gli alloggi comprendono: una zona pranzo - soggiorno, una cucina, un servizio igienico, ed una dispensa al piano terra, tre camere ed un bagno al primo piano.



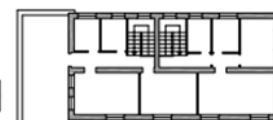
prospetto su strada



assonometria



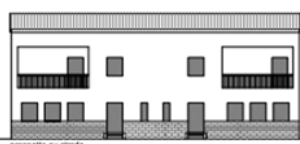
pianta piano terra



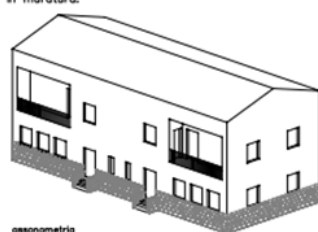
pianta primo piano

### TIPOLOGIA IMPIEGATI B

Casa binata bifamiliare per impiegati, realizzata in 9 unità nella prima fase di edificazione (1938). Sul lato lungo, disposto parallelamente alla strada sono localizzati i due ingressi. Ogni alloggio è composto da: pranzo-soggiorno, cucina, servizio igienico, ripostiglio al piano terra, tre camere ed un bagno al primo piano. La struttura portante è in muratura.



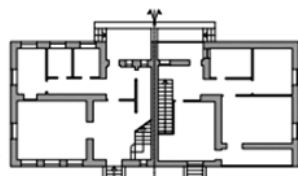
prospetto su strada



assonometria



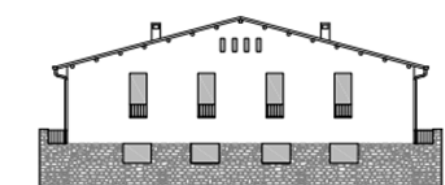
prospetto laterale



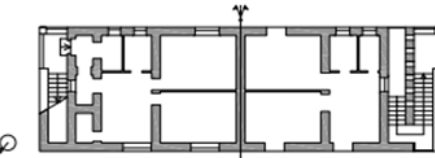
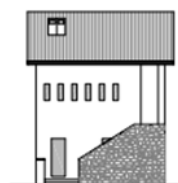
pianta piano terra/piano primo

### TIPOLOGIA SANTI

Casa binata quadrifamiliare per operai, realizzata in 47 unità nella prima fase di edificazione (1938). Si distingue dalle altre tipologie perché la copertura è a capanna e la muratura faccia a vista raggiunge l'altezza degli architravi delle finestre. Ciascuna unità edilizia si articola su due piani con due alloggi perfettamente uguali per piano. Ogni alloggio è composto da pranzo-soggiorno, due camere, cucina, bagno. Le spinte degli archi a sesto ribassato che sostengono il solaio intermedio sono controbilanciate dalle scale formate da due rampe parallele e disposte sui lati corti dell'edificio. La presenza della scala permette, inoltre di ricavare al piano terra lo spazio per un ripostiglio.



prospetto principale

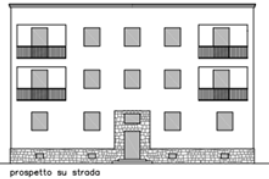


pianta piano tipo

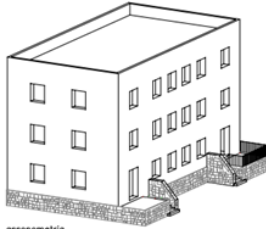
Figura 12 - Tipo generico della fondazione "Gen\_Fond\_2", case binate della fondazione bi-familiari su due livelli: Impiegati D, Impiegati C, Impiegati B, - Santi

### TIPOLOGIA E2

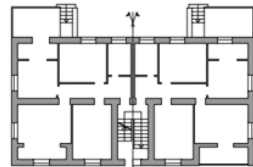
Casa semi-intensiva per impiegati, realizzata in 11 unità durante la seconda fase di edificazione (1940) nell'espansione ad est. L'edificio si articola su tre piani con due alloggi per piano. Gli alloggi del piano terra sono diversi dagli altri per l'assenza della loggia. Gli alloggi sono composti dai seguenti ambienti: pranzo-cucina, soggiorno, due camere. È inoltre presente un piano seminterrato che ospita 6 locali destinati al servizio degli alloggi. La struttura portante è in muratura mentre gli orizzontamenti sono dei solai misti. Le rampe ed i ripiani del vano scala poggiano su voltine alla romana.



prospetto su strada



assonometria

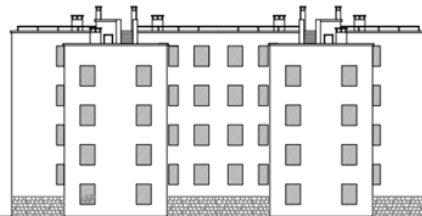


pianta piano terra/primo piano

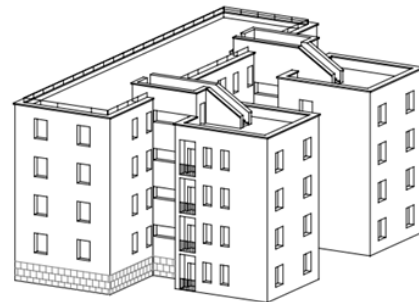
**Tipo della Fondazione: "Palazzo E"**  
palazzo della fondazione Semi intensivo, edificio multilivello a 3 piani fuori terra,



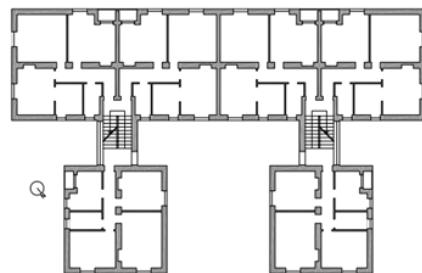
prospetto su strada



prospetto sul retro



assonometria

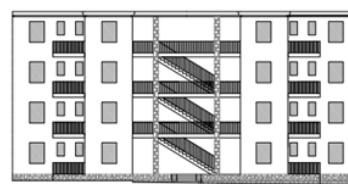


pianta piano tipo

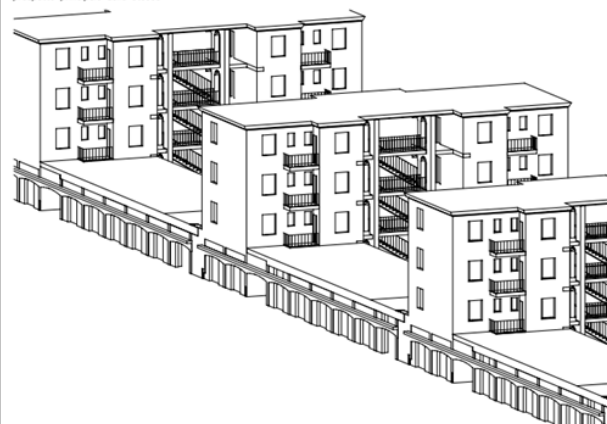
**Tipo della fondazione: O/5**  
palazzo della fondazione intensivo, edificio multilivello a 4 piani fuori terra, 24 unità immobiliari



prospetto principale della stecca



prospetto principale



assonometria



pianta piano tipo

**Tipo della fondazione: "B1"**  
palazzo della fondazione intensivo edificio multilivello a 4 piani fuori terra

**Figura 13 - Tipo generico della fondazione "Gen\_Fond\_3", palazzi della fondazione con oltre i due livelli: B1, E2, O/5**



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA



Ricerca di Sistema elettrico

## Allegato 3 – Ricerca Dati ISTAT *Analisi e rappresentazione del patrimonio edilizio residenziale: Caso studio di Carbonia*

S. Pili, F. Poggi, G. Cau, E. Loria, C. Frau



Report RdS/PTR2020/119

## ANALISI E RAPPRESENTAZIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO RESIDENZIALE: CASO STUDIO DI CARBONIA - Allegato 3 – Ricerca Dati ISTAT

S. Pili, F. Poggi, G. Cau, E. Loria, C. Frau (SOTACARBO)

Aprile 2021

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità

Obiettivo: *N. 1 - Tecnologie*

Progetto: *1.5 - Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti*

Work package: *1 - Edifici ad alta efficienza energetica*

Linea di attività: *LA1.27 - Analisi e rappresentazione del patrimonio edilizio residenziale: caso studio di Carbonia*

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi, ENEA

Responsabile del Work package: Domenico Iatauro, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *"Metodologie e strumenti per lo sviluppo di strategie di riqualificazione del patrimonio edilizio esistente"*

Responsabile scientifico ENEA: Giovanni Puglisi

Responsabile scientifico SOTACARBO: Marcella Fadda

Indice

INTRODUZIONE..... 235

1. QUESTIONARIO ISTAT ..... 235

2. VARIABILI RICHIESTE ..... 237

## Introduzione

In questo allegato si presenta brevemente il tipo di ricerca impostato per analizzare i microdati del Censimento della Popolazione e delle Abitazioni ISTAT (2011) e che non ha al momento avuto risposta da ISTAT per problematiche dettate dalla pandemia tutt'ora in corso (il servizio di consultazione e elaborazione di tali dati è stato sospeso per l'emergenza Covid). Tale ricerca sarà in ogni caso riproposta nella prossima annualità.

Lo scopo è ricavare dai dati elementari ISTAT alcune variabili più utili a rappresentare i profili d'uso del patrimonio edilizio e la diffusione dei sistemi impiantistici, con il dettaglio spaziale della sezione censuaria. Tali dati possono essere utilizzati come riferimento per la definizione dei profili d'uso medi per sezione censuaria a cui assegnare il fabbisogno utile, calcolato per ogni edificio tramite la procedura GIS. Si mostrano nel seguito le variabili impostate e le informazioni contenute nei dati elementari, ossia le domande del questionario ISTAT.

## 3 Questionario ISTAT

È riportato nella figura 1 seguente uno stralcio delle domande presenti nel questionario CPA (ISTAT 2011). Il CPA del 2011 è stato l'ultimo censimento a cadenza decennale, ed esso costituisce di fatto il più recente riferimento di dati completi e ben strutturati su tutto il territorio nazionale.

Le nuove modalità di aggiornamento e consultazione dei dati faranno riferimento al "Censimento permanente della popolazione e delle abitazioni" che non coinvolge tutte le famiglie italiane, ma ogni anno un campione di esse: nel 2018 saranno circa 1 milione e 400 mila famiglie, residenti in 2.800 comuni. La struttura dei dati richiesti rimane però pressoché la stessa del questionario del 2011, garantendo una confrontabilità dei risultati.

### 1.4 A che titolo la Sua famiglia occupa l'alloggio?

- 1 ☐ Proprietà (totale o parziale), usufrutto o riscatto
- 2 ☐ Affitto
- 3 ☐ Altro titolo (gratuito, prestazioni di servizio, ecc.)

## 2 PROPRIETÀ E STRUTTURA DELL'ABITAZIONE

### 2.1 Chi è il proprietario dell'abitazione?

- |                                                                                                                        |                                                                    |                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 <input type="checkbox"/> Persona fisica (o più persone in comproprietà)                                              | 4 <input type="checkbox"/> Stato, Regione, Provincia               | 7 <input type="checkbox"/> Istituto Autonomo Case Popolari (IACP) o Azienda per il Territorio (ATER) e simili |
| 2 <input type="checkbox"/> Impresa o società (assicuratrice, bancaria, immobiliare, di costruzione, commerciale, ecc.) | 5 <input type="checkbox"/> Comune                                  | 8 <input type="checkbox"/> Altro                                                                              |
| 3 <input type="checkbox"/> Cooperativa edilizia di abitazione                                                          | 6 <input type="checkbox"/> Ente previdenziale (INPS, INPDAP, ecc.) |                                                                                                               |

### 2.2 Qual è la superficie dell'abitazione?

Considerare la superficie interna dell'abitazione ovvero la superficie del pavimento di tutte le stanze dell'abitazione, compresi i bagni, le cucine, i vani accessori ed esclusi i terrazzi, i balconi e le pertinenze (come, ad esempio, cantine, soffitte, garage e box auto)

metri quadrati  
(arrotondati  
senza decimali)

Figura 1 – Domande generali sulla abitazione

### 3 ACQUA E IMPIANTI IGIENICO-SANITARI

**3.1 L'abitazione dispone di acqua al suo interno?**  
(in caso affermativo, sono possibili più risposte)

- 1 ☐ Sì, acqua potabile da acquedotto  
2 ☐ Sì, acqua potabile da pozzo  
3 ☐ Sì, acqua potabile da altra fonte  
4 ☐ Sì, acqua non potabile  
5 ☐ No, non dispone di acqua al suo interno ➔ andare a dom. 3.5

**3.2 L'abitazione dispone di acqua calda**  
(in bagno e/o in cucina)?

- 1 ☐ Sì 2 ☐ No ➔ andare a dom. 3.5

**3.3 L'acqua calda è prodotta esclusivamente dallo stesso impianto che è utilizzato per il riscaldamento dell'abitazione?**

- 1 ☐ Sì ➔ andare a dom. 3.5 2 ☐ No

**3.4 Qual è il combustibile o l'energia usata per riscaldare l'acqua?**  
(sono possibili più risposte)

- 1 ☐ Metano, gas naturale  
2 ☐ Energia elettrica  
3 ☐ Energia solare  
4 ☐ Altro

**3.5 Di quanti impianti doccia e/o vasche da bagno dispone l'abitazione?**

- 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ se più di 3 specificare il numero

**3.6 Quanti sono i gabinetti presenti nell'abitazione?**

- 0 ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ se più di 3 specificare il numero

Figura 2 - Domande sulla dotazione impiantistica per ACS

### 4 IMPIANTO DI CLIMATIZZAZIONE (riscaldamento, aria condizionata, energia rinnovabile)

**4.1 L'abitazione ha un impianto di riscaldamento?**

- 1 ☐ Sì  
2 ☐ No ➔ andare a dom. 4.3

**4.2 Indicare quale impianto (o impianti) di riscaldamento ha l'abitazione e – per ciascun impianto – il combustibile o l'energia che lo alimenta (sono possibili più risposte)**

|                                                                                                                                           | Metano,<br>gas<br>naturale  | Gasolio                     | GPL (Gas<br>Petrolio<br>Liquefatto) | Combustibile<br>solido (legna,<br>carbone, ecc.) | Olio<br>combustibile        | Energia<br>elettrica        | Altro<br>combustibile<br>o energia |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Impianto centralizzato ad uso di più abitazioni                                                                                           | 01 <input type="checkbox"/> | 02 <input type="checkbox"/> | 03 <input type="checkbox"/>         | 04 <input type="checkbox"/>                      | 05 <input type="checkbox"/> | 06 <input type="checkbox"/> | 07 <input type="checkbox"/>        |
| Impianto autonomo ad uso esclusivo dell'abitazione                                                                                        | 08 <input type="checkbox"/> | 09 <input type="checkbox"/> | 10 <input type="checkbox"/>         | 11 <input type="checkbox"/>                      | 12 <input type="checkbox"/> | 13 <input type="checkbox"/> | 14 <input type="checkbox"/>        |
| Apparecchi singoli fissi (camino, stufa, radiatore, pompe di calore, ecc.) che riscaldano l'intera abitazione, o la maggior parte di essa | 15 <input type="checkbox"/> | 16 <input type="checkbox"/> | 17 <input type="checkbox"/>         | 18 <input type="checkbox"/>                      | 19 <input type="checkbox"/> | 20 <input type="checkbox"/> | 21 <input type="checkbox"/>        |
| Apparecchi singoli fissi (camino, stufa, radiatore, pompe di calore, ecc.) che riscaldano alcune parti dell'abitazione                    | 22 <input type="checkbox"/> | 23 <input type="checkbox"/> | 24 <input type="checkbox"/>         | 25 <input type="checkbox"/>                      | 26 <input type="checkbox"/> | 27 <input type="checkbox"/> | 28 <input type="checkbox"/>        |

**4.3 L'abitazione dispone di un impianto a energia rinnovabile per la produzione di energia elettrica?**  
(impianto solare fotovoltaico, impianto eolico, ecc.)

- 1 ☐ Sì  
2 ☐ No

**4.4 L'abitazione ha un impianto fisso di aria condizionata?**

- 1 ☐ Sì  
2 ☐ No



Figura 3 – Domande sugli impianti di climatizzazione

## 4 Variabili richieste

Al fine di impostare i *profili tipo di utilizzo* del patrimonio edilizio con un dettaglio spaziale sub urbano inerenti ai seguenti temi, sono state impostate le seguenti variabili:

- tipologie di sistemi costruttivi più diffusi nel contesto urbano, e stato di conservazione;
- tipologie di sistemi impiantistici più diffuse (ACS, riscaldamento, raffrescamento);
- modalità di utilizzo degli impianti (tempo d'uso, parte della casa riscaldata, ...);
- tipologie di occupanti e n° di residenti medio;
- vettori energetici più utilizzati

### Elenco delle variabili e delle elaborazioni di interesse

a) Alcune variabili ed elaborazioni del punto 3 del CPA 2011 ossia:

1. n° abitazioni che dispongono di acqua calda sanitaria (domanda 3.2)
2. n° abitazioni che dispongono di acqua calda prodotta dallo stesso impianto per riscaldamento (domanda 3.3.)
3. n° abitazioni che utilizzano metano per la produzione di ACS (domanda 3.4)
4. n° abitazioni che utilizzano energia elettrica per la produzione di ACS (domanda 3.4)
5. n° abitazioni che utilizzano energia solare per la produzione di ACS (domanda 3.4)
6. n° abitazioni che utilizzano altre fonti energetiche per la produzione di ACS (domanda 3.4)
  
7. n° abitazioni che utilizzano metano ed energia elettrica per la produzione di ACS (domanda 3.4)
8. n° abitazioni che utilizzano metano ed energia solare per la produzione di ACS (domanda 3.4)
9. n° abitazioni che utilizzano metano ed altro per la produzione di ACS (domanda 3.4)
10. n° abitazioni che utilizzano energia elettrica e solare per la produzione di ACS (domanda 3.4)
11. n° abitazioni che utilizzano energia elettrica ed altro per la produzione di ACS (domanda 3.4)
12. n° abitazioni che utilizzano altro e solare per la produzione di ACS (domanda 3.4)
13. n° abitazioni che utilizzano più di 2 fonti per la produzione di ACS (domanda 3.4)

b) Il gruppo completo delle variabili del punto 4 del CPA 2011 ossia:

*n° di alloggi con impianto di riscaldamento (domanda 4.1)*

*n° abitazioni che dispongono di un impianto a energia rinnovabile per energia elettrica (domanda 4.3)*

*n° abitazioni con impianto fisso di aria condizionata (domanda 4.4)*

*n° di abitazioni per tipo di impianto e tipo di combustibile (domanda 4.2)*, possibilmente mantenendo la preziosa informazione che lega il tipo di combustibile con il tipo di impianto, ossia con le seguenti elaborazioni:

b1. *Impianti e fonte energetica*

1. n° abitazioni con impianto centralizzato alimentato gas naturale;
2. n° abitazioni con impianto centralizzato alimentato gasolio;
3. n° abitazioni con impianto centralizzato alimentato GPL;
4. n° abitazioni con impianto centralizzato alimentato Combustibile Solido;
5. n° abitazioni con impianto centralizzato alimentato Olio Combustibile;
6. n° abitazioni con impianto centralizzato alimentato Elettricità;
7. n° abitazioni con impianto centralizzato alimentato ad. Altra energia;
8. n° abitazioni con impianto autonomo alimentato gas naturale;
9. n° abitazioni con impianto autonomo alimentato gasolio;
10. n° abitazioni con impianto autonomo alimentato GPL;
11. n° abitazioni con impianto autonomo alimentato Combustibile Solido;
12. n° abitazioni con impianto autonomo alimentato Olio Combustibile;
13. n° abitazioni con impianto autonomo alimentato Elettricità;
14. n° abitazioni con impianto autonomo alimentato ad. Altra energia;
15. n° abitazioni con impianto singolo fisso per tutta l'abitazione alimentato gas naturale;
16. n° abitazioni con impianto singolo fisso per tutta l'abitazione alimentato gasolio;
17. n° abitazioni con impianto singolo fisso per tutta l'abitazione alimentato GPL;
18. n° abitazioni con impianto singolo fisso per tutta l'abitazione alimentato Combustibile Solido;

19. n° abitazioni con impianto singolo fisso per tutta l'abitazione alimentato Olio Combustibile;
20. n° abitazioni con impianto singolo fisso per tutta l'abitazione alimentato Elettricità;
21. n° abitazioni con impianto singolo fisso per tutta l'abitazione alimentato ad. Altra energia;
22. n° abitazioni con impianto singolo fisso per parte dell'abitazione alimentato gas naturale;
23. n° abitazioni con impianto singolo fisso per parte dell'abitazione alimentato gasolio;
24. n° abitazioni con impianto singolo fisso per parte dell'abitazione alimentato GPL;
25. n° abitazioni con impianto singolo fisso per parte dell'abitazione alimentato Combustibile Solido;
26. n° abitazioni con impianto singolo fisso per parte dell'abitazione alimentato Olio Combustibile;
27. n° abitazioni con impianto singolo fisso per parte dell'abitazione alimentato Elettricità;
28. n° abitazioni con impianto singolo fisso per parte dell'abitazione alimentato ad. Altra energia;

b.2 *Abitazioni e tipo di sistemi impiantistici*

29. n° abitazioni con solo impianto centralizzato
30. n° abitazioni con solo impianto autonomo
31. n° abitazioni con solo impianto singolo totale
32. n° abitazioni con solo impianto singolo parziale

queste non le avevo chieste

33. n° abitazioni pre 1919 con impianto centralizzato ed impianto singolo totale
34. n° abitazioni pre 1919 con impianto centralizzato ed impianto singolo parziale
35. n° abitazioni pre 1919 con impianto autonomo ed impianto singolo totale
36. n° abitazioni pre 1919 con impianto autonomo ed impianto singolo parziale
37. n° abitazioni dal 1919 al 1945 con impianto centralizzato ed impianto singolo totale
38. n° abitazioni dal 1919 al 1945 con impianto centralizzato ed impianto singolo parziale
39. n° abitazioni dal 1919 al 1945 con impianto autonomo ed impianto singolo totale
40. n° abitazioni dal 1919 al 1945 con impianto autonomo ed impianto singolo parziale
41. n° abitazioni dal 1946 al 1960 con impianto centralizzato ed impianto singolo totale
42. n° abitazioni dal 1946 al 1960 con impianto centralizzato ed impianto singolo parziale
43. n° abitazioni dal 1946 al 1960 con impianto autonomo ed impianto singolo totale
44. n° abitazioni dal 1946 al 1960 con impianto autonomo ed impianto singolo parziale
45. n° abitazioni dal 1961 al 1970 con impianto centralizzato ed impianto singolo totale
46. n° abitazioni dal 1961 al 1970 con impianto centralizzato ed impianto singolo parziale
47. n° abitazioni dal 1961 al 1970 con impianto autonomo ed impianto singolo totale
48. n° abitazioni dal 1961 al 1970 con impianto autonomo ed impianto singolo parziale
49. n° abitazioni dal 1971 al 1980 con impianto centralizzato ed impianto singolo totale
50. n° abitazioni dal 1971 al 1980 con impianto centralizzato ed impianto singolo parziale
51. n° abitazioni dal 1971 al 1980 con impianto autonomo ed impianto singolo totale
52. n° abitazioni dal 1971 al 1980 con impianto autonomo ed impianto singolo parziale
53. n° abitazioni dal 1981 al 1990 con impianto centralizzato ed impianto singolo totale
54. n° abitazioni dal 1981 al 1990 con impianto centralizzato ed impianto singolo parziale
55. n° abitazioni dal 1981 al 1990 con impianto autonomo ed impianto singolo totale
56. n° abitazioni dal 1981 al 1990 con impianto autonomo ed impianto singolo parziale
57. n° abitazioni dal 1991 al 2000 con impianto centralizzato ed impianto singolo totale
58. n° abitazioni dal 1991 al 2000 con impianto centralizzato ed impianto singolo parziale
59. n° abitazioni dal 1991 al 2000 con impianto autonomo ed impianto singolo totale
60. n° abitazioni dal 1991 al 2000 con impianto autonomo ed impianto singolo parziale
61. n° abitazioni dal 2000 al 2005 con impianto centralizzato ed impianto singolo totale
62. n° abitazioni dal 2000 al 2005 con impianto centralizzato ed impianto singolo parziale
63. n° abitazioni dal 2000 al 2005 con impianto autonomo ed impianto singolo totale
64. n° abitazioni dal 2000 al 2005 con impianto autonomo ed impianto singolo parziale
65. n° abitazioni dopo il 2005 con impianto centralizzato ed impianto singolo totale
66. n° abitazioni dopo il 2005 con impianto centralizzato ed impianto singolo parziale
67. n° abitazioni dopo il 2005 con impianto autonomo ed impianto singolo totale
68. n° abitazioni dopo il 2005 con impianto autonomo ed impianto singolo parziale

b3. *Abitazioni e fonte energetica*

69. n° abitazioni con impianto alimentato solo a gas naturale;

70. n° abitazioni con impianto alimentato solo a gasolio;
71. n° abitazioni con impianto alimentato solo a GPL;
72. n° abitazioni con impianto alimentato solo a Combustibile Solido;
73. n° abitazioni con impianto alimentato solo a Olio Combustibile;
74. n° abitazioni con impianto alimentato solo a Elettricità;
75. n° abitazioni con impianto alimentato solo con altre energie;
  
76. n° abitazioni con impianto alimentato con uno o più prodotti petroliferi (Gasolio, GPL, Olio Combustibile, Gas naturale).
  
77. n° abitazioni con impianto alimentato con Elettricità e Gas Naturale
78. n° abitazioni con impianto alimentato con Elettricità e GPL
79. n° abitazioni con impianto alimentato con Elettricità e Gasolio
80. n° abitazioni con impianto alimentato con Elettricità e Combustibile Solido
81. n° abitazioni con impianto alimentato con Elettricità e Olio Combustibile
82. n° abitazioni con impianto alimentato con Elettricità ed altre energie.
83. n° abitazioni con impianto alimentato con Combustibile Solido e Gas Naturale
84. n° abitazioni con impianto alimentato con Combustibile Solido e GPL
85. n° abitazioni con impianto alimentato con Combustibile Solido e Gasolio
86. n° abitazioni con impianto alimentato con Combustibile Solido e Olio Combustibile
87. n° abitazioni con impianto alimentato con Combustibile Solido e altre energie
  
88. N° abitazioni con impianto alimentato da 2 fonti energetiche;
89. N° abitazioni con impianto alimentato da 3 fonti energetiche;
90. N° abitazioni con impianto alimentato da 4 e oltre fonti energetiche
  
- c) Proprietà della Abitazione e presenza di FER (domanda 2.1)*
  1. N° abitazioni proprietà privata
  2. N° abitazioni proprietà di impresa
  3. N° abitazioni proprietà di cooperativa
  4. N° abitazioni proprietà di stato regione provincia
  5. N° abitazioni proprietà di comune
  6. N° abitazioni proprietà di Ente Previdenziale
  7. N° abitazioni proprietà di Istituto Autonomo Case Popolari
  8. N° abitazioni di altre proprietà
  9. N° abitazioni di prop. Pubblica (Regione, provincia, Comune, Ente Previdenziale, IACP) con un impianto a energia rinnovabile per energia elettrica
  10. N° abitazioni proprietà privata con un impianto a energia rinnovabile per energia elettrica (domanda 4.3)
  11. N° abitazioni proprietà di impresa con un impianto a energia rinnovabile per energia elettrica (domanda 4.3)
  12. N° abitazioni proprietà di cooperativa con un impianto a energia rinnovabile per energia elettrica (domanda 4.3)
  13. N° abitazioni di proprietà Pubblica (Regione, provincia, Comune, Ente Previdenziale, IACP) con produzione di ACS da solare (domanda 3.4)
  14. N° abitazioni proprietà privata con produzione di ACS da solare (domanda 3.4)
  15. N° abitazioni proprietà di impresa con produzione di ACS da solare (domanda 3.4)
  16. N° abitazioni proprietà di cooperativa con produzione di ACS da solare (domanda 3.4)



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



MINISTERO DELLA TRANSIZIONE ECOLOGICA



Ricerca di Sistema elettrico

## Allegato 4 – Questionario energetico *Analisi e rappresentazione del patrimonio edilizio residenziale: Caso studio di Carbonia*

S. Pili, F. Poggi, G. Cau, E. Loria, C. Frau



Report RdS/PTR2020/119

## ANALISI E RAPPRESENTAZIONE DEL PATRIMONIO EDILIZIO RESIDENZIALE: CASO STUDIO DI CARBONIA - Allegato 4 – Questionario energetico

S. Pili, F. Poggi, G. Cau, E. Loria, C. Frau (SOTACARBO)

Aprile 2021

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità

Obiettivo: *N. 1 - Tecnologie*

Progetto: *1.5 - Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti*

Work package: *1 - Edifici ad alta efficienza energetica*

Linea di attività: *LA1.27 - Analisi e rappresentazione del patrimonio edilizio residenziale: caso studio di Carbonia*

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi, ENEA

Responsabile del Work package: Domenico Iatauro, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Metodologie e strumenti per lo sviluppo di strategie di riqualificazione del patrimonio edilizio esistente*"

Responsabile scientifico ENEA: Giovanni Puglisi

Responsabile scientifico SOTACARBO: Marcella Fadda

**“AUDIT DEGLI EDIFICI CAMPIONE DEL COMUNE DI CARBONIA”**

| DATI DELL'INTERVISTATO |                                |                                |                                |                                      |
|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| Età                    | <input type="checkbox"/> 13-15 | <input type="checkbox"/> 16-18 | <input type="checkbox"/> 19-20 | <input type="checkbox"/> Altro _____ |

| 1 INFORMAZIONI GENERALI SULL'UNITA' IMMOBILIARE                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                               |                                |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                |                               |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--|
| In che zona della città abiti?                                                                               | <input type="checkbox"/> Carbonia centro storico <input type="checkbox"/> Carbonia periferia <input type="checkbox"/> Carbonia nuove lottizzazioni <input type="checkbox"/> Frazione di Carbonia<br><input type="checkbox"/> Altro Comune _____                                                                                                                                                                                                                          |                               |                                |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                |                               |  |
| Puoi indicare il quartiere o la via dove si trova la tua abitazione?<br>(NON indicare il numero civico)      | _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                               |                                |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                |                               |  |
| A che tipologia edilizia corrisponde la tua abitazione?                                                      | <input type="checkbox"/> Casa singola monofamiliare (indicare il numero di piani n° _____)<br><input type="checkbox"/> Casa singola plurifamiliare (indicare il numero di piani n° _____)<br><input type="checkbox"/> Appartamento in palazzina<br><input type="checkbox"/> Casa a schiera<br><input type="checkbox"/> Casa a corte tradizionale                                                                                                                         |                               |                                |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                |                               |  |
| Sapresti specificare l'anno di costruzione?                                                                  | <input type="checkbox"/> Prima del 1919 <input type="checkbox"/> Tra il 1919-1945 <input type="checkbox"/> Tra il 1946-1960 <input type="checkbox"/> Tra il 1961-1970<br><input type="checkbox"/> Tra il 1971-1980 <input type="checkbox"/> Tra il 1981-1990 <input type="checkbox"/> Tra il 1991-2000 <input type="checkbox"/> Tra il 2001-2005<br><input type="checkbox"/> Tra il 2006-2011 <input type="checkbox"/> Oltre il 2011 <input type="checkbox"/> Non saprei |                               |                                |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                |                               |  |
| <b>Se abiti in un palazzo, sai indicare il numero di piani complessivo e quello nel quale abiti?</b>         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                               |                                |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                |                               |  |
| Il numero di piani complessivo è _____                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                               |                                | Abito al piano n° _____                                                                                                                                                                                                                                             |                                |                               |  |
| Se abiti in una casa singola, di quali livelli è composta la tua casa?<br>(sono previste anche più risposte) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                               |                                | <input type="checkbox"/> Scantinato<br><input type="checkbox"/> Piano terra<br><input type="checkbox"/> Piani intermedi (indicare il numero di piani n° _____)<br><input type="checkbox"/> Ultimo piano (lastrico o copertura)<br><input type="checkbox"/> Mansarda |                                |                               |  |
| Sapresti indicare approssimativamente la superficie della tua casa (m²)?                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                               |                                | <input type="checkbox"/> < 50 m² <input type="checkbox"/> 51-70 m² <input type="checkbox"/> 71-100 m²<br><input type="checkbox"/> 100-120 m² <input type="checkbox"/> 120-150 m² <input type="checkbox"/> >150 m²                                                   |                                |                               |  |
| Puoi indicarne il numero di ambienti presenti?                                                               | <input type="checkbox"/> Cucina <input type="checkbox"/> Open space (salone cucina) <input type="checkbox"/> Cucinotto <input type="checkbox"/> Servizi igienici <input type="checkbox"/> Altre camere<br>N°                      N°                      N°                      N°                      N°                                                                                                                                                             |                               |                                |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                |                               |  |
| Puoi indicare la fascia di età ed il numero di componenti familiari appartenenti a ciascuna di esse?         | Fascia d'età                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <input type="checkbox"/> 0-10 | <input type="checkbox"/> 10-18 | <input type="checkbox"/> 19-45                                                                                                                                                                                                                                      | <input type="checkbox"/> 46-65 | <input type="checkbox"/> > 65 |  |
|                                                                                                              | N°                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                               |                                |                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                |                               |  |

| 2 DATI DELL'INVOLUCRO                                       |                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                     |                                      |                                                                                      |                                       |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Su quanti lati la tua abitazione è esposta verso l'esterno? | <input type="checkbox"/> Un lato esterno <input type="checkbox"/> Due lati esterni <input type="checkbox"/> Tre lati esterni <input type="checkbox"/> Quattro lati esterni<br><input type="checkbox"/> Altro _____ |                                                                                     |                                      |                                                                                      |                                       |                                                                                       |
| 2.1 INFORMAZIONI SUL SOLAIO DELLA TUA ABITAZIONE            |                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                     |                                      |                                                                                      |                                       |                                                                                       |
| Indicare la tipologia di copertura                          | <input type="checkbox"/> Piana                                                                                                                                                                                     |  | <input type="checkbox"/> Mono falda  |  | <input type="checkbox"/> Doppia falda |  |
|                                                             | <input type="checkbox"/> Mista (piana e inclinata)                                                                                                                                                                 |  | <input type="checkbox"/> Multi falda |  | <input type="checkbox"/> Altro _____  |                                                                                       |

|                                                                                   |                                         |                                                                      |                                                            |                                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| In che materiale è realizzata la copertura?                                       | <input type="checkbox"/> Latero cemento | <input type="checkbox"/> Legno                                       | <input type="checkbox"/> Acciaio                           | <input type="checkbox"/> Altro _____ |
| Lo stato di conservazione della copertura è:                                      | <input type="checkbox"/> Buono          | <input type="checkbox"/> Mediocre (umidità, saltuarie infiltrazioni) | <input type="checkbox"/> Scarsa (cedimenti, infiltrazioni) |                                      |
| Nella tua abitazione è presente il sottotetto?                                    | <input type="checkbox"/> Sì             | <input type="checkbox"/> No                                          |                                                            |                                      |
| Se la risposta è affermativa sono presenti aperture (es. finestre, lucernai etc.) | <input type="checkbox"/> Sì             | <input type="checkbox"/> No                                          |                                                            |                                      |

## 2.2 INFORMAZIONI SUL PIANTERRENO

|                           |                                                      |                                                                      |                                                            |
|---------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Indicare la tipologia     | <input type="checkbox"/> Poggiato sul suolo          | <input type="checkbox"/> Rialzato                                    | <input type="checkbox"/> Tipo pilotis                      |
|                           | <input type="checkbox"/> Seminterrato non riscaldato | <input type="checkbox"/> Piano terra non riscaldato                  | <input type="checkbox"/> Piano terra riscaldato            |
| Lo stato di conservazione | <input type="checkbox"/> Buono                       | <input type="checkbox"/> Mediocre (umidità, saltuarie infiltrazioni) | <input type="checkbox"/> Scarsa (cedimenti, infiltrazioni) |

## 2.3 INFORMAZIONI SUI MATERIALI DI COSTRUZIONE

|                                                          |                                                                                |                                                                                    |                                                                                |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| In che materiale è realizzata la tua abitazione?         | <input type="checkbox"/> Telaio in cemento armato e tamponatura in laterizio   | <input type="checkbox"/> Blocco cementizio (blocchetto in calcestruzzo CLS)        |                                                                                |
|                                                          | <input type="checkbox"/> Pietra tradizionale                                   | <input type="checkbox"/> Legno                                                     |                                                                                |
|                                                          | <input type="checkbox"/> Pietra tradizionale con ladiri                        |                                                                                    |                                                                                |
|                                                          | <input type="checkbox"/> Muratura portante                                     | <input type="checkbox"/> Altro _____                                               |                                                                                |
| Qual è lo stato di conservazione della muratura interna? | <input type="checkbox"/> Buono                                                 | <input type="checkbox"/> Mediocre (moderata umidità di risalita, distacco pittura) | <input type="checkbox"/> Scarsa (forte umidità di risalita, diffusi distacchi) |
|                                                          | <input type="checkbox"/> Scarsa (forte umidità di risalita, diffusi distacchi) |                                                                                    |                                                                                |
| Qual è lo stato di conservazione delle pareti esterne?   | <input type="checkbox"/> Buono                                                 | <input type="checkbox"/> Mediocre (parziali distacchi)                             | <input type="checkbox"/> Scarso (diffusi distacchi)                            |
|                                                          |                                                                                |                                                                                    |                                                                                |

## 2.4 INFORMAZIONI SUGLI INFISSI

|                                                                              |                                            |                                                  |                                               |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Sai indicare in che materiale è costituito il telaio degli infissi?          | <input type="checkbox"/> Legno             | <input type="checkbox"/> Alluminio               | <input type="checkbox"/> PVC                  |
| Il vetro è:                                                                  | <input type="checkbox"/> Singolo           | <input type="checkbox"/> Doppio                  | <input type="checkbox"/> Triplo               |
| Le chiusure delle tue finestre sono:                                         | <input type="checkbox"/> Tapparella legno  | <input type="checkbox"/> Tapparella PVC          | <input type="checkbox"/> Tapparella alluminio |
|                                                                              | <input type="checkbox"/> Persiane in legno | <input type="checkbox"/> Persiane in alluminio   | <input type="checkbox"/> Persiane in pvc      |
|                                                                              | <input type="checkbox"/> Portellone in pvc | <input type="checkbox"/> Portellone in alluminio | <input type="checkbox"/> Portellone in legno  |
|                                                                              | <input type="checkbox"/> Scurino in legno  | <input type="checkbox"/> Scurino in alluminio    | <input type="checkbox"/> Scurino in pvc       |
|                                                                              | <input type="checkbox"/> Altro _____       |                                                  |                                               |
|                                                                              |                                            |                                                  |                                               |
| Quali tra le seguenti schermature solari sono presenti nella tua abitazione? | <input type="checkbox"/> Veneziane         | <input type="checkbox"/> Tende esterne           | <input type="checkbox"/> Nessuna              |
|                                                                              | <input type="checkbox"/> Altro _____       |                                                  |                                               |
| Qual è lo stato di conservazione degli infissi?                              | <input type="checkbox"/> Buono             | <input type="checkbox"/> Mediocre                | <input type="checkbox"/> Scarso               |

## 3 DATI SUL SISTEMA DI RISCALDAMENTO

|                                                              |                                                                                 |                                                                                                  |                                        |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Nella tua abitazione è presente un sistema di riscaldamento? | <input type="checkbox"/> Sì                                                     | <input type="checkbox"/> No                                                                      |                                        |
| Se sì, sapresti indicarne la tipologia?                      | <input type="checkbox"/> Centralizzato (sistema comune a più unità immobiliari) | <input type="checkbox"/> Autonomo (es. canalizzato) <input type="checkbox"/> Singolo (es. split) |                                        |
| Che porzione della casa è abitualmente riscaldata?           | <input type="checkbox"/> La totalità                                            | <input type="checkbox"/> La totalità                                                             | <input type="checkbox"/> La totalità   |
|                                                              | <input type="checkbox"/> Parziale, 75%                                          | <input type="checkbox"/> Parziale, 75%                                                           | <input type="checkbox"/> Parziale, 75% |
|                                                              | <input type="checkbox"/> Parziale 50%                                           | <input type="checkbox"/> Parziale 50%                                                            | <input type="checkbox"/> Parziale 50%  |
|                                                              | <input type="checkbox"/> Parziale 25%                                           | <input type="checkbox"/> Parziale 25%                                                            | <input type="checkbox"/> Parziale 25%  |
|                                                              | <input type="checkbox"/> Una stanza                                             | <input type="checkbox"/> Una stanza                                                              | <input type="checkbox"/> Una stanza    |

| 3.2 SISTEMA DI RISCALDAMENTO                                                                                                |                                                                                                                                                                                 |                                                                 |                                                                           |                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Se è presente un sistema di riscaldamento, indicarne la tipologia tra quelle seguenti e il relativo stato di funzionamento: |                                                                                                                                                                                 |                                                                 |                                                                           |                                                                        |
| <b>Caldaia tradizionale (GPL/Gasolio)</b>                                                                                   | <input type="checkbox"/> Con termosifoni <input type="checkbox"/> Con pannelli/pavimento radiante <input type="checkbox"/> Con fancoil <input type="checkbox"/> Con altro _____ |                                                                 |                                                                           |                                                                        |
| Tipo di gestione                                                                                                            | <input type="checkbox"/> Centralizzato (sistema comune a più unità immobiliari)                                                                                                 |                                                                 | <input type="checkbox"/> Autonomo per unità immobiliare                   |                                                                        |
| Stato conservazione generale dell'impianto                                                                                  | <input type="checkbox"/> Non funzionante                                                                                                                                        | <input type="checkbox"/> Vetusto, bassa efficienza ed efficacia | <input type="checkbox"/> Buono stato, sufficiente efficienza ed efficacia | <input type="checkbox"/> Buono stato Recente (post 2010)               |
| Tipo di regolazione                                                                                                         | <input type="checkbox"/> Acceso manuale <input type="checkbox"/> spento                                                                                                         | <input type="checkbox"/> Un Termostato/controllo solo           | <input type="checkbox"/> Termostato/controllo per zona                    | <input type="checkbox"/> Termostato/controllo per stanza               |
| Quali ambienti sono riscaldati principalmente?                                                                              | <input type="checkbox"/> Cucina <input type="checkbox"/> Salone                                                                                                                 |                                                                 | <input type="checkbox"/> Camere                                           | <input type="checkbox"/> Bagno                                         |
|                                                                                                                             | <input type="checkbox"/> Altro _____                                                                                                                                            |                                                                 |                                                                           |                                                                        |
| Per quanti giorni della settimana il sistema di riscaldamento è in funzione?                                                | <input type="checkbox"/> Tutti                                                                                                                                                  | <input type="checkbox"/> 4-5                                    | <input type="checkbox"/> 5 (feriali)                                      | <input type="checkbox"/> 2-3 (weekend)                                 |
|                                                                                                                             | <input type="checkbox"/> 1-2 (saltuariamente)                                                                                                                                   | <input type="checkbox"/> Altro _____                            |                                                                           |                                                                        |
| Per quante ore il sistema di riscaldamento rimane acceso?                                                                   | <input type="checkbox"/> 1-2                                                                                                                                                    | <input type="checkbox"/> 3-5                                    | <input type="checkbox"/> 6-8                                              | <input type="checkbox"/> 8-10 <input type="checkbox"/> Tutto il giorno |
| <b>Caldaia a biomassa</b>                                                                                                   | <input type="checkbox"/> Con termosifoni <input type="checkbox"/> Con pannelli/pavimento radiante <input type="checkbox"/> Con fancoil <input type="checkbox"/> Con altro _____ |                                                                 |                                                                           |                                                                        |
| Tipo di gestione                                                                                                            | <input type="checkbox"/> Centralizzato (sistema comune a più unità immobiliari)                                                                                                 |                                                                 | <input type="checkbox"/> Autonomo per unità immobiliare                   |                                                                        |
| Stato conservazione generale dell'impianto                                                                                  | <input type="checkbox"/> Non funzionante                                                                                                                                        | <input type="checkbox"/> Vetusto, bassa efficienza ed efficacia | <input type="checkbox"/> Buono stato, sufficiente efficienza ed efficacia | <input type="checkbox"/> Buono stato Recente (post 2010)               |
| Tipo di regolazione                                                                                                         | <input type="checkbox"/> Acceso manuale <input type="checkbox"/> spento                                                                                                         | <input type="checkbox"/> Un Termostato/controllo solo           | <input type="checkbox"/> Termostato/controllo per zona                    | <input type="checkbox"/> Termostato/controllo per stanza               |
| Quali ambienti sono riscaldati principalmente?                                                                              | <input type="checkbox"/> Cucina <input type="checkbox"/> Salone                                                                                                                 |                                                                 | <input type="checkbox"/> Camere                                           | <input type="checkbox"/> Bagno                                         |
|                                                                                                                             | <input type="checkbox"/> Altro _____                                                                                                                                            |                                                                 |                                                                           |                                                                        |
| Per quanti giorni della settimana il sistema di riscaldamento è in funzione?                                                | <input type="checkbox"/> Tutti                                                                                                                                                  | <input type="checkbox"/> 4-5                                    | <input type="checkbox"/> 5 (feriali)                                      | <input type="checkbox"/> 2-3 (weekend)                                 |
|                                                                                                                             | <input type="checkbox"/> 1-2 (saltuariamente)                                                                                                                                   | <input type="checkbox"/> Altro _____                            |                                                                           |                                                                        |
| Per quante ore il sistema di riscaldamento rimane acceso?                                                                   | <input type="checkbox"/> 1-2                                                                                                                                                    | <input type="checkbox"/> 3-5                                    | <input type="checkbox"/> 6-8                                              | <input type="checkbox"/> 8-10 <input type="checkbox"/> Tutto il giorno |
| <b>Termocamino</b>                                                                                                          | <input type="checkbox"/> Con termosifoni <input type="checkbox"/> Con pannelli/pavimento radiante <input type="checkbox"/> Con fancoil <input type="checkbox"/> Con altro _____ |                                                                 |                                                                           |                                                                        |
| Tipo di gestione                                                                                                            | <input type="checkbox"/> Centralizzato (sistema comune a più unità immobiliari)                                                                                                 |                                                                 | <input type="checkbox"/> Autonomo per unità immobiliare                   |                                                                        |
| Stato conservazione generale dell'impianto                                                                                  | <input type="checkbox"/> Non funzionante                                                                                                                                        | <input type="checkbox"/> Vetusto, bassa efficienza ed efficacia | <input type="checkbox"/> Buono stato, sufficiente efficienza ed efficacia | <input type="checkbox"/> Buono stato Recente (post 2010)               |
| Tipo di regolazione                                                                                                         | <input type="checkbox"/> Acceso manuale <input type="checkbox"/> spento                                                                                                         | <input type="checkbox"/> Un Termostato/controllo solo           | <input type="checkbox"/> Termostato/controllo per zona                    | <input type="checkbox"/> Termostato/controllo per stanza               |
| Quali ambienti sono riscaldati principalmente?                                                                              | <input type="checkbox"/> Cucina <input type="checkbox"/> Salone                                                                                                                 |                                                                 | <input type="checkbox"/> Camere                                           | <input type="checkbox"/> Bagno                                         |
|                                                                                                                             | <input type="checkbox"/> Altro _____                                                                                                                                            |                                                                 |                                                                           |                                                                        |
|                                                                                                                             | <input type="checkbox"/> Tutti                                                                                                                                                  | <input type="checkbox"/> 4-5                                    | <input type="checkbox"/> 5 (feriali)                                      | <input type="checkbox"/> 2-3 (weekend)                                 |

|                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                             |  |  |  |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|
| Per quanti giorni della settimana il sistema di riscaldamento è in funzione? | <input type="checkbox"/> 1-2 (saltuariamente) <input type="checkbox"/> Altro _____                                                                                                                                                          |  |  |  |
| Per quante ore il sistema di riscaldamento rimane acceso?                    | <input type="checkbox"/> 1-2 <input type="checkbox"/> 3-5 <input type="checkbox"/> 6-8 <input type="checkbox"/> 8-10 <input type="checkbox"/> Tutto il giorno                                                                               |  |  |  |
| <b>Pompa di calore</b>                                                       | <input type="checkbox"/> Split singoli <input type="checkbox"/> Multisplit <input type="checkbox"/> Canalizzato <input type="checkbox"/> Fan coil                                                                                           |  |  |  |
| Tipo di gestione                                                             | <input type="checkbox"/> Centralizzato (sistema comune a più unità immobiliari) <input type="checkbox"/> Autonomo per unità immobiliare                                                                                                     |  |  |  |
| Stato conservazione generale dell'impianto                                   | <input type="checkbox"/> Non funzionante <input type="checkbox"/> Vetusto, bassa efficienza ed efficacia <input type="checkbox"/> Buono stato, sufficiente efficienza ed efficacia <input type="checkbox"/> Buono stato Recente (post 2010) |  |  |  |
| Tipo di regolazione                                                          | <input type="checkbox"/> Acceso/Spento manuale <input type="checkbox"/> Un solo Termostato/controllo <input type="checkbox"/> Termostato/controllo per zona <input type="checkbox"/> Termostato/controllo per stanza                        |  |  |  |
| Se parziale, quali ambienti sono riscaldati principalmente?                  | <input type="checkbox"/> Cucina <input type="checkbox"/> Salone <input type="checkbox"/> Camere <input type="checkbox"/> Bagno<br><input type="checkbox"/> Altro _____                                                                      |  |  |  |
| Per quanti giorni della settimana il sistema di riscaldamento è in funzione? | <input type="checkbox"/> Tutti <input type="checkbox"/> 4-5 <input type="checkbox"/> 5 (feriali)      2-3 (weekend)<br><input type="checkbox"/> 1-2 (saltuariamente) <input type="checkbox"/> Altro _____                                   |  |  |  |
| Per quante ore il sistema di riscaldamento rimane acceso?                    | <input type="checkbox"/> 1-2 <input type="checkbox"/> 3-5 <input type="checkbox"/> 6-8 <input type="checkbox"/> 8-10 <input type="checkbox"/> Tutto il giorno                                                                               |  |  |  |
| <b>Altri sistemi</b>                                                         |                                                                                                                                                                                                                                             |  |  |  |
| Camino a legna (tradizionale o simile)                                       | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                                                    |  |  |  |
| Stufe a GAS                                                                  | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                                                    |  |  |  |
| Stufe a pellet                                                               | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                                                    |  |  |  |
| Stufe elettriche                                                             | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                                                    |  |  |  |
| Altro _____                                                                  | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                                                    |  |  |  |

|                                                                               |                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>4 DATI SUL SISTEMA DI RAFFRESCAMENTO</b>                                   |                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                         |
| Nella tua abitazione è presente un sistema di raffrescamento?                 | <input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                         |
| Se sì, sapresti indicarne la tipologia?                                       | <input type="checkbox"/> Centralizzato (sistema comune a più unità immobiliari)                                                                                                                           | <input type="checkbox"/> Autonomo (es. canalizzato, impianto aria-acqua)                                                                                                                                | <input type="checkbox"/> Singolo (es. split)                                                                                                                                                            |
| Che porzione della casa è abitualmente raffrescata?                           | <input type="checkbox"/> La totalità<br><input type="checkbox"/> Parziale, 75%<br><input type="checkbox"/> Parziale 50%<br><input type="checkbox"/> Parziale 25%<br><input type="checkbox"/> Una stanza   | <input type="checkbox"/> La totalità<br><input type="checkbox"/> Parziale, 75%<br><input type="checkbox"/> Parziale 50%<br><input type="checkbox"/> Parziale 25%<br><input type="checkbox"/> Una stanza | <input type="checkbox"/> La totalità<br><input type="checkbox"/> Parziale, 75%<br><input type="checkbox"/> Parziale 50%<br><input type="checkbox"/> Parziale 25%<br><input type="checkbox"/> Una stanza |
| Se parziale, quali ambienti sono raffrescati principalmente?                  | <input type="checkbox"/> Cucina <input type="checkbox"/> Salone <input type="checkbox"/> Camera <input type="checkbox"/> Bagno<br><input type="checkbox"/> Altro _____                                    |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                         |
| Per quanti giorni della settimana il sistema di raffrescamento è in funzione? | <input type="checkbox"/> Tutti <input type="checkbox"/> 4-5 <input type="checkbox"/> 5 (feriali)      2-3 (weekend)<br><input type="checkbox"/> 1-2 (saltuariamente) <input type="checkbox"/> Altro _____ |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                         |
| Per quante ore il sistema di raffrescamento rimane acceso?                    | <input type="checkbox"/> 1-2 <input type="checkbox"/> 3-5 <input type="checkbox"/> 6-8 <input type="checkbox"/> 8-10 <input type="checkbox"/> Tutto il giorno                                             |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                         |
| <b>4.1 REGOLAZIONE IMPIANTO RAFFRESCAMENTO</b>                                |                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                         |
|                                                                               | Tutta la casa                                                                                                                                                                                             | Parti della casa (es: zona notte, zona giorno)                                                                                                                                                          | Per stanza                                                                                                                                                                                              |
| Solo on/off                                                                   | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                  | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                |
| Termostato/valvole termostatiche                                              | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                  | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                |
| Sistema elettronico di regolazione programmabile (domotica)                   | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                  | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                | <input type="checkbox"/>                                                                                                                                                                                |
| <b>4.2 SISTEMA DI RAFFRESCAMENTO</b>                                          |                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                         |
| Il sistema di raffrescamento presente nel vostro edificio è funzionante?      | <input type="checkbox"/> Sì <input type="checkbox"/> No                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                         |

| Se la risposta è affermativa, indicarne la tipologia di sistema presente e il relativo stato di funzionamento |                          |                          |                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Sistema                                                                                                       | Vetusto, cattivo stato   | Buono stato (pre 2005)   | Recente (post 2005)      |
| <b>Pompa di calore</b>                                                                                        |                          |                          |                          |
| Split singoli                                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Multi - split                                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Canalizzato                                                                                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Fancoil                                                                                                       | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Altro _____                                                                                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| <b>Altri sistemi</b> _____                                                                                    | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

| 5 ACQUA CALDA SANITARIA (ACS)                                             |                          |                          |                          |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Quali tra i seguenti generatori di ACS è installato nella tua abitazione? |                          |                          |                          |
| Generatore di calore                                                      | Vetusto, cattivo stato   | Buono stato (pre 2005)   | Recente (post 2005)      |
| Caldaia a gas (GPL, aria propanata, etc)                                  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Scaldabagno elettrico                                                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Generazione di ACS integrata nella caldaia per il riscaldamento           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Altro _____                                                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

| 6 FONTI RINNOVABILI                                                                          |                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Nella vostra abitazione sono presenti sistemi da fonti energetiche rinnovabili?              | <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No |
| Se la risposta è affermativa, indicarne la tipologia:                                        |                                                         |
| <input type="checkbox"/> Pannelli solari per la produzione di ACS                            |                                                         |
| <input type="checkbox"/> Pannelli solari fotovoltaici per la produzione di energia elettrica |                                                         |
| <input type="checkbox"/> Entrambi i sistemi                                                  |                                                         |
| <input type="checkbox"/> Altro _____                                                         |                                                         |

| 7 ALTRI IMPIANTI                                                                 |        |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Quali e quanti dei seguenti elettrodomestici sono presenti nella tua abitazione? |        |
| Tipo di elettrodomestico                                                         | Numero |
| <input type="checkbox"/> Piano cottura a gas                                     |        |
| <input type="checkbox"/> Piano cottura elettrico                                 |        |
| <input type="checkbox"/> Frigorifero                                             |        |
| <input type="checkbox"/> Lavastoviglie                                           |        |
| <input type="checkbox"/> Forno a gas                                             |        |
| <input type="checkbox"/> Forno elettrico                                         |        |
| <input type="checkbox"/> Microonde                                               |        |
| <input type="checkbox"/> Congelatore                                             |        |
| <input type="checkbox"/> Macchina del caffè                                      |        |
| <input type="checkbox"/> Cappa                                                   |        |
| <input type="checkbox"/> Bollitore                                               |        |
| <input type="checkbox"/> Robot cucina                                            |        |
| <input type="checkbox"/> Asciugacapelli                                          |        |
| <input type="checkbox"/> Lavatrice                                               |        |
| <input type="checkbox"/> Lavasciuga                                              |        |
| <input type="checkbox"/> Ferro da stiro                                          |        |
| <input type="checkbox"/> Aspirapolvere                                           |        |
| <input type="checkbox"/> TV                                                      |        |
| <input type="checkbox"/> Impianto audio                                          |        |
| <input type="checkbox"/> PC                                                      |        |

| Altri elettrodomestici                                                                                                                  | Numero         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
|                                                                                                                                         |                |
|                                                                                                                                         |                |
|                                                                                                                                         |                |
|                                                                                                                                         |                |
|                                                                                                                                         |                |
|                                                                                                                                         |                |
| <i>Sapresti indicare la tipologia e il numero di lampadine presente nella tua abitazione?</i>                                           |                |
| Tecnologia                                                                                                                              | Numero lampade |
| <input type="checkbox"/> Led                           |                |
| <input type="checkbox"/> Neon                          |                |
| <input type="checkbox"/> Alogene<br>e/o Incandescenza  |                |

| 8 CONSUMI ENERGETICI                                                                  |                          |                          |                          |                          |                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|
| Indica anche approssimativamente la spesa annua media in Euro riferita all'anno 2017. |                          |                          |                          |                          |                       |
|                                                                                       | Utilizzo dell'energia    |                          |                          |                          | Anno 2017             |
| Vettore energetico                                                                    | Riscaldamento            | Raffrescamento           | ACS                      | Per cucinare             | Spesa annua media (€) |
| GPL                                                                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                       |
| Elettricità                                                                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                       |
| Gasolio                                                                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                       |
| Legna                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                       |
| Pellet                                                                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                       |
| Altro                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                       |

| 8.1 CONSUMI ENERGETICI                                                                |                          |                          |                          |                          |                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|
| Indica anche approssimativamente la spesa annua media in Euro riferita all'anno 2018. |                          |                          |                          |                          |                 |
|                                                                                       | Utilizzo dell'energia    |                          |                          |                          | Anno 2018       |
| Vettore energetico                                                                    | Riscaldamento            | Raffrescamento           | ACS                      | Per cucinare             | Spesa annua (€) |
| GPL                                                                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                 |
| Elettricità                                                                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                 |
| Gasolio                                                                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                 |
| Legna                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                 |
| Pellet                                                                                | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                 |
| Altro                                                                                 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                 |

| 8.2 CONSUMI ENERGETICI                                                                |                          |                          |                          |                          |                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|
| Indica anche approssimativamente la spesa annua media in Euro riferita all'anno 2019. |                          |                          |                          |                          |                 |
|                                                                                       | Utilizzo dell'energia    |                          |                          |                          | Anno 2019       |
| Vettore energetico                                                                    | Riscaldamento            | Raffrescamento           | ACS                      | Per cucinare             | Spesa annua (€) |
| GPL                                                                                   | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                 |
| Elettricità                                                                           | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                 |
| Gasolio                                                                               | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |                 |

|        |                          |                          |                          |                          |  |
|--------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
| Legna  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |  |
| Pellet | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |  |
| Altro  | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |  |

| 9 CONFORT INTERNO                                                                                                    |                                                                                                  |                                                                                            |                                                                                              |                                                                                               |                                                                                               |                                                                                               |                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Quale tra queste sensazioni termiche percepisci abitualmente all'interno della tua casa durante le diverse stagioni? |                                                                                                  |                                                                                            |                                                                                              |                                                                                               |                                                                                               |                                                                                               |                                                                                                     |
| Stagione                                                                                                             | Molto caldo<br> | Caldo<br> | Tiepido<br> | Neutrale<br> | Fresco<br> | Freddo<br> | Molto freddo<br> |
| Inverno                                                                                                              | <input type="checkbox"/>                                                                         | <input type="checkbox"/>                                                                   | <input type="checkbox"/>                                                                     | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                            |
| Estate                                                                                                               | <input type="checkbox"/>                                                                         | <input type="checkbox"/>                                                                   | <input type="checkbox"/>                                                                     | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                            |
| Primavera                                                                                                            | <input type="checkbox"/>                                                                         | <input type="checkbox"/>                                                                   | <input type="checkbox"/>                                                                     | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                            |
| Autunno                                                                                                              | <input type="checkbox"/>                                                                         | <input type="checkbox"/>                                                                   | <input type="checkbox"/>                                                                     | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                            |
| Qual è il livello di umidità all'interno della tua casa durante le diverse stagioni?                                 |                                                                                                  |                                                                                            |                                                                                              |                                                                                               |                                                                                               |                                                                                               |                                                                                                     |
| Stagione                                                                                                             | Presenza di infiltrazioni                                                                        | Presenza di muffa o condensa                                                               | Pareti umide al tatto                                                                        | Sensazione di aria umida                                                                      | Neutrale                                                                                      | Sensazione di aria secca                                                                      | Molto secco, da umidificare                                                                         |
| Inverno                                                                                                              | <input type="checkbox"/>                                                                         | <input type="checkbox"/>                                                                   | <input type="checkbox"/>                                                                     | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                            |
| Estate                                                                                                               | <input type="checkbox"/>                                                                         | <input type="checkbox"/>                                                                   | <input type="checkbox"/>                                                                     | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                            |
| Primavera                                                                                                            | <input type="checkbox"/>                                                                         | <input type="checkbox"/>                                                                   | <input type="checkbox"/>                                                                     | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                            |
| Autunno                                                                                                              | <input type="checkbox"/>                                                                         | <input type="checkbox"/>                                                                   | <input type="checkbox"/>                                                                     | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                      | <input type="checkbox"/>                                                                            |
| Qual è la sensazione di movimento d'aria che abitualmente percepisci all'interno della tua casa?                     |                                                                                                  |                                                                                            |                                                                                              |                                                                                               |                                                                                               |                                                                                               |                                                                                                     |
| <input type="checkbox"/> Aria stagnante (odori,fumo,...)                                                             |                                                                                                  | <input type="checkbox"/> Spifferi solo con forti venti                                     |                                                                                              | <input type="checkbox"/> Spifferi in situazioni ventilate                                     |                                                                                               | <input type="checkbox"/> Presenza abituale di spifferi                                        |                                                                                                     |