



Ricerca di Sistema elettrico

Efficientamento energetico del patrimonio edilizio: approcci, strumenti e metodologie Allegato 1 – Schede degli approcci di UBEM

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

EFFICIENTAMENTO ENERGETICO DEL PATRIMONIO EDILIZIO: APPROCCI, STRUMENTI E METODOLOGIE
ALLEGATO 1 – SCHEDE DEGLI APPROCCI DI UBEM

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

Dicembre 2019

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - I annualità

Obiettivo 1: *Tecnologie: presidiare e sviluppare tecnologie di prodotto e di processo essenziali per la transizione energetica*

Progetto: Tema 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: 1.26 Efficientamento energetico del patrimonio edilizio: approcci, strumenti e metodologie

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

Hanno collaborato alle attività descritte nel presente documento: Giulia Cau, Marcella Fadda, Enrico Maggio e Alberto Pettinau.

Indice

INTRODUZIONE	4
1. METODOLOGIA: ANALISI DI ALCUNI ESEMPI DI LETTERATURA.....	5
1.1 OBIETTIVO E DESCRIZIONE GENERALE	5
1.2 DATI DI INGRESSO	6
1.3 DIMENSIONE SPAZIALE	6
1.4 APPROCCIO TIPOLOGICO.....	7
1.5 MODELLO DI CALCOLO TERMICO	8
1.6 STRUTTURA DELLO STRUMENTO	8
2. CASI STUDIO	9
2.1 CASO 1 - RYLATT E GADSDEN (2001-2003).....	9
2.2 CASO 2 - SUNTOOL (2007)	12
2.3 CASO 3- CITYSYM (2009 – 20XX)	15
2.4 CASO 4 – TABULA (2009 – 2012).....	18
2.5 CASO 5 - DISTRICT CLUSTERING MODELLING APPROACH (2004-2007)	21
2.6 CASO 6 - QUARTIERE LATINO REGGIO CALABRIA (2008).....	24
2.7 CASO 7 – ATC – TORNINO (2009).....	26
2.8 CASO 8 – FABBRI E ZUPPIROLI (2011).....	28
2.9 CASO 9 - DALL'O' ED ALTRI (2012).....	30
2.10 CASO 10 – ENERGIS (2010)	33
2.11 CASO 11 - ENERGY WEB FELTRE (2012 – 2015)	35
2.12 CASO 12 – CITYBES (2017 – 20XX).....	38
2.13 CASO 13 – UMI (2013 – 20XX).....	41
2.14 CASO 14 – IDEE (2016 -2019)	44
2.15 CASO 15 – FLEXIGIS (2016 – 2019)	47
2.16 CASO 16 - E-CITY (2018).....	50
2.17 E-CITY (2018).....	52
2.18 CASO 17 – MUSIC (2015)	53
2.19 CASO 18 – TORABI MOGHADAM S. ED ALTRI (2017 -2019)	56
3. BIBLIOGRAFIA	59

Introduzione

L'allegato propone una panoramica di alcuni esempi di approcci di UBEM, selezionati dalla vasta letteratura internazionale disponibile.

Dopo aver illustrato la metodologia di analisi e studio adottata per esplicitare gli aspetti di interesse per lo sviluppo del progetto di ricerca triennale, si riportano le schede sintetiche dei casi studio che hanno contribuito a definire lo stato dell'arte. La rassegna proposta, così come l'approccio analitico adottato, non hanno la pretesa di affrontare tutti gli aspetti e le casistiche di questo ampio tema di ricerca: l'approccio analitico sarà raffinato e ampliato nei casi analizzati nelle prossime annualità del progetto di ricerca.

1. Metodologia: Analisi di alcuni esempi di letteratura

Nell'ambito di questo lavoro si sono analizzati più nel dettaglio alcuni casi studio relativi a UBEM, nell'intento di esplicitarne gli approcci e le metodologie ricorrenti. Lungi da costituire uno studio comprensivo di tutta l'ampia letteratura sviluppata in questi anni, l'attenzione è stata posta sugli strumenti bottom – up analitici o misti, che abbiano sviluppato un approccio spaziale alla modellazione di dettaglio compatibile alla integrazione con la pianificazione urbana. L'intento è individuare alcuni approcci metodologici da sperimentare nello sviluppo della ricerca nel caso studio di Carbonia. Coerentemente con altri studi che raccolgono e analizzano la letteratura in materia, si propongono alcune *categorie di analisi*, che poi si articoleranno in diversi *attributi* o *caratteristiche* degli UBEM:

1. Obiettivo e descrizione generale;
2. Dati di ingresso;
3. Dimensione spaziale;
4. Approccio tipologico;
5. Modello di calcolo termico;
6. Struttura dello strumento.

Le categorie di analisi guidano nell'approfondimento analitico dei casi studio riportato in questo “*Allegato 1*” del Report “Efficientamento energetico del patrimonio edilizio: approcci, strumenti e metodologie”. Seppure gli attributi delle categorie siano in qualche modo identificabili dalla letteratura, a causa della variabilità degli approcci e dei casi studio esistenti, è bene che essi si configurino come elenchi aperti al fine di poter aggiungere elementi precedentemente non considerati.

1.1 Obiettivo e descrizione generale

L'obiettivo è il primo elemento che determina la struttura e gli algoritmi interni di un UBEM, i dati di partenza e i risultati attesi. Esso, in senso lato, influenza anche le risorse messe a disposizione per lo sviluppo dello strumento: se il suo sviluppo è legato alla costruzione di importanti reti di approvvigionamento energetico, l'interesse degli investitori è alto e probabilmente le risorse per definire la domanda energetica saranno adeguate. Qualora invece lo scopo sia più generico e afferente alle buone pratiche di gestione del territorio, ossia lo sviluppo di strumenti di supporto al processo di recupero ed efficientamento del patrimonio, le risorse potrebbe essere inferiori in quanto non specificatamente assegnate.

Riferendosi alla modellazione energetica si possono individuare due finalità, presenti entrambi soprattutto negli strumenti di ultima generazione, che possono essere sviluppate con diversi gradi di approfondimento in funzione degli scopi generali dello strumento:

- la definizione della domanda energetica, che generalmente è basata su metodi statistici e culmina con la calibrazione con i dati di consumo reali aggregati;
- la simulazione del fabbisogno energetico, che generalmente utilizza metodi analitico ingegneristici o misti, spesso legata a scopi più vari.

Prescindendo dal modello energetico, gli scopi generali degli strumenti possono essere caratterizzati da una grande variabilità, che determina non solo la procedura di calcolo, ma anche la struttura generale e le interfacce sviluppate, i contenuti e i risultati attesi, quali: definizione del potenziale di una o più tecnologie di retrofit energetico o di produzione da FER, trasparenza energetica, sensibilizzazione della cittadinanza e/o alla parte politica, supporto al progetto di scenari di dettaglio o strategici, supporto alla decisione (SDSS), supporto alla definizione di politiche e molti altri (tabella 1.1).

Tabella 1.1. Schema sintetico di analisi –obiettivi e finalità.

1. Obiettivi e finalità della modellazione			
Finalità del calcolo energetico		Obiettivi generali dello strumento	
	Domanda energetica		Progetto infrastrutture energetiche
	Simulazione del fabbisogno		Valutazione scenari
	Misto		Studio potenziale (solare termico e fotovoltaico)
			Supporto alla Decisione (SDSS, MSCDA, etc)
			Partecipazione e sensibilizzazione

1.2 Dati di ingresso

Al fine di studiare gli approcci ricorrenti nello sviluppo di un UBEM, è di primaria importanza capire quali siano le tipologie dei dati di input più utilizzati, con il proprio dettaglio informativo e le tecniche di pre-processing e rilievo disponibili. Il riordino, il processamento e rilievo dei dati di base è una delle voci di costo maggiori di queste procedure: i dati disponibili condizionano pesantemente il tipo di modelli energetici adottabili e l'approccio tipologico da impostare. Generalmente gli approcci di simulazione analitica richiedono una gran quantità di dati geometrico tipologici, mentre gli approcci statistici prevedono sempre dati sui consumi, che possono essere necessari anche per le attività di calibrazione dei modelli simulativi. Il dato climatico deve supportare la simulazione energetica, perciò deve garantire lo stesso dettaglio temporale (semi stazionario, dinamico), tuttavia possono essere utilizzati modelli climatici standard generalmente noti per ambiti spaziali sovra locali (es: dati provinciali o regionali da normativa), oppure i modelli possono adottare specificazioni locali a scala urbana o addirittura microclimatica (canyon urbano). Tra i dati di ingresso può essere perciò utile esplicitare il tipo di scala spaziale alla quale sono noti i consumi, e se sono presenti altre attività specifiche di rilievo a supporto della metodologia. Nella impossibilità di trattare tutte le casistiche, si scelto di focalizzare l'attenzione su alcuni punti (tabella 1.2):

- tipo di dato climatico adottato;
- dettaglio spaziale del modello geometrico dell'ambiente urbano;
- utilizzo di altri dati spaziali eventualmente disponibili;
- utilizzo nella procedura di dati di ingresso inerenti i consumi con il loro dettaglio spaziale;
- impostazione di attività di rilievo collegate allo sviluppo della metodologia.

Tabella 1.2. Schema sintetico di analisi – dati di ingresso.

2. Dati di ingresso						
Clima	Geometrie		Altri dati spaziali	Consumi		Rilievo specifico
	Semi stazionario	Footprint (Lod 0)	Impianti		Aggregati	Audit speditivi
	Dinamico	CityBOX (Lod 1)	Utenti		Servizi urbani	Audit dettaglio
	Regionale	LOD 2	Microclima indoor		Campione	Rilievo urbano
	Urbano	LOD 3	Ristrutturazioni		....	Sensori
	Micro clima	LOD 4	....			LiDAR
		LOD 5				Sensori ambientali
						Questionari

1.3 Dimensione spaziale

Come già evidenziato, l'aspetto spaziale è di primaria importanza nella impostazione della procedura di un UBEM: esso condiziona le procedure di calcolo, i costi per le attività di pre processing e l'efficacia della rappresentazione dei risultati. La scala spaziale dei dati di input è legata a quella richiesta come output del modello: per riferire un dato noto con forte dettaglio a una scala più ampia, sono necessarie operazioni di sintesi e interpretazione possibili con tecniche di analisi e trattamento dei dati geografici, mentre per specificare maggiormente un dato noto in maniera aggregata, sono necessarie azioni di rilievo o metodi indiretti per colmare le lacune informative. Gli algoritmi di sintesi e il progetto delle azioni di rilievo dipendono dai mezzi a disposizione e dall'obiettivo dell'analisi e fanno parte integrante del modello, tuttavia è possibile identificare delle metodologie e degli approcci ricorrenti. A tal fine si ritiene opportuno evidenziare le scale di dato spaziale utilizzate dalle diverse metodologie come dato di input e i risultati in output, coerenti con gli obiettivi della metodologia. Il massimo dettaglio può essere considerato quello relativo alla singola zona termica, o addirittura al locale dove avviene il consumo, tuttavia è difficile che per

un lavoro a scala urbana si possa disporre di questo dettaglio. Alcuni modelli, sviluppati per studi specifici, possono adoperare approcci tipologici (piante tipo) o tecniche statistiche (profili di presenza) per ottenere stime di questo dettaglio. Altre esperienze adottano degli algoritmi automatici o semi automatici per creare delle zone termiche all'interno dei volumi delimitanti i corpi di fabbrica: esse sono utilizzate per stimare il fabbisogno per illuminazione o per valutare in maniera più accurata il fabbisogno termico, soprattutto negli ambienti caratterizzati da forte influenza dell'irraggiamento solare. La scala del corpo di fabbrica, o dell'edificio direttamente riconoscibile dalle basi cartografiche, è quella più utilizzata in quanto richiede poche attività di pre processing e consente una efficace rappresentazione dei risultati coerente con la scala utilizzata nella pianificazione urbana. Tuttavia, qualora l'area di studio sia piuttosto ampia, o quando i dati di partenza non lo consentano a causa delle onerose attività di pre processing, i modelli possono adottare un riferimento spaziale inferiore, eventualmente basato su rappresentazioni Raster o simboliche. La rappresentazione Raster è funzionale al confronto tra tematiche differenti o allo sviluppo di strumenti decisionali, e a volte rappresentazioni spaziali più aggregate sono legate a necessità di sintesi o ad aspetti di tutela della privacy. Lo schema sintetico proposto in tabella 1.3 punta a esplicitare le scale dei dati di input o quella obiettivo della metodologia.

Tabella 1.3. Schema sintetico di analisi – dimensione spaziale.

3_Dimensione spaziale		
Scale obiettivo	Scale dei dati input	Livello di scala
		zona termica o stanza
		unità immobiliare, o livello
		edificio o corpo di fabbrica
		isolato o gruppo di edifici
		quartiere o parte ampia di città (raster o schematico)
		intera città o l'intero patrimonio edilizio del comune (raster o schematico)
		scale territoriali (raster o schematico)
		scale non urbane (raster o schematico)

1.4 Approccio tipologico

Come già presentato in precedenza, le fasi che strutturano l'impostazione di un approccio tipologico possono essere schematizzate nelle seguenti: la classificazione, la caratterizzazione e la assegnazione (tabella 1.4). La prima fase, essenzialmente, corrisponde a uno studio preliminare del patrimonio edilizio individuandone gli elementi ricorrenti su cui basare la classificazione e sviluppare la caratterizzazione degli archetipi tramite tecniche di varia natura, che vanno dal semplice giudizio esperto, all'utilizzo di analisi multi variata. La caratterizzazione può interessare diversi parametri che intervengono nella simulazione dell'edificio e può essere più o meno marcata. Le tecniche di assegnazione, che riportano i risultati ottenuti per tipo o per un gruppo di edifici campione all'intero patrimonio, possono essere molto complesse o di tipo statistico inferenziale di diversa complessità.

Tabella 1.4. Schema sintetico di analisi – approccio tipologico.

4_Approccio tipologico			
Classificazione		Caratterizzazione	Assegnazione
	Manuale, conoscenza esperta	Clima	Nessuna
	Analisi statistica Semplice	Geometria del contesto	Manuale su ogni edificio
	Analisi statistica complesse	Geometrie dell'edificio	Parametri semplici
	...	Involucro	Semplici metodologie statistiche
		Impianti	Complesse metodologie statistiche
		Fattore umano: impianti	
		Fattore umano: presenza	
		Fattore umano: finestre	
		Consumi	

1.5 Modello di calcolo termico

Non entrando nel dettaglio degli algoritmi implementati nei modelli termici, il focus di questo lavoro è indirizzato alla esplicitazione dei metodi di modellazione termica più ricorrenti, al fine di valutarne la relazione con la dimensione spaziale e con l'approccio tipologico a essi collegati. Gli elementi tipici che caratterizzano il modello simulativo sono il tipo di approccio alla modellazione (statistico, analitico, misto) lo step temporale (orario o semi stazionario) e il tipo di valutazione del contesto urbano, che non sempre viene considerato. I casi studio analizzati mostrano diversi approcci alla scala di simulazione, che può essere svolta per archetipo o per un gruppo di edifici e poi riportata all'interno dell'ambito urbano, oppure svolta per ogni edificio tramite algoritmi semplificati o completi. Gli attributi proposti sono (tabella 1.5):

- lo step temporale del modello (stazionario, dinamico),
- la valutazione del contesto, che viene può essere eseguita con diversi gradi di dettaglio fisico per ogni edificio o per tipo;
- il tipo di approccio alla modellazione (analitico, statistico, misto);
- la scala di simulazione: archetipo, campione, popolazione, totalmente simulato con modelli dettagliati o semplificati.

Tabella 1.5. Schema sintetico di analisi – modello di calcolo termico.

5_Modello di calcolo termico					
Step temporale		Contesto		Approccio modellazione	
	Sim. semi stazionario		Nessuna valutazione		Analitico semplificato
	Sim. dinamico		Per archetipo		Analitico completo
			Semplificato urbano		Statistica
			Dettagliato urbano		Mista
					Totalmente simulato - modello semplificato
					Totalmente simulato - modello dettagliato

1.6 Struttura dello strumento

Gli UBEM possono essere presentarsi come una procedura che combina uno o più software generici accuratamente impostati, oppure costituire un software specifico. Nel primo caso sfruttano le interfacce dei software originali e perciò presuppongono un utente esperto e una certa complicazione nella esecuzione della procedura, nel secondo caso sviluppano GUI specifiche che possono rendere più fluida l'esecuzione delle procedure e facilitare l'utilizzo. Al fine della analisi condotta, risulta importante evidenziare gli strumenti che adottano interfacce specifiche per eseguire altre procedure che sfruttano i risultati del modello energetico per altri scopi, quali, per esempio, supporto alla decisione, simulazione di scenari e la partecipazione.

Tabella 1.6. Schema sintetico di analisi – struttura.

6_Struttura dello strumento					
Interoperabilità		UBEM GUI		Altre GUI	
	GIS		Unione di altri software		Visualizzazione e comunicazione
	BIM		GUI impostazione archetipi		Supporto alla decisione (SDSS)
	WEB		GUI per dati di input su GIS		Creazione e valutazione scenari
			GUI per i risultati su GIS		Strumenti partecipativi
			GUI complessiva		

2. Casi Studio

2.1 Caso 1 - Rylatt e Gadsden (2001-2003)

Rylatt e Gadsden (2001-2003) [1] [2] [3] [4] propongono una metodologia semplificata per la stima del potenziale di soddisfacimento dei fabbisogni energetici tramite l'uso di pannelli solari (termici e fotovoltaici) in ambito urbano. A tal scopo, oltre che valutare il potenziale teorico delle tecnologie a pannello solare, hanno provveduto anche a stimare il fabbisogno energetico degli edifici tramite una metodologia integrata in una piattaforma GIS.

Si tratta di un UBEU che presenta un approccio bottom up analitico ingegneristico semplificato, che si divide in due parti: la prima ricava il fabbisogno energetico degli edifici utilizzando una versione semplificata del motore di calcolo del BREDEM-8 [5], capace di specificare il fabbisogno per i diversi servizi energetici (riscaldamento, illuminazione, acqua calda sanitaria) a partire dai parametri fisici dell'edificio, la seconda cerca di definire il potenziale di sfruttamento delle energie solari.

L'approccio tipologico è basato su due parametri: un parametro formale secondo il quale si individuano sei tipologie edilizie, per ognuna delle quali viene ipotizzata l'estensione delle zone termiche e di conseguenza delle superfici disperdenti; il secondo parametro riguarda le caratteristiche dei materiali, che vengono assegnate in base all'anno di costruzione della struttura. Le altre caratteristiche tipologiche sono desunte dalla cartografia e tramite sopralluoghi e vengono assegnate grazie alla interfaccia GIS. Si è sviluppato un GIS-tool "Footprint tool" (figura 2.1) capace di identificare la superficie disperdente e i volumi riscaldati di un edificio a partire da polilinee chiuse, rappresentanti l'attacco al suolo, e tramite l'assegnazione di una delle tipologie preimpostate.

Per quanto riguarda gli impianti, si sono utilizzati i dati statistici medi nazionali legati all'età dell'edificio contenuti nel programma *English House Condition Survey*, che aggiorna ogni cinque anni la collezione dei dati circa i tipi di sistemi per HVAC, DHW, e AL.

Per quanto riguarda gli altri dati, necessari al calcolo della prestazione energetica, quali i ricambi d'aria, il numero di occupanti e il fabbisogno di acqua calda, si sono utilizzati i dati medi standard presenti nel software BREDEM-8.

Per verificare le assunzioni effettuate nella definizione dei tipi degli edifici, e per ottenere preziose informazioni circa l'ombreggiamento, i tipi di vetri e altro, si sono associati sopralluoghi lungo le strade. Inoltre sono stati distribuiti dei questionari, in larga parte rilevatisi inutili per le risposte errate o mancanti. Per valutare il potenziale solare per fotovoltaico e solare termico negli edifici esistenti e per i nuovi edifici si è predisposto un sistema a tre stadi:

- *filtro*: orientamento del tetto +/-45° Sud, inclinazione del tetto tra 5° e 60°; area del tetto > 3mq, ricavato dalla cartografia vettoriale (area) e rilievo per definire il tipo di tetto (inclinazione ed orientamento);
- *obiettivo*: esiste una serie di dati socio economici riferibili ai proprietari e agli immobili, che può rendere improbabile una progettualità verso l'uso delle fonti solari: fattori economici, di proprietà, affollamento ed altro;
- *calcolo del potenziale dei sistemi solari termici o fotovoltaici*: la stima è su base mensile e viene confrontata con il fabbisogno calcolato in precedenza. Il SEP è poi in grado di fornire risultati aggregati in grafici di confronto tra gli scenari di trasformazione (figura 2.2) e restituisce interpretazioni spaziali dei risultati.

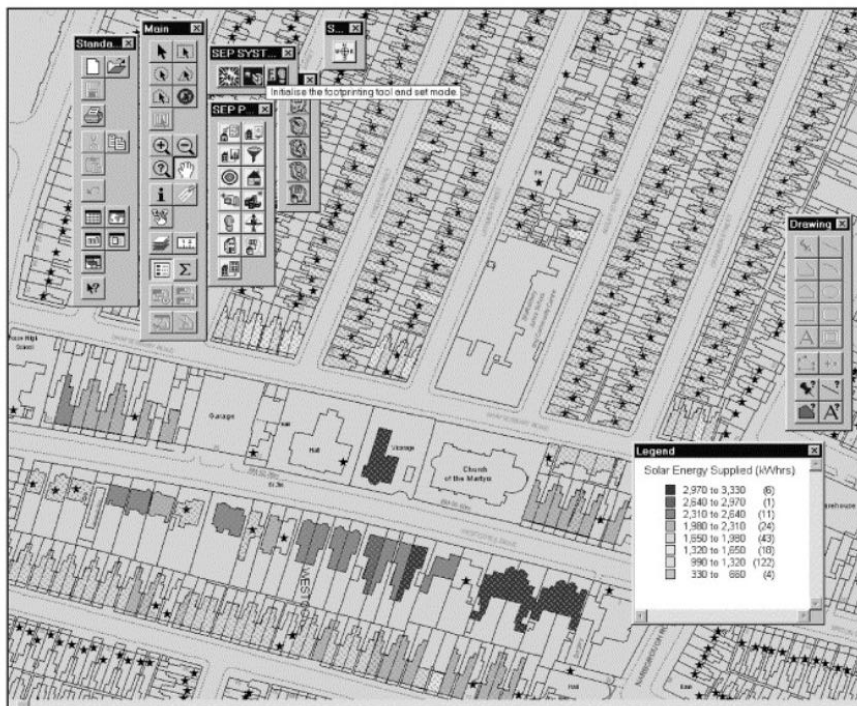


Figura 2.1. Immagine del tool GIS (tratta da [1]).

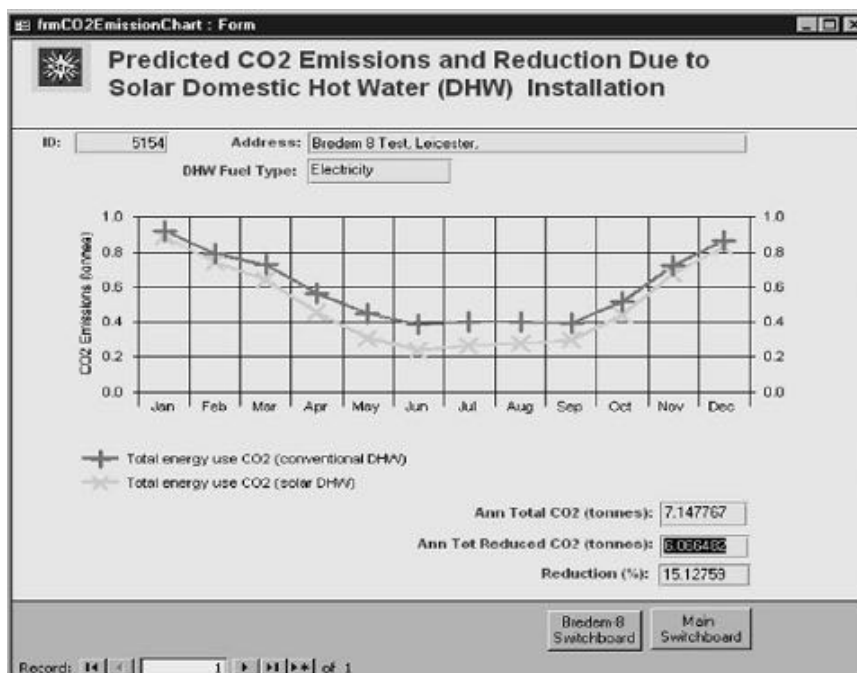


Figura 2.2. Esempio di risultato di SEP (tratta da [2]).

SCHEDA: Rylatt e Gadsden (2001-2003)

1_Obiettivi e finalità della modellazione			
Finalità del calcolo energetico		Obiettivi generali dello strumento	
	Domanda energetica		Progetto infrastrutture energetiche
x	Simulazione del fabbisogno		Valutazione scenari
	Misto	x	Studio potenziale (solare termico e fotovoltaico)
			Supporto alla Decisione
			Partecipazione e sensibilizzazione

2_Dati di ingresso							
Clima		Geometrie		Altri dati spaziali		Consumi	
x	Semi stazionario	x	Footprint (Lod 0)		Impianti		Aggregati
	Dinamico		CityBOX (Lod 1)		Utenti		Servizi urbani
x	Regionale		LOD 2		Microclima indoor		Campione
	Urbano		LOD 3		Ristrutturazioni		....
	Micro clima		LOD 4		....		LiDAR
			LOD 5				Sensori ambientali
							Questionari

3_Dimensione spaziale		
Scale obiettivo	Scale dei dati input	Livello di scala
		zona termica o stanza
		unità immobiliare, o livello
x	X (geometrie)	edificio o corpo di fabbrica
	X (dati socio economici)	isolato o gruppo di edifici
		quartiere o parte ampia di città (raster o schematico)
		intera città o l'interno patrimonio edilizio del comune (raster o schematico)
		scale territoriali (area metropolitana, province, ...) (raster o schematico)
		scale non urbane (regionale, nazionale,...) (raster o schematico)

4_Approccio tipologico			
Classificazione		Caratterizzazione	Assegnazione
x	Manuale, conoscenza esperta		Clima
x	Analisi statistica Semplice	x	Geometria del contesto
	Analisi statistica complesse (ACP, Cluster,...)	x	Geometrie dell'edificio
	...	x	Involucro (coperture, muri, infissi, base, ...)
		x	Impianti
			Fattore umano: impianti
			Fattore umano: presenza
			Fattore umano: finestre
			Consumi
			Nessuna
		x	Manuale su ogni edificio
			Parametri semplici (area utile, volumi, ...)
			Semplici metodologie statistiche (tipi edilizi, anno costruzione, ...)
			Complesse metodologie statistiche

5_Modello di calcolo termico					
Step temporale		Contesto		Approccio modellazione	
x	Sim. Semi stazionario		Nessuna valutazione	x	Analitico semplificato
	Sim. Dinamico	x	Per archetipo		Analitico completo
			Semplificato urbano		Statistica
			Dettagliato urbano		Mista
					x
					Totalmente simulato modello semplificato
					Totalmente simulato modello dettagliato

6_Struttura dello strumento			
Interoperabilità		UBEM GUI	Altre GUI
x	GIS		Unione di altri software
	BIM		Visualizzazione e comunicazione
	WEB	x	GUI impostazione archetipi
		x	GUI per dati di input su GIS
		x	GUI per i risultati su GIS
			Supporto alla decisione (SDSS)
			Creazione e valutazione scenari
			Strumenti partecipativi
			GUI complessiva

2.2 Caso 2 - SUNtool (2007)

Il *Sustainability of Urban Neighbourhoods tool* “SUNtool” (Robinson et al.) [6] si propone di fornire uno strumento per la pianificazione energetica in ambito urbano, tramite lo sviluppo di UBE di tipo analitico ingegneristico. L’architettura generale del software è divisa tra l’interfaccia e il solver; dall’interfaccia si possono gestire i dati di input, mentre le procedure di calcolo sono inserite nel solver (figura 2.3)

Il *microclimate model* parte da un modello 3d dell’ambiente urbano (dxf), tipicamente LoD 1 o 2, e valuta l’influenza dell’ombreggiamento tramite un algoritmo semplificato per la valutazione della radiazione “SRA” tra gli edifici, proposto dallo stesso Robinson [7]. Per modellare il comportamento termico degli edifici in base ai dati di input, si è scelto di applicare il modello semplificato tipo grey-box [8], che permette di limitare i parametri di input e le operazioni computazionali. Grande rilievo è stato dato all’inserimento di un robot capace di stimare l’influenza delle abitudini degli utenti dell’edificio [9], tramite un modello stocastico di previsione della presenza umana. Supponendo l’utente razionale, ossia ritenendo prevedibili i suoi comportamenti al variare delle condizioni ambientali, la variabile casuale rimane solo la presenza umana negli ambienti: in questo modo si stima l’influenza delle abitudini dell’utente sui ricambi d’aria per ventilazione, l’uso delle schermature solari, l’uso degli apparecchi elettrici e la produzione di rifiuti. Per quanto riguarda la modellazione degli impianti, si è generato un algoritmo semplificato che considera tre nodi del sistema e le perdite tra questi. Le zone rappresentano il fabbisogno degli edifici, che deriva dai parametri fisico-comportamentali editati in precedenza; in ogni edificio vi è il Building Energy Centre (BEC), che contiene il possibile mix di tecnologie per la soddisfazione del confort interno. Il terzo nodo rappresenta eventuali sistemi di fornitura di servizi centralizzati a livello urbano (DEC) al quale possono essere collegati naturalmente più BEC (figura 2.4). L’utente può editare le caratteristiche dei BEC e dei DEC, tramite semplici interfacce (figura 2.5). La simulazione di scenari alternativi avviene facendo girare il software inserendo diversi mix di impianti: i risultati possono essere estratti in base a diversi intervalli temporali (annuali, stagionali, mensili). Ogni soluzione impiantistica proposta ha editabili le sue principali caratteristiche.

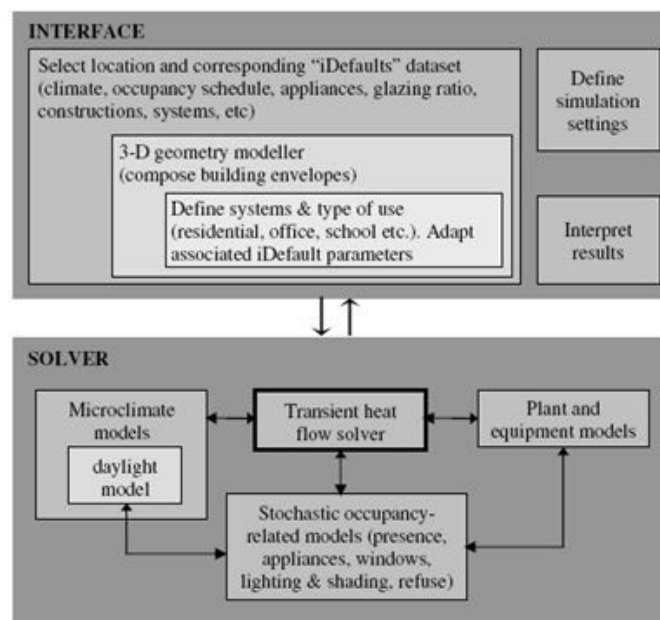


Figura 2.3. Schema concettuale di SUNtool (tratta da [6]).

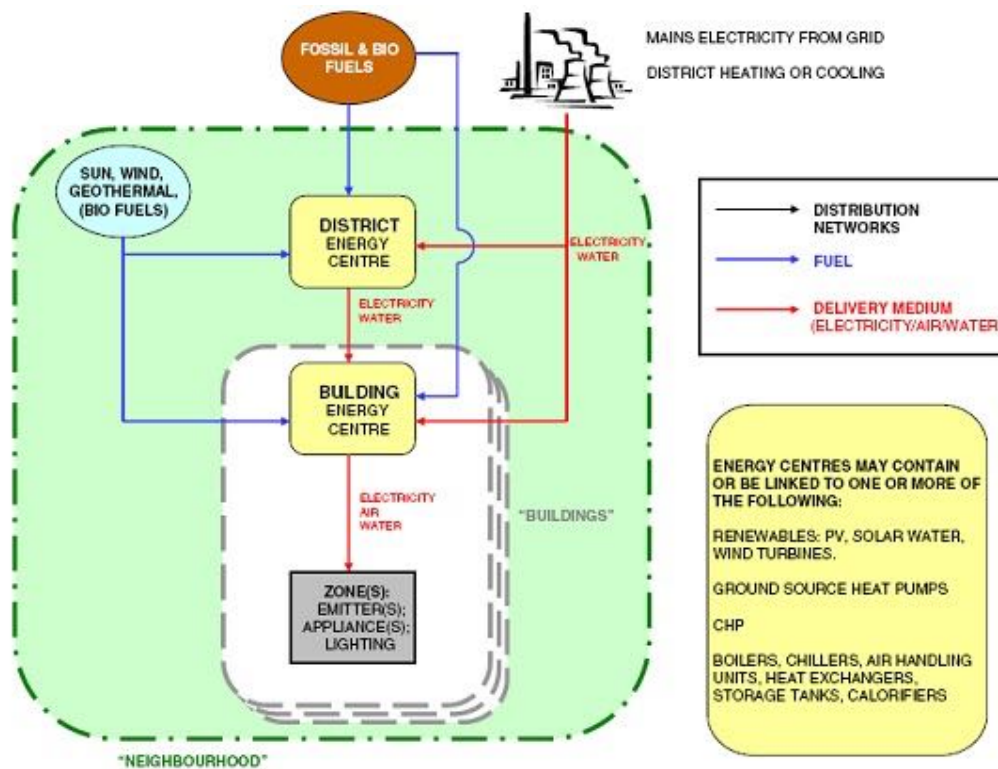


Figura 2.4. Centri di produzione di energia e circuiti di distribuzione (tratta da [6]).

Table 1
SUNtool rules for connecting sources/generators to energy centres

Delivery medium (end use)	Source/energy generator (not all listed)									
	DEC	CHP	Boiler	Chiller	Heat pump	Solar thermal	PV	Wind turbine	Mains supply	
<i>Building Energy Centre (BEC)</i>										
Hot water (space heating)	✓	✓	✓		✓	✓				✓
Heated air (ventilation/space heating)	✓	✓	✓		✓	✓				✓
Domestic hot water (washing)	✓	✓	✓		✓	✓				✓
Chilled water (space cooling)	✓			✓	✓					✓
Cooled air (ventilation/space cooling)	✓			✓	✓					✓
Electricity (lighting)	✓	✓					✓	✓		✓
Electricity (small power)	✓	✓					✓	✓		✓
<i>District energy centre (DEC)</i>										
Hot water (space heating)		✓	✓		✓	✓				✓
Chilled water (space cooling)		#		✓	✓	#				✓
Electricity (all power demands)		✓					✓	✓		✓

#: If linked to e.g. an absorption chiller.

Table 2
Possible specifications of HVAC systems and controls at a building level

Per building per use	Options
Heating system	Radiators; convectors (natural); underfloor heating; fan convactor; fan coil unit (four-pipe); air (mechanical ventilation)
Cooling system	Chilled ceiling; chilled beam; fan coil unit (four-pipe); radiant panel (generic); air (comfort cooling)
Ventilation system	Natural ventilation; mechanical ventilation (MV) [supply + extract]; mixed-mode for MV: fresh air requirement (l/s/person) + heat recovery efficiency
Environmental conditions	Fixed set-points for heating and cooling with plant on/off times and night-time setback Dynamic set-points (that can be set on an hourly annual basis if so desired) via use of GUI profile/calendar

Figura 2.5. Interfaccia di personalizzazione del BEC e del DEC (tratta da [6]).

SCHEDA: SUNtool (2007)

1_Obiettivi e finalità della modellazione			
Finalità del calcolo energetico		Obiettivi generali dello strumento	
	Domanda energetica		Progetto infrastrutture energetiche
x	Simulazione del fabbisogno	x	Valutazione scenari
	Misto	x	Studio potenziale (solare termico e fotovoltaico)
			Supporto alla Decisione
			Partecipazione e sensibilizzazione

2_Dati di ingresso							
Clima		Geometrie		Altri dati spaziali		Consumi	
	Semi stazionario		Footprint (Lod 0)		Impianti		Aggregati
x	Dinamico	x	CityBOX (Lod 1)		Utenti		Servizi urbani
x	Regionale		LOD 2		Microclima indoor		Campione
	Urbano		LOD 3		Ristrutturazioni		....
	Micro clima		LOD 4		....		LiDAR
			LOD 5				Sensori ambientali
							Questionari

3_Dimensione spaziale		
Scale obiettivo	Scale dei dati input	Livello di scala
		zona termica o stanza
		unità immobiliare, o livello
x	X (geometrie)	edificio o corpo di fabbrica
		isolato o gruppo di edifici
		quartiere o parte ampia di città (raster o schematico)
		intera città o l'interno patrimonio edilizio del comune (raster o schematico)
		scale territoriali (area metropolitana, province, ...) (raster o schematico)
		scale non urbane (regionale, Nazionale,...) (raster o schematico)

4_Approccio tipologico			
Classificazione		Caratterizzazione	Assegnazione
x	Manuale, conoscenza esperta		Clima
x	Analisi statistica Semplice	x	Geometria del contesto
	Analisi statistica complesse (ACP, Cluster,...)	x	Geometrie dell'edificio
	...	x	Involucro (coperture, muri, infissi, base, ..)
		x	Impianti
			Fattore umano: impianti
			Fattore umano: presenza
			Fattore umano: finestre
			Consumi

5_Modello di calcolo termico					
Step temporale		Contesto		Approccio modellazione	Scala simulazione
x	Sim. Semi stazionario		Nessuna valutazione		Analitico semplificato
	Sim. Dinamico		Per archetipo	x	Analitico completo
			Semplificato urbano		Statistica
		x	Dettagliato urbano		Mista
					x
					Totalmente simulato modello semplificato
					Totalmente simulato modello dettagliato

6_Struttura dello strumento			
Interoperabilità		UBEM GUI	Altre GUI
	GIS		Unione di altri software
	BIM		Visualizzazione e comunicazione
	WEB		GUI impostazione archetipi
			Supporto alla decisione (SDSS)
			GUI per dati di input su GIS
			Creazione e valutazione scenari
			GUI per i risultati su GIS
			Strumenti partecipativi
		x	GUI complessiva

2.3 Caso 3– CitySYM (2009 – 20XX)

Il software CitySym ^[10] ^[11] ^[12], sostanziale prosecuzione della esperienza di SUNtool, ha l'ambizioso obiettivo di simulare, in tempi contenuti e in maniera fisicamente accurata, i flussi di risorse per gruppi di edifici (50-500 edifici), in modo da costituire uno strumento di supporto alle decisioni strategiche della pianificazione urbana. Attualmente il software è orientato principalmente alla simulazione del fabbisogno energetico degli edifici per la climatizzazione.

La struttura concettuale dei software è divisa in due parti (figura 2.6): l'interfaccia e il solver. L'interfaccia permette di inserire i dati e di visualizzarne l'interpretazione, il solver in C++ svolge i calcoli e contiene il Thermal Model per il calcolo orario del fabbisogno energetico di ogni edificio, il Radiation Model per il calcolo dei guadagni solari ^[13], il Behavioural Model per simulare gli spostamenti delle persone tra edifici ^[9]. L'interfaccia utente (figura 2.7), basata su una JAVA GUI, accetta come input per la definizione delle geometrie delle superfici disperdenti, file DXF 3D o xml, con le coordinate dei vertici degli edifici. È anche possibile utilizzare una intuitiva interfaccia grafica per disegnare speditamente le geometrie all'interno del software stesso. Per limitare il carico computazionale, le geometrie degli edifici sono ridotte ai loro volumi semplici, ma lo strumento può trattare dettagli maggiori. Le zone termiche devono essere assegnate manualmente per ogni edificio o gruppo di edifici, e sono generalmente assunte come coincidenti con il volume riscaldato totale senza prendere in considerazione l'articolazione interna degli appartamenti.

Il fulcro del modello è la strutturazione di un data base completo di informazioni per supportare il calcolo del fabbisogno energetico degli edifici: dati climatici, geometrie urbane, materiali e tipologie costruttive, efficienze degli impianti. In particolare, combinando i data base disponibili con campagne di rilievo eseguite *ad hoc*, viene costituito un data base delle caratteristiche fisiche delle singole strutture edilizie e degli impianti, utilizzando come chiavi primarie l'anno di costruzione dell'edificio e le tipologie edilizie più comuni nell'area di studio. Tramite l'interfaccia utente si possono assegnare manualmente i valori chiave alle zone termiche e ai volumi in modo da associare automaticamente, e con preciso riferimento spaziale, tutte le caratteristiche dei materiali e degli impianti necessarie al calcolo, senza dover imputare una gran quantità di dati per ogni edificio. Naturalmente rimane aperta la possibilità di settare manualmente e con più dettaglio le caratteristiche fisiche di uno specifico immobile. In questo caso la tipizzazione dà origine a un numero limitato di tipi, ed è funzionale a esplicitare l'influenza delle componenti edilizie nella determinazione del fabbisogno energetico, separandolo dal comportamento umano simulato dal modello comportamentale.

Ciò rende CitySym uno dei più completi strumenti bottom up di estrazione ingegneristica per il calcolo analitico delle prestazioni energetiche a livello urbano, ma la complessità e la numerosità dei dati di input non ne permettono un facile utilizzo. Lo strumento è stato utilizzato in numerosi casi studio, che fanno largo uso di dati di natura top down, provenienti da dati medi stimati da censimenti nazionali, per colmare le lacune informative dei dati di partenza richiesti dal modello ^[14] ^[15]. Inoltre il suo motore di calcolo è disponibile per un uso *open*, perciò è stato integrato in diverse altre procedure dedicate alle analisi energetiche in ambito urbano ^[16].

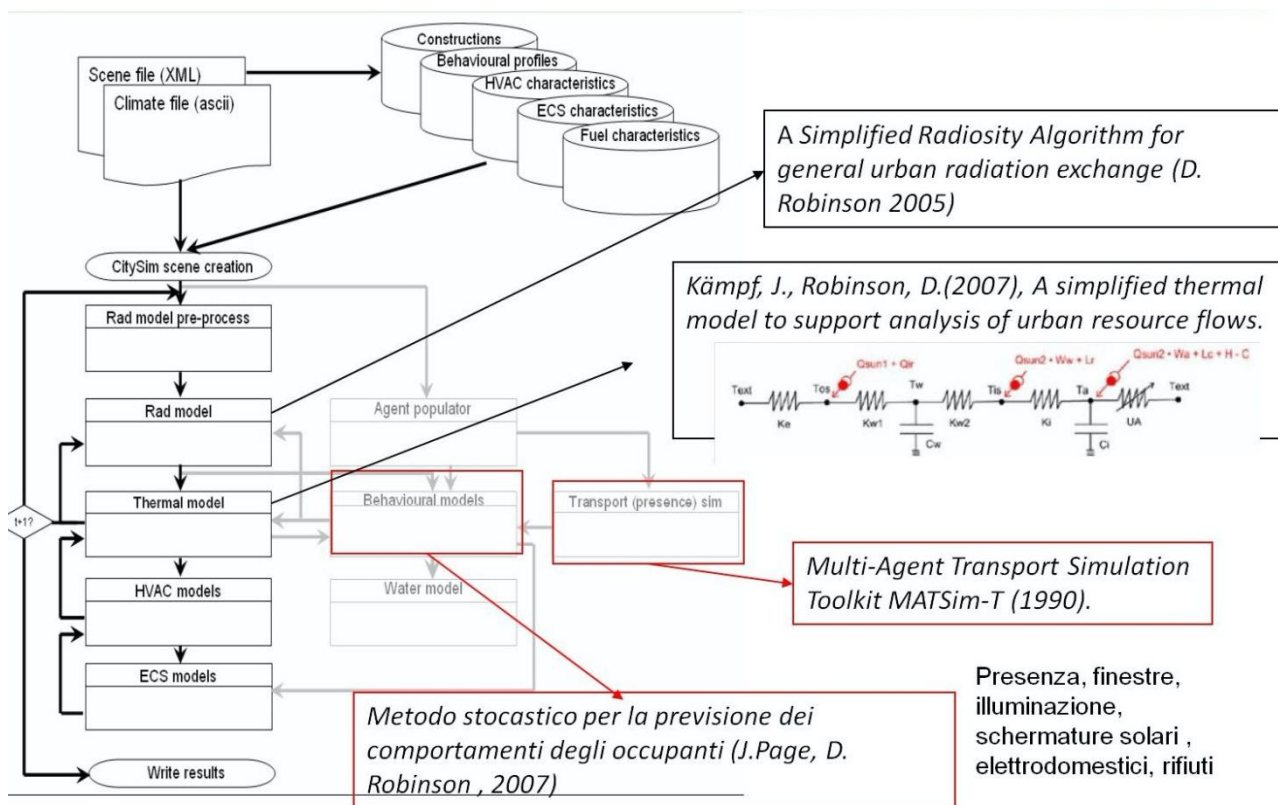
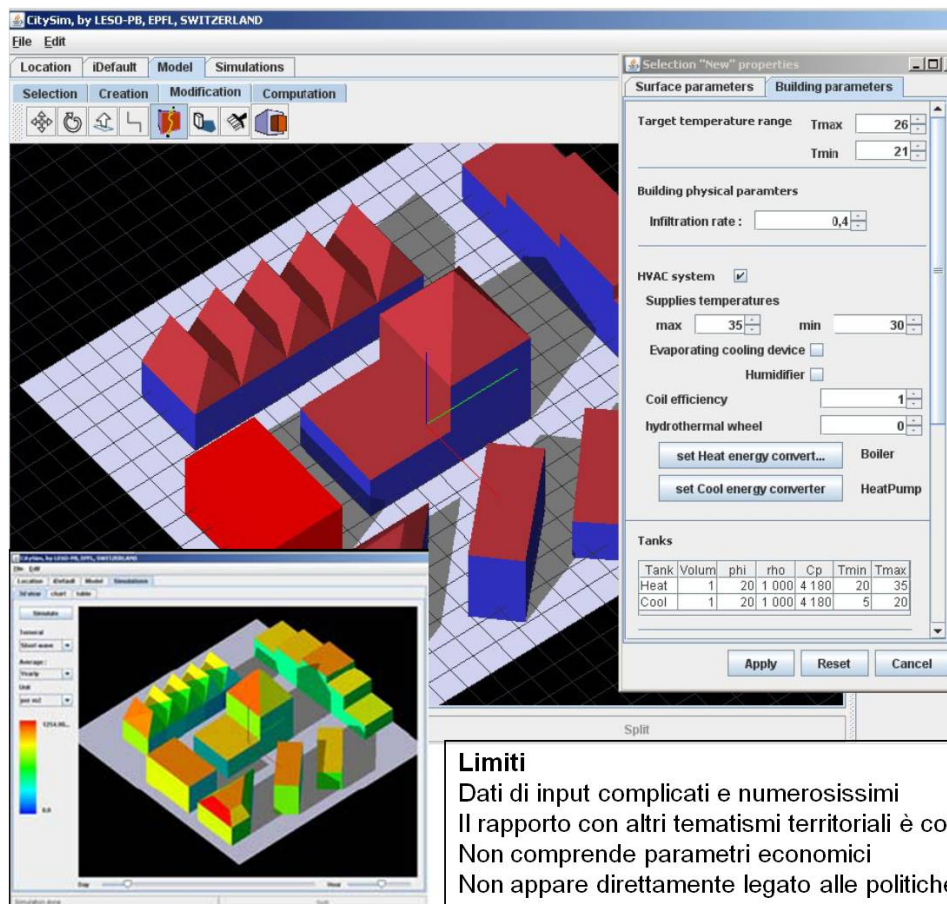


Figura 2.6. Struttura di CitySim (elaborata da [10]).



Step del metodo

Dati climatici (ascii)

Scelta dei dati di default per tipologia edilizia

Definizione della forma 3D
Inserimento degli impianti
Raffinamento dei dati dell'edificio

Trasferimento dei dati in xml e simulazione dei flussi energetici orari in C++ solver

Limiti

Dati di input complicati e numerosissimi
Il rapporto con altri tematismi territoriali è complicato
Non comprende parametri economici
Non appare direttamente legato alle politiche di incentivazione

Figura 2.7. Interfaccia di CitySim (elaborata da [10]).

SCHEDA: Caso 3 – CitySYM (2009 – 20XX)

1_Obiettivi e finalità della modellazione			
Finalità del calcolo energetico		Obiettivi generali dello strumento	
	Domanda energetica		Progetto infrastrutture energetiche
x	Simulazione del fabbisogno	x	Valutazione scenari (edificio, quartiere)
	Misto		Studio potenziale (solare termico e fotovoltaico)
			Supporto alla Decisione
			Partecipazione e sensibilizzazione

2_Dati di ingresso							
Clima		Geometrie		Altri dati spaziali		Consumi	
	Semi stazionario		Footprint (Lod 0)		Impianti		Aggregati
x	Dinamico	x	CityBOX (Lod 1)		Utenti		Servizi urbani
x	Regionale		LOD 2		Microclima indoor		Campione
	Urbano		LOD 3		Ristrutturazioni		....
	Micro clima		LOD 4		....		LiDAR
			LOD 5				Sensori ambientali
							Questionari

3_Dimensione spaziale		
Scale obiettivo	Scale dei dati input	Livello di scala
		zona termica o stanza
		unità immobiliare, o livello
x	X (geometrie)	edificio o corpo di fabbrica
x		isolato o gruppo di edifici
		quartiere o parte ampia di città (raster o schematico)
		intera città o l'interno patrimonio edilizio del comune (raster o schematico)
		scale territoriali (area metropolitana, province, ...) (raster o schematico)
		scale non urbane (regionale, Nazionale,...) (raster o schematico)

4_Approccio tipologico			
Classificazione		Caratterizzazione	Assegnazione
x	Manuale, conoscenza esperta		Clima
x	Analisi statistica Semplice	x	Geometria del contesto
	Analisi statistica complesse (ACP, Cluster,...)	x	Geometrie dell'edificio
	...	x	Involucro (coperture, muri, infissi, base, ...)
		x	Impianti
		x	Fattore umano: impianti
		x	Fattore umano: presenza
		x	Fattore umano: finestre
			Consumi

5_Modello di calcolo termico					
Step temporale		Contesto		Approccio modellazione	Scala simulazione
x	Sim. Semi stazionario		Nessuna valutazione		Analitico semplificato
	Sim. Dinamico		Per archetipo	x	Analitico completo
			Semplificato urbano		Statistica
		x	Dettagliato urbano		Mista
					Totalmente simulato modello semplificato
					Totalmente simulato modello dettagliato

6_Struttura dello strumento			
Interoperabilità		UBEM GUI	Altre GUI
	GIS		Unione di altri software
	BIM		Visualizzazione e comunicazione
	WEB		GUI impostazione archetipi
			Supporto alla decisione (SDSS)
			GUI per dati di input su GIS
			Creazione e valutazione scenari
			GUI per i risultati su GIS
			Strumenti partecipativi
		x	GUI complessiva

2.4 CASO 4 – TABULA (2009 – 2012)

Il progetto TABULA [17] ha l'obiettivo ambizioso di creare un data base, su supporto web, delle tipologie edilizie residenziali europee, a partire dall'elaborazione di un set di edifici tipo rappresentativi del parco edilizio nazionale di ciascun stato europeo. Il progetto è inserito nell'ambito del programma europeo *"Intelligent Energy Europe"* (giugno 2009 – maggio 2012), e prevede la partecipazione di tredici Paesi europei: Germania (coordinatore), Grecia, Slovenia, Italia, Francia, Irlanda, Belgio, Polonia, Austria, Bulgaria, Svezia, Repubblica Ceca e Danimarca.

Si tratta di un approccio ingegneristico ibrido, pensato per la scala nazionale e/o regionale basato sulla definizione di edifici tipo, che sono poi utilizzati per documentare la prestazione energetica del parco edilizio residenziale esistente e per mostrare le potenzialità di risparmio energetico, conseguenti a possibili interventi di riqualificazione energetica dell'involucro edilizio e dell'impianto termico [18]. Lo studio si compone di una fase di definizione delle tipologie edilizie, classificate per anno di costruzione e numero di unità immobiliari (figura 2.8), sulle quali calcolare (con le EN ISO 13790, e in Italia con la UNI 11300) il fabbisogno netto e di EP attuali. Poiché sarebbe impossibile valutare tutte le combinazioni di tecnologie di riqualificazione energetica, si definiscono due scenari: uno basato sulla minimizzazione dei costi di intervento, un altro sull'uso delle migliori tecnologie disponibili che massimizzino il risparmio energetico ed il comfort abitativo. A questo punto, in base ai dati statistici nazionali (in Italia il Censimento della Popolazione e delle Abitazioni, ISTAT 2001), si generalizzerà il risultato delle tipologie alla scala nazionale, ottenendo i consumi totali e le potenzialità di risparmio energetico massimo e minimo di ogni stato o regione. Le operazioni di calcolo e di implementazione delle tipologie edilizie sono svolte con Excel, impostati in maniera comune in ogni nazione, per garantire l'assoluta comparabilità del data base e dei risultati. I fogli di calcolo all'interno dello strumento sono riconducibili alle seguenti macroaree: involucro edilizio, impianto di riscaldamento, impianto di produzione di acqua calda sanitaria (figura 2.9).

Questo strumento, fortemente basato su un approccio tipologico, è adatto a un calcolo dei fabbisogni e dei consumi a scala nazionale o al massimo regionale, e mostra come la tipologia edilizia possa essere efficacemente utilizzata per la stima dei fabbisogni netti in mancanza di dati di dettaglio. In realtà, anche se i parametri relativi agli elementi costruttivi e i materiali sono abbastanza costanti e riconoscibili per anno di costruzione, la geometria dell'edificio è difficilmente inquadrabile in un discorso tipologico in quanto, in ambito urbano, l'articolazione e l'orientamento delle superfici disperdenti influisce sui fabbisogni al pari delle caratteristiche fisiche. La caratterizzazione degli archetipi per quanto riguarda la geometria, ma soprattutto per la tipizzazione di involucro e impianti, è stata utilizzata come base per diversi studi anche a scala urbana.

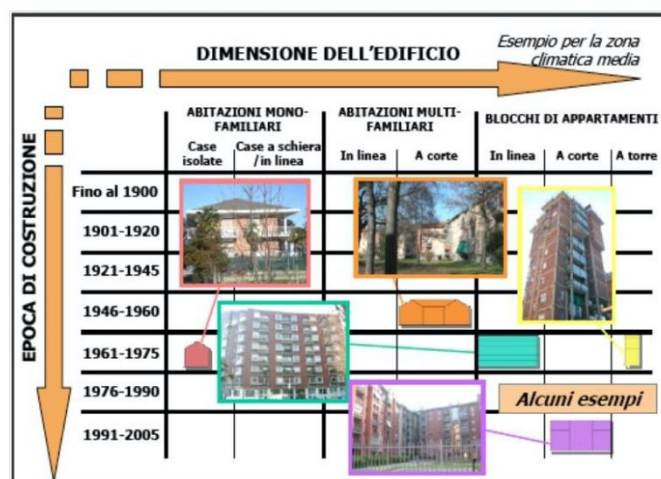
1_Raccolta informazioni sulle tipologie nazionali, in base alla zona climatica.

2_Frequenza delle tipologie nel parco nazionale in base all'anno di costruzione e il numero di unità abitative (ISTAT).

3_Calcolo delle prestazioni energetiche in base alle EN ISO 13790 (in italia UNI 11300 TS)

4_Calcolo delle prestazioni energetiche per ristrutturazioni con tecnologie consolidate al fine di ottenere prestazioni minime

5_Calcolo delle prestazioni energetiche per ristrutturazione con le migliori tecnologie consolidate al fine di ottenere le massime



↓
Webtool

VALUTAZIONE DELLA PRESTAZIONE
ENERGETICA DEL PARCO EDILIZIO
NAZIONALE

Excel workbook "TABULA"

Figura 2.8. Schema del progetto TABULA, le fasi e l'approccio tipologico (elaborata da [17]).

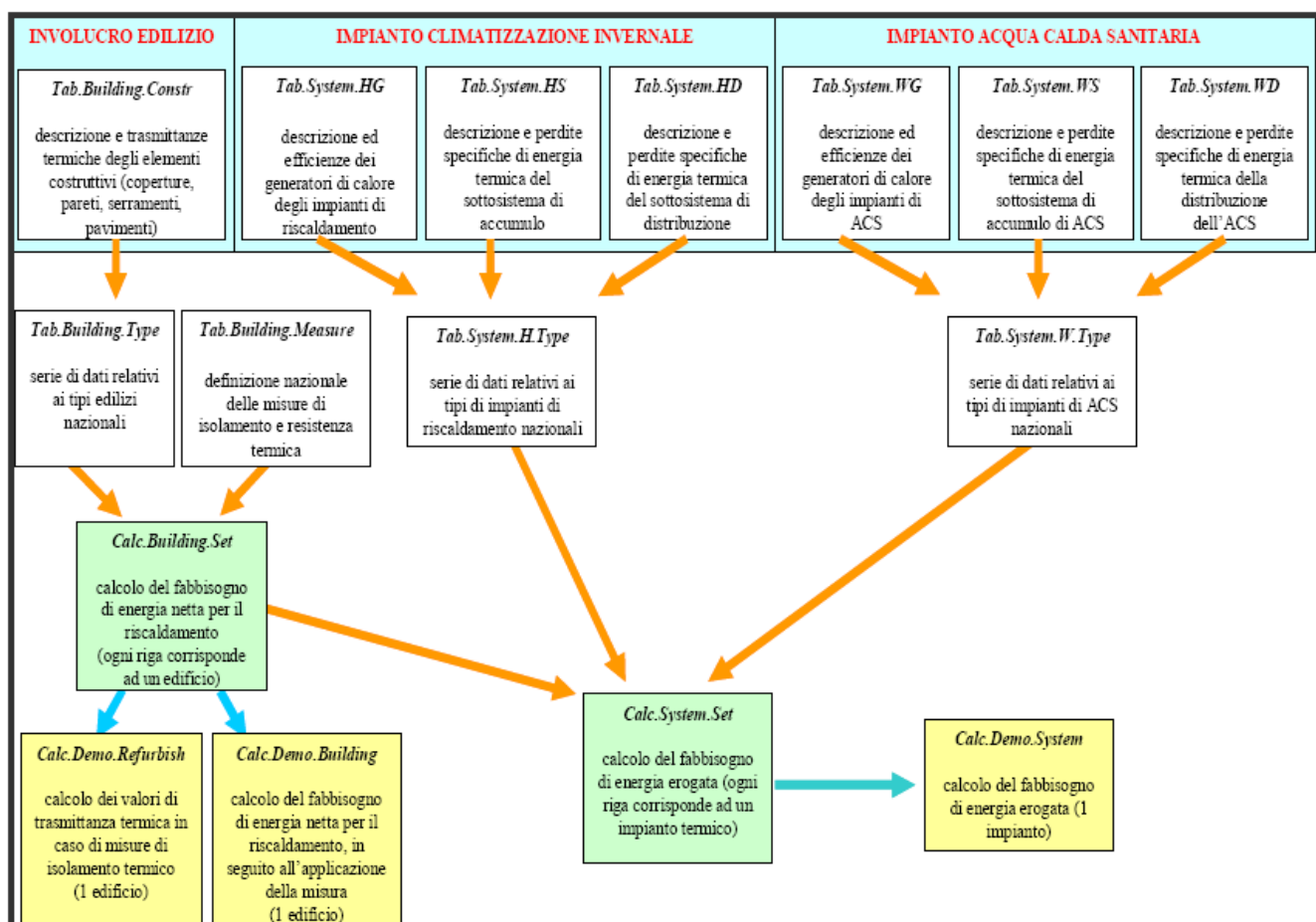


Figura 2.9. Schema dei fogli excel divisi per involucro, impianto di riscaldamento e di ACS (tratta da [18]).

SCHEDA: TABULA (2009 – 2012)

1_Obiettivi e finalità della modellazione			
Finalità del calcolo energetico		Obiettivi generali dello strumento	
	Domanda energetica		Progetto infrastrutture energetiche
x	Simulazione del fabbisogno	x	Valutazione scenari (regionali e nazionali)
	Misto		Studio potenziale (solare termico e fotovoltaico)
			Supporto alla Decisione
			Partecipazione e sensibilizzazione

2_Dati di ingresso							
Clima		Geometrie		Altri dati spaziali		Consumi	
x	Semi stazionario		Footprint (Lod 0)		Impianti		Aggregati
	Dinamico		CityBOX (Lod 1)		Utenti		Servizi urbani
x	Regionale		LOD 2		Microclima indoor		Campione
	Urbano		LOD 3		Ristrutturazioni		....
	Micro clima		LOD 4		....		LiDAR
			LOD 5				Sensori ambientali
		x	no				Questionari

3_Dimensione spaziale		
Scale obiettivo	Scale dei dati input	Livello di scala
		zona termica o stanza
		unità immobiliare, o livello
	X (ipotesi geometria)	edificio o corpo di fabbrica
		isolato o gruppo di edifici
		quartiere o parte ampia di città (raster o schematico)
		intera città o l'interno patrimonio edilizio del comune (raster o schematico)
		scale territoriali (area metropolitana, province, ...) (raster o schematico)
x	X (statistiche sul patrimonio)	scale non urbane (regionale, Nazionale,...) (raster o schematico)

4_Approccio tipologico			
Classificazione		Caratterizzazione	Assegnazione
x	Manuale, conoscenza esperta		Clima
x	Analisi statistica Semplice	x	Geometria del contesto
	Analisi statistica complesse (ACP, Cluster,...)	x	Geometrie dell'edificio
	...	x	Involucro (coperture, muri, infissi, base, ..)
		x	Impianti
		x	Fattore umano: impianti
		x	Fattore umano: presenza
		x	Fattore umano: finestre
			Consumi
			Nessuna (statistiche nazionali)
			Manuale su ogni edificio
			Parametri semplici (area utile, volumi, ..)
			Semplici metodologie statistiche (tipi edilizi, anno costruzione,)
			Complesse metodologie statistiche

5_Modello di calcolo termico					
Step temporale		Contesto		Approccio modellazione	
x	Sim. Semi stazionario	x	Nessuna valutazione		Analitico semplificato
	Sim. Dinamico		Per archetipo	x	Analitico completo (ISO 13790)
			Semplificato urbano		Statistica
			Dettagliato urbano		Mista
					Totalmente simulato modello semplificato
					Totalmente simulato modello dettagliato

6_Struttura dello strumento			
Interoperabilità		UBEM GUI	Altre GUI
	GIS	x	Unione di altri software
	BIM		Visualizzazione e comunicazione
	WEB		GUI impostazione archetipi
			Supporto alla decisione (SDSS)
			GUI per dati di input su GIS
			Creazione e valutazione scenari
			GUI per i risultati su GIS
			Strumenti partecipativi
			GUI complessiva

2.5 Caso 5 - District clustering modelling approach (2004-2007)

Shimoda, Yamaguchi ed altri [19] hanno sviluppato la metodologia "*DistrictClusteringModellingApproach*". Si tratta di un modello bottom up, che calcola singolarmente il fabbisogno energetico di alcuni tipi di edifici e poi lo generalizza per parti di città, partendo dalla composizione tipologica e funzionale del patrimonio edificato (figura 2.10). Utilizza una tipizzazione basata su tre parametri: il tipo di edificio, il grado di isolamento e il profilo degli occupanti. In particolare definisce 20 tipologie edilizie (10 di case isolate e 10 di appartamenti) in base alla dimensione planimetrica, ricavabile dai dati riferiti al patrimonio edificato e per le quali ipotizza una disposizione planimetrica interna. A queste tipologie, partendo dagli anni di entrata in vigore delle normative giapponesi riguardanti le prestazioni energetiche degli edifici, assegna 5 diversi gradi di isolamento, ossia assegna a ogni edificio i livelli di isolamento dettati dalle normative vigenti nel suo anno di costruzione. In questo caso si propone anche una tipizzazione del profilo degli occupanti, che influisce fortemente sul consumo reale, dando origine in realtà a una grande vastità di combinazioni di caratteristiche capaci di rappresentare con una città virtuale la complessità della reale. Tramite una vasta campagna di questionari, è stato definito il profilo temporale delle attività giornaliere (con un intervallo temporale di 5 minuti) di otto tipologie di occupanti: maschio e femmina anziani, maschio e donna lavoratrice, casalinga, studente della scuola elementare, studente della junior high school, studente della high school. In base a queste attività e conoscendo il numero e le caratteristiche degli abitanti degli appartamenti hanno potuto definire i fabbisogni energetici per ogni tipo di occupante dell'appartamento con un forte dettaglio analitico, focalizzato all'uso degli apparecchi elettrici. Tale rappresentazione viene utilizzata per prevedere alla scala urbana l'effetto di diverse politiche per il risparmio energetico prettamente indirizzate al cambiamento delle abitudini degli abitanti [20], oppure viene utilizzata per disegnare uno scenario al 2050 [21] degli andamenti dei consumi di un distretto commerciale di Osaka, tenendo in considerazione diverse politiche per il risparmio energetico e lo sviluppo di tecnologie sempre più efficienti. Yamaguchi [22] (figura 2.11), partendo dai dati presenti nei data base della autorità comunale, integra questo metodo nella dimensione spaziale propria della gestione dei processi di trasformazione urbana, proponendo la definizione di una griglia 500x500m nella quale caratterizzare ogni tassello con le superficie utile associabile alle diverse tipologie di edifici e di uso (figura 2.12). In questo modo costruisce un modello capace di simulare i fabbisogni energetici attuali e di simulare scenari alla scala urbana, ma con diversi gradi di dettaglio (tutta la città, il distretto, l'isolato), in maniera funzionale ai diversi scopi dell'analisi. Accanto a una tipizzazione piuttosto accurata dei profili dei residenti, che nasce dalla grande quantità di dati raccolti, la descrizione degli elementi fisici passa in secondo piano. Si utilizza una semplificazione spinta delle caratteristiche geometriche basate essenzialmente sulla superficie dell'unità immobiliare; ancora una volta si fa riferimento alle normative vigenti, e quindi agli anni di costruzione degli edifici, per stabilire le caratteristiche fisiche delle strutture sulle quali basare il calcolo. Questo modello è concettualmente semplice, esplicita l'influenza della componente umana, ma non ha un buon dettaglio sulla modellazione fisica del fabbisogno, soprattutto riguardo alla definizione del peso delle diverse componenti dell'involucro edilizio: edifici simili per tipologia e materiali possono differire di oltre il 20-30% del loro fabbisogno a causa del diverso orientamento e della diversa articolazione delle superfici disperdenti. La rappresentazione spaziale scelta, per quanto funzionale a trattare una gran quantità di dati, non permette visualizzazioni di dettaglio maggiore di quello della griglia e perciò non esplicita le particolarità locali eventualmente presenti.

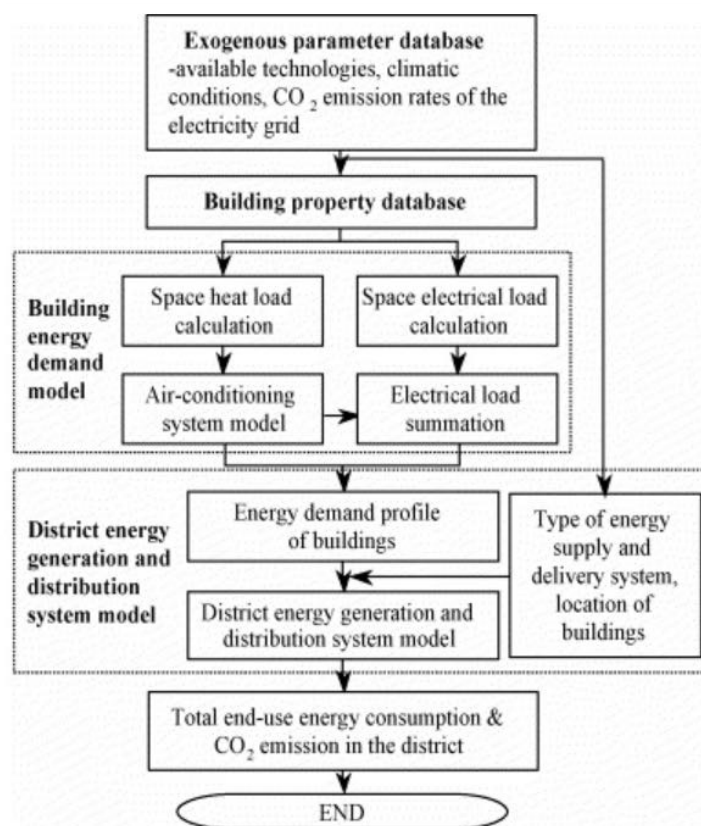


Figura 2.10. Schema logico dello strumento (tratta da [21]).



Figura 2.11. Visualizzazione spaziale degli scenari (tratta da [21]).

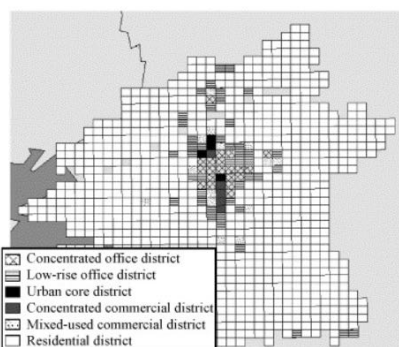


Figura 2.12. Visualizzazione spaziale scala urbana (tratta da [22]).

SCHEDA: District Clustering Modelling Approach (2004-2007)

1_Obiettivi e finalità della modellazione			
Finalità del calcolo energetico		Obiettivi generali dello strumento	
	Domanda energetica		Progetto infrastrutture energetiche
x	Simulazione del fabbisogno	x	Valutazione scenari (urbani e di quartiere)
x	Misto		Studio potenziale (solare termico e fotovoltaico)
			Supporto alla Decisione
			Partecipazione e sensibilizzazione

2_Dati di ingresso							
Clima		Geometrie		Altri dati spaziali		Consumi	
x	Semi stazionario		Footprint (Lod 0)		Impianti	x	Aggregati
	Dinamico		CityBOX (Lod 1)		Utenti		Servizi urbani
	Regionale		LOD 2		Microclima indoor		Campione
	Urbano		LOD 3		Ristrutturazioni		....
	Micro clima		LOD 4		....		LiDAR
			LOD 5				Sensori ambientali
		x	no				x Questionari

3_Dimensione spaziale		
Scale obiettivo	Scale dei dati input	Livello di scala
	X (Questionario)	zona termica o stanza
		unità immobiliare, o livello
	X (ipotesi tipologiche)	edificio o corpo di fabbrica
x	X (statistiche sul patrimonio)	isolato o gruppo di edifici
x	X (statistiche sul patrimonio)	quartiere o parte ampia di città (raster o schematico)
x		intera città o l'interno patrimonio edilizio del comune (raster o schematico)
		scale territoriali (area metropolitana, province, ...) (raster o schematico)
		scale non urbane (regionale, Nazionale,...) (raster o schematico)

4_Approccio tipologico			
Classificazione		Caratterizzazione	Assegnazione
	Manuale, conoscenza esperta	Clima	Nessuna (statistiche nazionali)
x	Analisi statistica Semplice	x Geometria del contesto	Manuale su ogni edificio
	Analisi statistica complesse (ACP, Cluster,...)	x Geometrie dell'edificio	Parametri semplici (area utile, volumi, ..)
	...	x Involucro (coperture, muri, infissi, base, ..)	x Semplici metodologie statistiche (tipi edilizi, anno costruzione,)
		x Impianti	Complesse metodologie statistiche
		x Fattore umano: impianti	
		x Fattore umano: presenza	
		x Fattore umano: finestre	
		Consumi	

5_Modello di calcolo termico					
Step temporale		Contesto		Approccio modellazione	Scala simulazione
	Sim. Semi stazionario		Nessuna valutazione	Analitico semplificato	x Archetipo
x	Sim. Dinamico	x	Per archetipo	Analitico completo	Campione
			Semplificato urbano	x Statistica	Popolazione
			Dettagliato urbano	Mista	Totalmente simulato modello semplificato
					Totalmente simulato modello dettagliato

6_Struttura dello strumento				
Interoperabilità		UBEM GUI		Altre GUI
x	GIS	x	Unione di altri software	Visualizzazione e comunicazione
	BIM		GUI impostazione archetipi	Supporto alla decisione (SDSS)
	WEB		GUI per dati di input su GIS	Creazione e valutazione scenari
			GUI per i risultati su GIS	Strumenti partecipativi
			GUI complessiva	

2.6 Caso 6 - Quartiere Latino Reggio Calabria (2008)

Il caso studio sviluppato da Massimo [23] ha finalità differenti rispetto a quelli visti finora. Esso è dedicato a supportare il processo di recupero e adeguamento tecnologico del patrimonio edilizio del quartiere storico "Quartiere Latino" di Reggio Calabria, tramite la simulazione di diverse strategie progettuali rispetto agli aspetti economici, energetici e architettonico paesaggistici.

Partendo dal rilievo 3D dettagliato del quartiere, che contiene per ogni edificio una indicazione dei materiali e delle tecnologie costruttive, e una precisa mappatura del degrado delle superfici e delle strutture, si è impostato in ambiente GIS un sistema per il Computo Metrico Grafico (CMG) delle varie ipotesi di intervento (figura 2.13). Tali informazioni inserite in un modello urbano dettagliato (LoD 3-4) sono utilizzate per impostare scenari di recupero orientati a finalità differenti, variando i materiali impiegati e le scelte tecniche.

La flessibilità dello strumento ha permesso di valutare con precisione i costi delle soluzioni, in modo da impostare una valutazione economica dell'investimento nel medio lungo periodo, che ha premiato le ipotesi sostenibili. La valutazione energetica è sviluppata su un semplice modello analitico, basato sullo studio delle prestazioni di alcuni edifici campione, che sono poi riportate per tutto il patrimonio edilizio al variare della trasmittanza media del corpo di fabbrica generata dalle ipotesi di recupero. Tali valori sono utilizzati per calcolare tempi di ritorno e costi dell'investimento per ogni edificio.

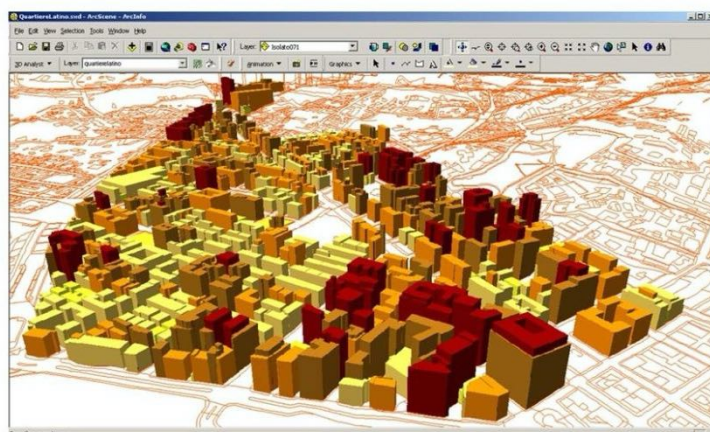


Figura 1. Reggio Calabria. "Quartiere Latino". Tridimensionale (3D) a scala urbana con l'ausilio degli strumenti GIS with vertical exaggeration

Implementazione del computo metrico grafico nel software GIS per la simulazione di alternative di recupero in un centro storico.

limiti

Dati di base molto dettagliati

Il consumo energetico non è stimabile direttamente si valuta la U degli elementi



Figura 2. Reggio Calabria. "Quartiere Latino". Isolato Urbano 78. Particella Catastale 97. 3D architettonico. Analisi dei degradi rilevabili, localizzazione spaziale delle consigliabili Lavorazioni, con annesso DBMS che ne quantifica i fattori elementari e i costi

Figura 2.13. Alcune schermate del Computo metrico grafico implementato in ambiente GIS (tratto da [23]).

SCHEDA: Quartiere Latino Reggio Calabria (2008)

1_Obiettivi e finalità della modellazione			
Finalità del calcolo energetico		Obiettivi generali dello strumento	
	Domanda energetica		Progetto infrastrutture energetiche
x	Simulazione del fabbisogno	x	Valutazione scenari (edificio e quartiere)
	Misto		Studio potenziale (solare termico e fotovoltaico)
			Supporto alla Decisione
			Partecipazione e sensibilizzazione

2_Dati di ingresso							
Clima		Geometrie		Altri dati spaziali		Consumi	
x	Semi stazionario		Footprint (Lod 0)		Impianti		Aggregati
	Dinamico		CityBOX (Lod 1)		Utenti		Servizi urbani
x	Regionale		LOD 2		Microclima indoor		Campione
	Urbano		LOD 3		Ristrutturazioni		....
	Micro clima	x	LOD 4		....		LiDAR
		x	LOD 5				Sensori ambientali
			no				Questionari

3_Dimensione spaziale		
Scale obiettivo	Scale dei dati input	Livello di scala
		zona termica o stanza
		unità immobiliare, o livello
x	X (ipotesi tipologiche)	edificio o corpo di fabbrica
	X (statistiche sul patrimonio)	isolato o gruppo di edifici
		quartiere o parte ampia di città (raster o schematico)
		intera città o l'interno patrimonio edilizio del comune (raster o schematico)
		scale territoriali (area metropolitana, province, ...) (raster o schematico)
		scale non urbane (regionale, Nazionale,...) (raster o schematico)

4_Approccio tipologico			
Classificazione		Caratterizzazione	Assegnazione
x	Manuale, conoscenza esperta	Clima	Nessuna (statistiche nazionali)
x	Analisi statistica Semplice	x Geometria del contesto	x Manuale su ogni edificio
	Analisi statistica complesse (ACP, Cluster,...)	x Geometrie dell'edificio	Parametri semplici (area utile, volumi, ...)
	...	x Involucro (coperture, muri, infissi, base, ...)	Semplici metodologie statistiche (tipi edilizi, anno costruzione, ...)
		x Impianti	Complesse metodologie statistiche
		Fattore umano: impianti	
		Fattore umano: presenza	
		Fattore umano: finestre	
		Consumi	

5_Modello di calcolo termico					
Step temporale		Contesto		Approccio modellazione	
x	Sim. Semi stazionario		Nessuna valutazione		Analitico semplificato
	Sim. Dinamico	x	Per archetipo	x	Analitico completo (UNI 11300)
			Semplificato urbano		Statistica
			Dettagliato urbano		Mista
					totalmente simulato modello semplificato
					totalmente simulato modello dettagliato

6_Struttura dello strumento				
Interoperabilità		UBEM GUI		Altre GUI
x	GIS	x	Unione di altri software	Visualizzazione e comunicazione
x	BIM		GUI impostazione archetipi	Supporto alla decisione (SDSS)
	WEB	x	GUI per dati di input su GIS	Creazione e valutazione scenari
			GUI per i risultati su GIS	Strumenti partecipativi
			GUI complessiva	

2.7 Caso 7 – ATC – Tornino (2009)

Barelli [24] propone un approccio analitico ingegneristico dedicato alla edilizia pubblica della città di Torino (oltre 30.000 alloggi e 1000 edifici) molto pratico, che integra un WebGis con la metodologia DOCET (versione 2008) per il calcolo semplificato dei fabbisogni netti e di EP per la APE²⁵. L'Azienda Territoriale per la Casa (ATC) della provincia di Torino (ex IACP) dispone di un complesso e articolato WebGis, dedicato alla gestione tecnica del proprio patrimonio, che integra la gestione delle sue componenti fisiche (ovvero gli edifici e le relative pertinenze) con quelle umane (ovvero gli inquilini e le problematiche manutentive a essi correlate). Partendo da questo strumento si è integrato il motore di calcolo di DOCET, sviluppando apposite interfacce di immissione dati disponibili direttamente on-line (figura 2.14). Un apposito pulsante sulla homepage del SIT, accessibile solo agli utenti registrati, attiva il modulo energetico (ESAM) e tutte le annesse funzionalità, che permettono di inserire il dato sia per l'edificio selezionato che per lotto o anno di costruzione. Questa possibilità di definizione multipla dei dati ha snellito in maniera sostanziale le operazioni di immissione dei dati, senza generare grossi errori, in quanto è noto che i complessi realizzati con la stessa concessione utilizzano materiali e soluzioni costruttive identiche. Le peculiarità dello strumento WebGis permettono poi la visualizzazione dei risultati direttamente on line e con una rappresentazione della classe energetica raggiunta, inoltre l'assoluta congruenza delle caratteristiche di ESAM con DOCET permette anche di simulare scenari progettuali fornendo parametri di costo e di tempo di ritorno.

L'integrazione dei due software (WebGis e DOCET) genera uno strumento capace di rappresentare spazialmente i risultati di una metodologia di calcolo energetico, studiata per la scala del singolo edificio. Inoltre fornisce un valido strumento per lo studio e la condivisione di scenari progettuali inerenti tutto il patrimonio ACT. Ma nel caso di una analisi estesa all'ambito urbano, ossia a tutti gli edifici della città, l'immissione dei dati geometrici e fisici delle strutture, per quanto facilitata da possibili raggruppamenti per tipologia o anno di costruzione, non può essere effettuata in maniera completamente manuale: saranno necessari dei tool capaci di leggerle direttamente dalla cartografia disponibile.



Figura 2.14. Pagina di immissione dei dati, congruente con quella di DOCET e web GIS (tratta da [24]).

SCHEDA: ATC – Tornino (2009)

1_Obiettivi e finalità della modellazione			
Finalità del calcolo energetico		Obiettivi generali dello strumento	
	Domanda energetica		Progetto infrastrutture energetiche
x	Simulazione del fabbisogno	x	Valutazione scenari (del patrimonio pubblico)
	Misto		Studio potenziale (solare termico e fotovoltaico)
			Supporto alla Decisione
			Partecipazione e sensibilizzazione

2_Dati di ingresso									
Clima		Geometrie		Altri dati spaziali		Consumi		Rilievo specifico	
x	Semi stazionario		Footprint (Lod 0)	x	Impianti		Aggregati	x	Audit speditivi
	Dinamico	x	CityBOX (Lod 1)		Utenti		Servizi urbani		Audit dettaglio
x	Regionale		LOD 2		Microclima indoor		Campione		Rilievo urbano
	Urbano		LOD 3	x	Ristrutturazioni		....		Sensori
	Micro clima		LOD 4		....				LiDAR
			LOD 5						Sensori ambientali
			no						Questionari

3_Dimensione spaziale		
Scale obiettivo	Scale dei dati input	Livello di scala
		zona termica o stanza
x	X (dati)	unità immobiliare, o livello
x	X (dati tipologiche)	edificio o corpo di fabbrica
	X (statistiche sul patrimonio)	isolato o gruppo di edifici
		quartiere o parte ampia di città (raster o schematico)
		intera città o l'interno patrimonio edilizio del comune (raster o schematico)
		scale territoriali (area metropolitana, province, ...) (raster o schematico)
		scale non urbane (regionale, Nazionale,...) (raster o schematico)

4_Approccio tipologico			
Classificazione		Caratterizzazione	Assegnazione
x	Manuale, conoscenza esperta	Clima	Nessuna (statistiche nazionali)
	Analisi statistica Semplice	Geometria del contesto	x Manuale su ogni edificio
	Analisi statistica complesse (ACP, Cluster,...)	x Geometrie dell'edificio	Parametri semplici (area utile, volumi, ..)
	...	x Involucro (coperture, muri, infissi, base, ..)	Semplici metodologie statistiche (tipi edilizi, anno costruzione,)
		Impianti	Complesse metodologie statistiche
		Fattore umano: impianti	
		Fattore umano: presenza	
		Fattore umano: finestre	
		Consumi	

5_Modello di calcolo termico					
Step temporale		Contesto	Approccio modellazione		Scala simulazione
x	Sim. Semi stazionario		Nessuna valutazione	Analitico semplificato	Archetipo
	Sim. Dinamico		Per archetipo	x Analitico completo (DOCET)	Campione
		x	Semplificato urbano	Statistica	Popolazione
			Dettagliato urbano	Mista	Totalmente simulato modello semplificato
					x Totalmente simulato modello dettagliato

6_Struttura dello strumento					
Interoperabilità		UBEM GUI		Altre GUI	
x	GIS	x	Unione di altri software		Visualizzazione e comunicazione
	BIM		GUI impostazione archetipi		Supporto alla decisione (SDSS)
x	WEB	x	GUI per dati di input su GIS		Creazione e valutazione scenari
			GUI per i risultati su GIS		Strumenti partecipativi
			GUI complessiva		

2.8 Caso 8 – Fabbri e Zuppiroli (2011)

Utilizzando la base cartografica catastale e un software GIS, Fabbri [26] georeferenzia il data base SACE delle APE della Regione Emilia Romagna (Italia), dando la possibilità di definire un *Zone Energy Indicator* (ZEI) come il rapporto tra il fabbisogno di Energia Primaria (EPgl, EPI) riportato nelle APE degli edifici di una zona urbana omogenea, e il numero delle unità immobiliari presenti. Attualmente il numero degli APE contenuti nel data base copre poco più del 4% del totale delle unità immobiliari, perciò Fabbri, tramite il caso di studio della città di Ferrara, esplora la possibilità di definire il fabbisogno energetico delle diverse Zone Urbanistiche Omogenee della città, combinando uno studio tipologico degli edifici con i dati statistici riferiti agli anni di costruzione contenuti nel data base ISTAT (figura 2.15-16). Lo studio, per quanto riesca a esplicitare caratteristiche generali delle prestazioni energetiche del patrimonio edificato della città, contiene forti assunzioni generate dalla esiguità del campione di partenza, che evidenziano, anche a detta dello stesso autore, la necessità di individuare una procedura statistica o analitica appropriata per la definizione del fabbisogno.

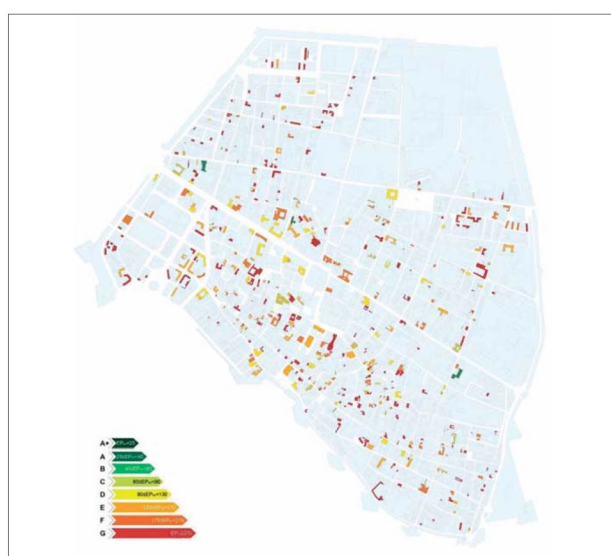


Figura 2.15. Visualizzazione spaziale delle CE presenti nel SACE (tratta da [26]).

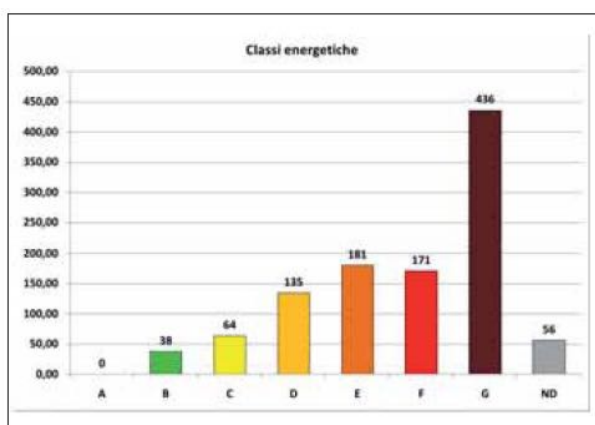


Fig. 5 - Numero dei certificati per Classi Energetiche.

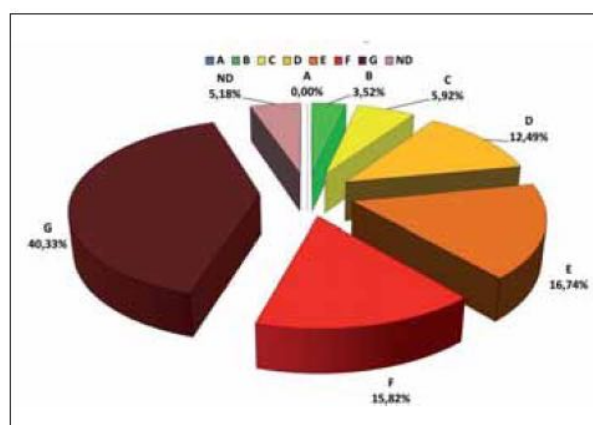


Fig. 6 - Distribuzione percentuale dei certificati per Classi Energetiche.

Figura 2.16. Alcune interrogazioni del data base SACE (tratta da [26]).

Fabbri e Zuppiroli (2011)

1_Obiettivi e finalità della modellazione			
Finalità del calcolo energetico		Obiettivi generali dello strumento	
	Domanda energetica		Progetto infrastrutture energetiche
x	Simulazione del fabbisogno	x	Valutazione scenari (urbani di quartiere)
	Misto		Studio potenziale (solare termico e fotovoltaico)
			Supporto alla Decisione
		x	Partecipazione e sensibilizzazione

2_Dati di ingresso							
Clima		Geometrie		Altri dati spaziali		Consumi	
x	Semi stazionario		Footprint (Lod 0)	x	Impianti		Aggregati
	Dinamico	x	CityBOX (Lod 1)		Utenti		Audit speditivi
x	Regionale		LOD 2		Microclima indoor		Audit dettaglio
	Urbano		LOD 3	x	Ristrutturazioni		Campione
	Micro clima		LOD 4	x	DB SACE		....
			LOD 5				Sensori
			no				LiDAR
							Sensori ambientali
							Questionari

3_Dimensione spaziale		
Scale obiettivo	Scale dei dati input	Livello di scala
		zona termica o stanza
x	X (Dati dell'APE)	unità immobiliare, o livello
x	X (dati tipologiche)	edificio o corpo di fabbrica
x	X (statistiche sul patrimonio)	isolato o gruppo di edifici
		quartiere o parte ampia di città (raster o schematico)
		intera città o l'interno patrimonio edilizio del comune (raster o schematico)
		scale territoriali (area metropolitana, province, ...) (raster o schematico)
		scale non urbane (regionale, Nazionale,...) (raster o schematico)

4_Approccio tipologico			
Classificazione		Caratterizzazione	Assegnazione
	Manuale, conoscenza esperta	x	Clima
x	Analisi statistica Semplice	x	Geometria del contesto
	Analisi statistica complesse (ACP, Cluster,...)	x	Geometrie dell'edificio
	...	x	Involucro (coperture, muri, infissi, base, ..)
		x	Impianti
			Fattore umano: impianti
			Fattore umano: presenza
			Fattore umano: finestre
			Consumi
			Nessuna (statistiche nazionali)
			Manuale su ogni edificio
		x	Parametri semplici (area utile, volumi, ..)
		x	Semplici metodologie statistiche (tipi edilizi, anno costruzione,)
			Complesse metodologie statistiche

5_Modello di calcolo termico					
Step temporale		Contesto		Approccio modellazione	Scala simulazione
x	Sim. Semi stazionario		Nessuna valutazione	Analitico semplificato	Archetipo
	Sim. Dinamico	x	Per archetipo	x	Analitico completo (APE)
			Semplificato urbano		Statistica
			Dettagliato urbano	x	Mista (APE + Assegnazione)
					Popolazione
					Totalmente simulato modello semplificato
					Totalmente simulato modello dettagliato

6_Struttura dello strumento			
Interoperabilità		UBEM GUI	Altre GUI
x	GIS		Unione di altri software
	BIM		Visualizzazione e comunicazione
x	WEB	x	GUI impostazione archetipi
		x	GUI per dati di input su GIS
		x	GUI per i risultati su GIS
			Supporto alla decisione (SDSS)
			Creazione e valutazione scenari
			Strumenti partecipativi
			GUI complessiva

2.9 Caso 9 - Dall'O' ed altri (2012)

Dall'O' [27] sviluppa e sperimenta un approccio analitico integrato in ambiente GIS, per inserire il calcolo della prestazione energetica del patrimonio edificato nella gestione del SEAP (Sustainable Energy Action Plan) promosso da alcuni comuni della regione Lombardia all'interno del programma EU "Covenant of Mayors". La metodologia si basa sull'uso di tipologie edilizie adattate ai dati disponibili e sulla pianificazione di una rigorosa azione di rilievo in loco (figura 2.17). Dopo aver calcolato mediante la norma tecnica (UNI TS 11300) il fabbisogno EP degli edifici campione, viene effettuata una generalizzazione tramite regressione lineare (LR), dove il fabbisogno è funzione solo del rapporto S/V calcolato per la totalità degli immobili, partendo dalle cartografie vettoriali regionali (figura 2.18). L'uso della semplice tecnica di regressione permette di limitare il numero degli edifici da rilevare e, tramite una ben organizzata campagna di rilievo, si possono ridurre i tempi e quindi i costi dell'acquisizione dei dati. La metodologia è semplificata e si presta a una sua integrazione in ambiente GIS (figura 2.19), ma non permette di esplicitare l'influenza dei diversi elementi di fabbrica ed è comunque gravata da forti semplificazioni, che non tengono conto della variabilità fisiche delle condizioni del contesto. Definire un UDEM coerente alle normative standard, per quanto semplificato in base ai dati disponibili, può facilitare la comunicazione dei risultati del modello sia presso gli addetti del settore, che ne conoscono nel dettaglio le procedure, che presso stakeholder di natura non tecnica ormai sempre più abituati a utilizzare le etichette delle APE nella valutazione delle proprie scelte di investimento immobiliare. Inoltre la graduale acquisizione dei certificati da parte delle amministrazioni potrebbe contribuire a colmare le lacune informative iniziali permettendo di calibrare il modello e raffinarne le previsioni.

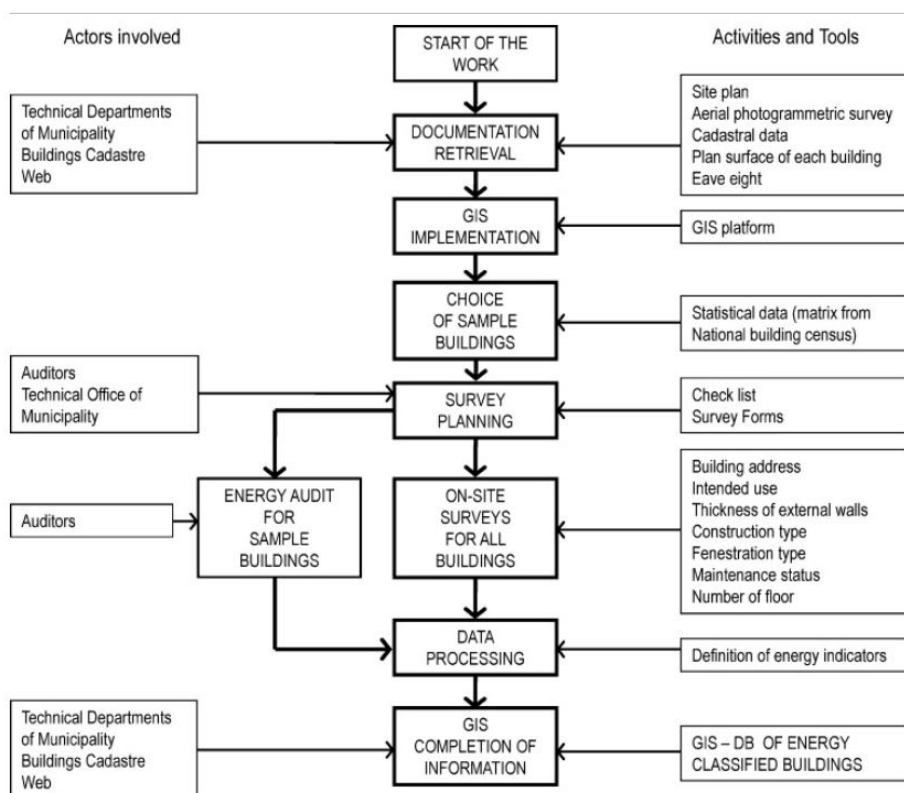


Figure 2.17. Struttura e fasi della metodologia (tratta da [27]).

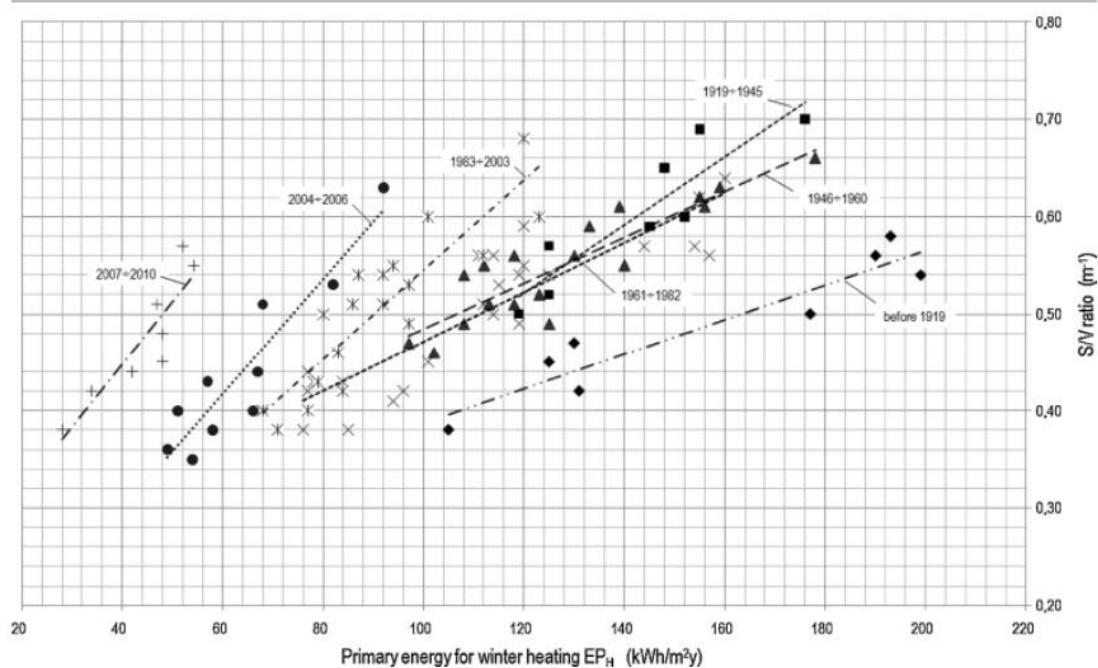


Figure 2.18. Curve caratteristiche di diversi tipi di edificio (tratta da [27]).

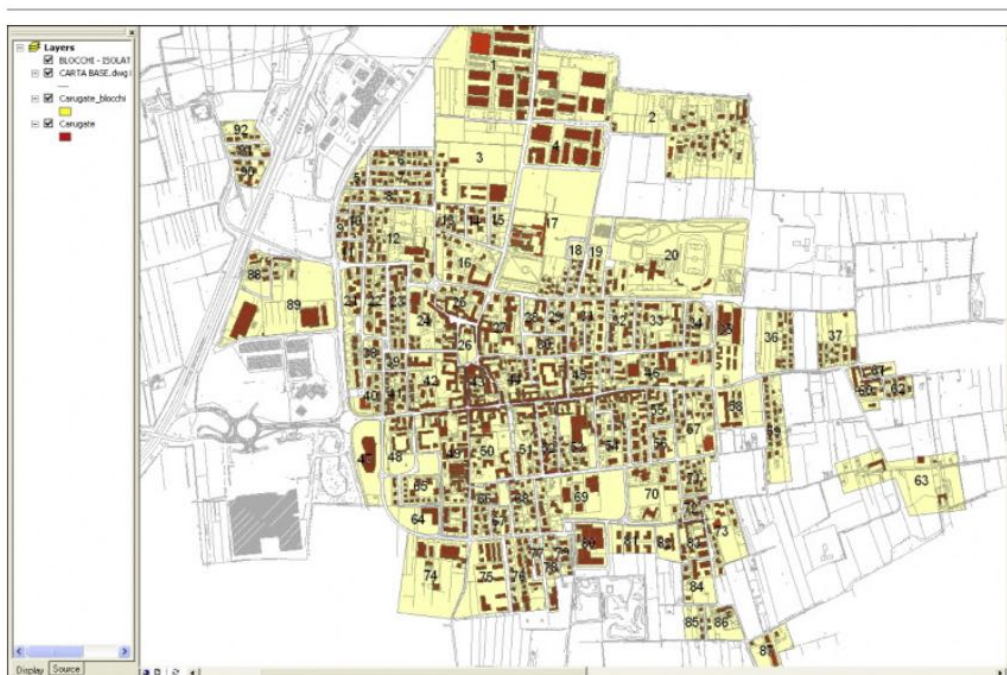


Figure 2.19. Esempio di mappatura (tratta da [27]).

Dall'O' ed altri (2012)

1_Obiettivi e finalità della modellazione			
Finalità del calcolo energetico		Obiettivi generali dello strumento	
	Domanda energetica		Progetto infrastrutture energetiche
x	Simulazione del fabbisogno	x	Valutazione scenari (urbani di quartiere)
	Misto		Studio potenziale (solare termico e fotovoltaico)
			Supporto alla Decisione
			Partecipazione e sensibilizzazione

2_Dati di ingresso									
Clima		Geometrie		Altri dati spaziali		Consumi		Rilievo specifico	
x	Semi stazionario	x	Footprint (Lod 0)	x	Impianti		Aggregati	x	Audit speditivi
	Dinamico		CityBOX (Lod 1)		Utenti		Servizi urbani		Audit dettaglio
x	Regionale		LOD 2		Microclima indoor		Campione	x	Rilievo urbano
	Urbano		LOD 3	x	Ristrutturazioni		....		Sensori
	Micro clima		LOD 4	x	DB SACE				LiDAR
			LOD 5						Sensori ambientali
			no					x	Questionari

3_Dimensione spaziale		
Scale obiettivo	Scale dei dati input	Livello di scala
		zona termica o stanza
		unità immobiliare, o livello
x	X (dati tipologiche)	edificio o corpo di fabbrica
x	X (statistiche sul patrimonio)	isolato o gruppo di edifici
		quartiere o parte ampia di città (raster o schematico)
		intera città o l'interno patrimonio edilizio del comune (raster o schematico)
		scale territoriali (area metropolitana, province, ...) (raster o schematico)
		scale non urbane (regionale, Nazionale,...) (raster o schematico)

4_Approccio tipologico				
Classificazione		Caratterizzazione		Assegnazione
	Manuale, conoscenza esperta		Clima	Nessuna (statistiche nazionali)
x	Analisi statistica Semplice	x	Geometria del contesto	Manuale su ogni edificio
	Analisi statistica complesse (ACP, Cluster,...)	x	Geometrie dell'edificio	x Parametri semplici (area utile, volumi, ..)
	...	x	Involucro (coperture, muri, infissi, base, ..)	Semplici metodologie statistiche (tipi edilizi, anno costruzione,)
		x	Impianti	Complesse metodologie statistiche
			Fattore umano: impianti	
			Fattore umano: presenza	
			Fattore umano: finestre	
			Consumi	

5_Modello di calcolo termico					
Step temporale		Contesto		Approccio modellazione	Scala simulazione
x	Sim. Semi stazionario		Nessuna valutazione	Analitico semplificato	Archetipo
	Sim. Dinamico	x	Per archetipo	x Analitico completo (UNI 11300)	x Campione
			Semplificato urbano	Statistica	Popolazione
			Dettagliato urbano	x Mista (simul + Assegnazione)	Totalmente simulato modello semplificato
					Totalmente simulato modello dettagliato

6_Struttura dello strumento				
Interoperabilità		UBEM GUI		Altre GUI
x	GIS		Unione di altri software	Visualizzazione e comunicazione
	BIM		GUI impostazione archetipi	Supporto alla decisione (SDSS)
	WEB	x	GUI per dati di input su GIS	Creazione e valutazione scenari
		x	GUI per i risultati su GIS	Strumenti partecipativi
			GUI complessiva	

2.10 Caso 10 – ENERGIS (2010)

Girardin ed altri [28] hanno sviluppato un approccio bottom up di tipo statistico per la stima del fabbisogno energetico, finalizzato allo studio e l'ottimizzazione dei sistemi di rinfrescamento e riscaldamento distrettuali della città di Ginevra (figura 2.20). Il fabbisogno è stimato mettendo in relazione i consumi reali per riscaldamento, climatizzazione, ACS ed elettricità di circa la metà del patrimonio edificato di Ginevra, con le caratteristiche tipologico funzionali. Allo scopo vengono individuate 80 categorie di edifici, basate sulla tipologia d'uso (8 tipi di usi) e sull'anno di costruzione o di ristrutturazione (10 periodi). In questo caso il parametro geometrico non viene preso in considerazione, perché per calcolare il fabbisogno del patrimonio edificato si utilizza una generalizzazione per tipologia dei dati reali di consumo. La dimensione spaziale, necessaria allo studio delle reti impiantistiche, viene garantita dal riferimento a statistiche sugli edifici riferite a precisi ambiti spaziali. L'uso di dati reali in luogo di quelli calcolati premette di stimare i consumi con la precisione necessaria a sviluppare il confronto tra diverse alternative progettuali su un accurato predimensionamento dei sistemi. Lo scopo stesso del modello rende necessario il riferimento ai consumi reali per definire con precisione gli andamenti del fabbisogno durante l'anno, ma pone in secondo piano la modellazione delle perdite di calore attraverso l'involucro alla scala del singolo immobile, che è invece di primario interesse nel caso di recupero edilizio.

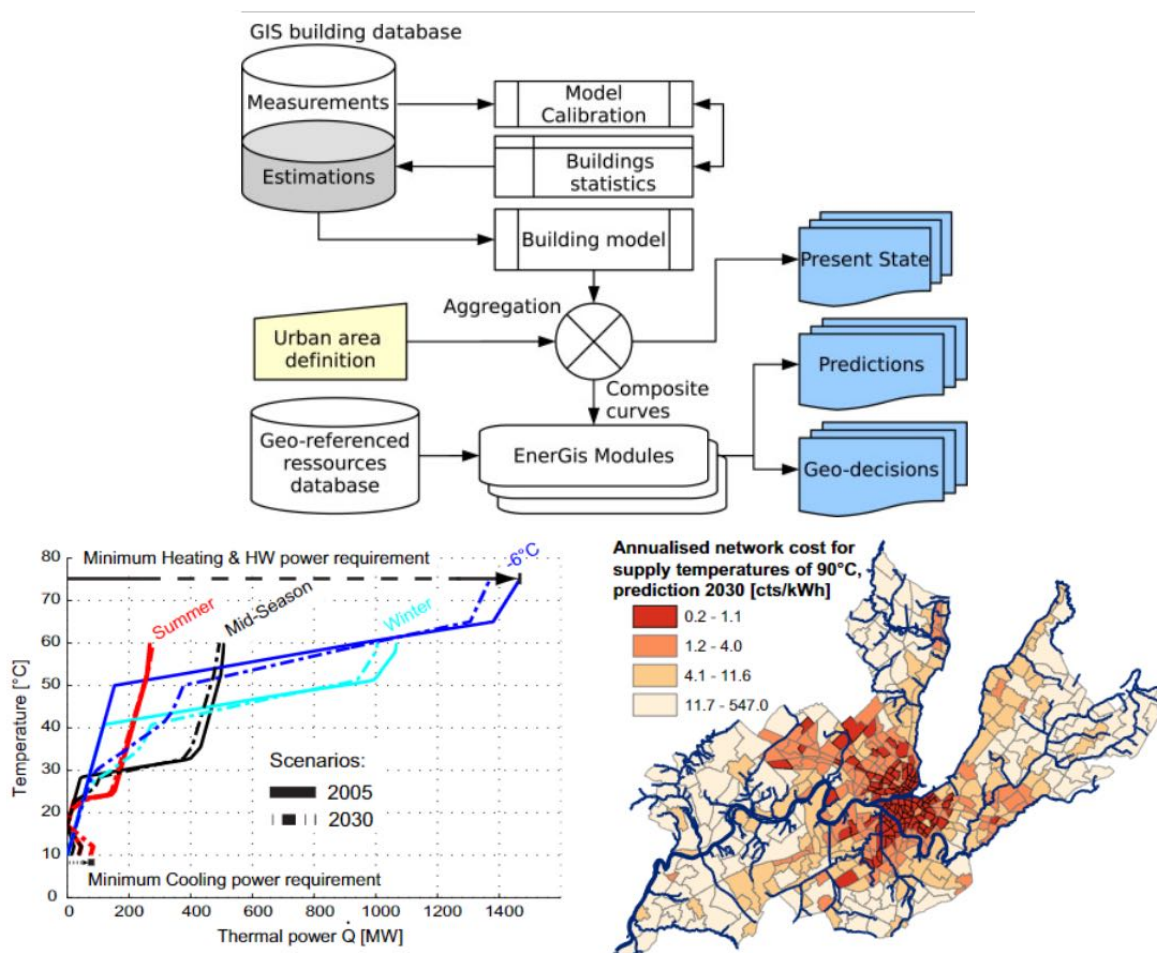


Fig. 7. Composite curves of the Geneva area: actual state and 2030 predictions.

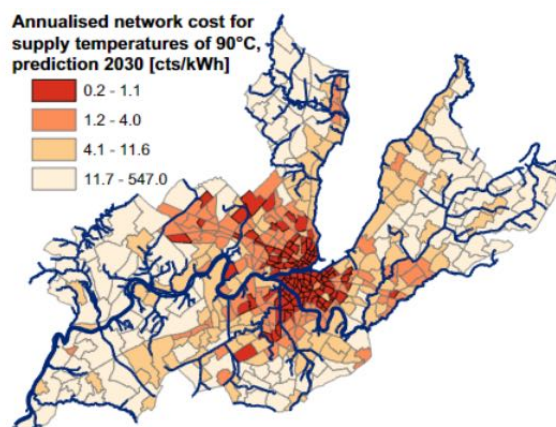


Fig. 9. Cost of DHN by zones for a distribution temperature of 90°C and the heat requirement expected for 2030.

Figura 2.20. Schema della metodologia ed esempio di risultati (tratta da [28]).

ENERGIS (2010)

1_Obiettivi e finalità della modellazione			
Finalità del calcolo energetico		Obiettivi generali dello strumento	
x	Domanda energetica	x	Progetto infrastrutture energetiche (teleriscaldamento)
	Simulazione del fabbisogno	x	Valutazione scenari (urbani di quartiere)
	Misto		Studio potenziale (solare termico e fotovoltaico)
			Supporto alla Decisione
			Partecipazione e sensibilizzazione

2_Dati di ingresso							
Clima		Geometrie		Altri dati spaziali		Consumi	
	Semi stazionario		Footprint (Lod 0)	x	Impianti		Aggregati
x	Dinamico		CityBOX (Lod 1)	x	Utenti	x	Servizi urbani
	Regionale		LOD 2		Microclima indoor		Campione
x	Urbano (meteo)		LOD 3	x	Ristrutturazioni		....
	Micro clima		LOD 4				LiDAR
			LOD 5				Sensori ambientali
		x	no				Questionari

3_Dimensione spaziale		
Scale obiettivo	Scale dei dati input	Livello di scala
		zona termica o stanza
	X (impianti consumi)	unità immobiliare, o livello
	X (dati tipologiche)	edificio o corpo di fabbrica
x	X (statistiche sul patrimonio)	isolato o gruppo di edifici
x		quartiere o parte ampia di città (raster o schematico)
		intera città o l'interno patrimonio edilizio del comune (raster o schematico)
		scale territoriali (area metropolitana, province, ...) (raster o schematico)
		scale non urbane (regionale, Nazionale,...) (raster o schematico)

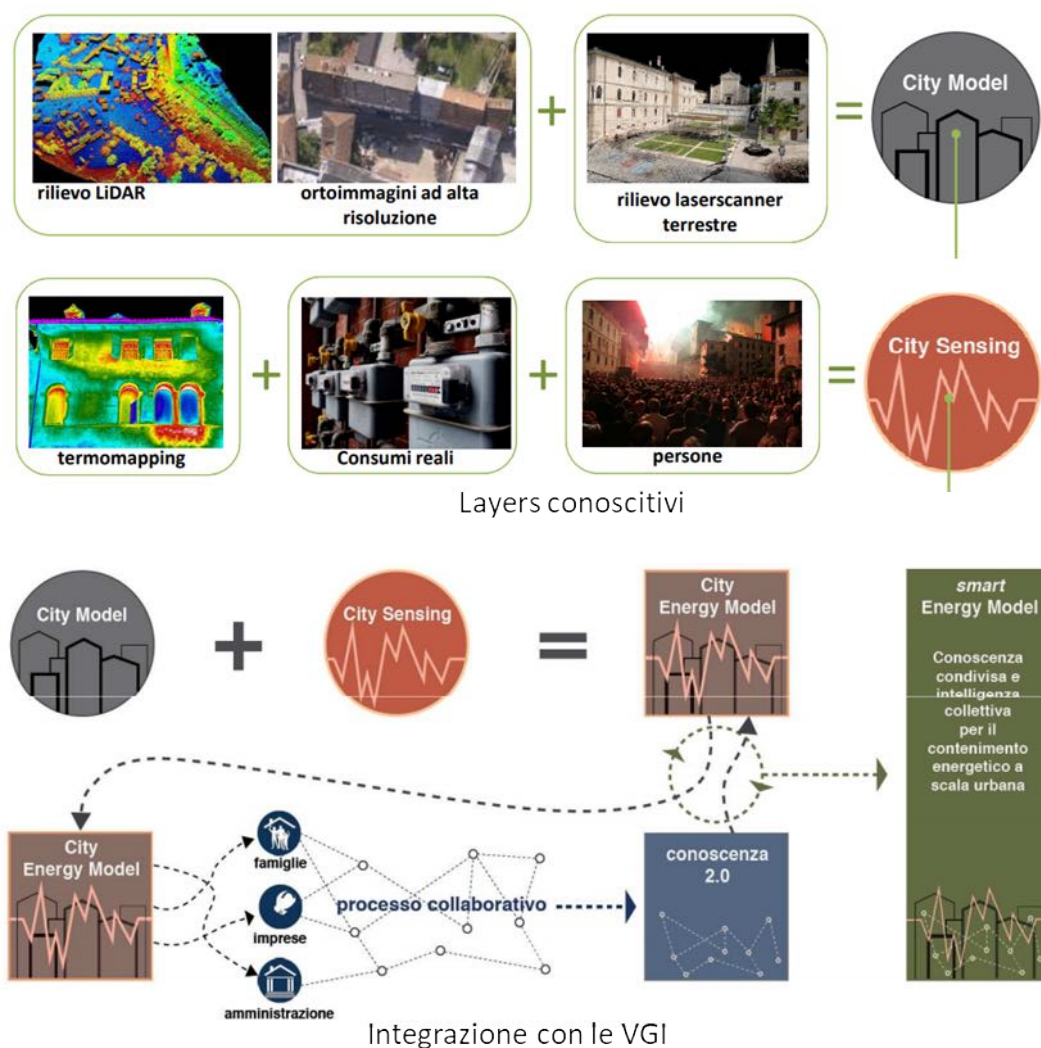
4_Approccio tipologico			
Classificazione		Caratterizzazione	Assegnazione
	Manuale, conoscenza esperta	Clima	Nessuna (statistiche nazionali)
x	Analisi statistica Semplice	Geometria del contesto	Manuale su ogni edificio
	Analisi statistica complesse (ACP, Cluster,...)	x Geometrie dell'edificio	Parametri semplici (area utile, volumi, ..)
	...	x Involucro (coperture, muri, infissi, base, ..)	x Semplici metodologie statistiche (tipi edilizi, anno costruzione,)
		x Impianti	Complesse metodologie statistiche
		Fattore umano: impianti	
		Fattore umano: presenza	
		Fattore umano: finestre	
		x Consumi	

5_Modello di calcolo termico					
Step temporale		Contesto		Approccio modellazione	Scala simulazione
	Sim. Semi stazionario	x	Nessuna valutazione	Analitico semplificato	Archetipo
x	Sim. Dinamico		Per archetipo	Analitico completo (UNI 11300)	Campione
			Semplificato urbano	x Statistica	x Popolazione
			Dettagliato urbano	Mista (simul + Assegnazione)	Totalmente simulato modello semplificato
					Totalmente simulato modello dettagliato

6_Struttura dello strumento				
Interoperabilità		UBEM GUI		Altre GUI
x	GIS		Unione di altri software	Visualizzazione e comunicazione
	BIM		GUI impostazione archetipi	Supporto alla decisione (SDSS)
	WEB	x	GUI per dati di input su GIS	x Creazione e valutazione scenari (su GIS)
		x	GUI per i risultati su GIS	Strumenti partecipativi
			GUI complessiva	

2.11 Caso 11 - Energy Web Feltre (2012 – 2015)

Il progetto Energy Web Feltre ^[29] è un'iniziativa promossa dalla Fondazione per l'Università e l'Alta Cultura in Provincia di Belluno, dal Consorzio BIM Piave, dall'Università IUAV di Venezia e da UniSky srl spin off IUAV, svolto in partnership con il Comune di Feltre, Arpa Veneto e LTS Land Technologies & Services. Essa si propone come uno strumento per sviluppare un sistema di conoscenze socialmente condivise sullo stato di fatto della spesa energetica a scala urbana, contribuendo a ricavare una base conoscitiva dinamica per supportare la definizione di misure volte al miglioramento dell'efficienza degli utilizzi energetici nel comparto edilizio residenziale. Lo strumento (figura 2.21) si basa sullo sviluppo di un City Energy Model costituito da una base di rilievo geometrico di dettaglio del patrimonio edilizio tramite tecnologia LiDAIR e Laser Scanner terrestre (City Model) e lo sviluppo di una procedura di rilievo dell'ambiente urbano (City Sensing), volta a caratterizzare le componenti che influenzano il consumo energetico del patrimonio edilizio ossia la componente umana, l'impiantistica e l'involucro edilizio. Perciò, accanto al rilievo geometrico, si sono integrati su base spaziale i dati sui consumi annui di gas naturale forniti dall'ente gestore della rete urbana, il numero e la tipologia dei residenti nell'edificio, una termografia della facciata su strada effettuata per ogni edificio, informazioni sulla presenza e l'uso di altri sistemi di climatizzazione tramite questionari somministrati via web. La termografia è utilizzata per ricavare un indice di performance dell'involucro, basata sulla disomogeneità delle temperature rilevate, mentre gli altri dati sono utilizzati per ricavare alcuni indici, che compongono un indice aggregato di performance di ogni edificio. Tutte le informazioni elaborate sono liberamente accessibili dalla rete e visualizzabili tramite interfacce WebGIS, mentre i dati originari sono gestiti direttamente dai proprietari delle unità immobiliari, che accedono con specifica password. Lo strumento è utilizzato per animare la cittadinanza e coinvolgere gli attori locali sul tema dell'efficientamento energetico degli edifici ed è diventata una best practice ^[30] applicata in alcuni centri del Nord Italia e austriaci, nell'ambito dei PAES del Patto dei Sindaci. Lo strumento è fortemente orientato alla comunicazione e al coinvolgimento degli attori locali, adotta interfacce molto semplici, ma non integra un vero e proprio modello energetico del patrimonio edilizio, perciò è difficilmente utilizzabile in modo diretto per definire scenari di intervento. Tuttavia il formato spaziale dell'informazione può facilitare l'integrarsi con metodologie di UBEM basate su sistemi GIS, in quanto si costituisce come un sistema molto efficace per ricavare i dati di base e rappresentare i risultati.



					
performance indicator		Consumi	Dispersioni	Emissioni	Persone
(inefficienza)	(punteggio)	KWh/annuo mc	Termomapping urbano	Ton CO ₂ /mc	kWh/anno pers
molto alta	5	> 53	11 - 12	>0,010	>6000
alta	4	>40 ≤ 53	9 - 10	>0,007 <0,01	>4000 ≤6000
media	3	>30 ≤ 40	7 - 8	>0,005 <0,007	>2333 ≤40
bassa	2	>20 ≤ 30	5 - 6	>0,003 <0,005	>1600 ≤2333
molto bassa	1	≤ 20	4	0,003	≤ 1600

Rappresentazione: mappe e indici

Figura 2.21. Schema esplicativo del progetto Energy Web Feltre (elaborato da [31]).

Energy Web Feltre (2012 – 2015)

1_Obiettivi e finalità della modellazione			
Finalità del calcolo energetico		Obiettivi generali dello strumento	
	Domanda energetica		Progetto infrastrutture energetiche
	Simulazione del fabbisogno		Valutazione scenari (urbani di quartiere)
x	Misto (trasparenza energetica)		Studio potenziale (solare termico e fotovoltaico)
			Supporto alla Decisione
		x	Partecipazione e sensibilizzazione

2_Dati di ingresso							
Clima		Geometrie		Altri dati spaziali		Consumi	
	Semi stazionario		Footprint (Lod 0)	x	Impianti		Aggregati
	Dinamico		CityBOX (Lod 1)	x	Utenti	x	Servizi urbani
	Regionale	x	LOD 2		Microclima indoor		Campione
	Urbano		LOD 3		Ristrutturazioni		....
	Micro clima		LOD 4				
x	No		LOD 5				
			no				
							x

3_Dimensione spaziale		
Scale obiettivo	Scale dei dati input	Livello di scala
		zona termica o stanza
	X (consumi + questionari	unità immobiliare, o livello
x	X (dati tipologiche)	edificio o corpo di fabbrica
x		isolato o gruppo di edifici
		quartiere o parte ampia di città (raster o schematico)
		intera città o l'interno patrimonio edilizio del comune (raster o schematico)
		scale territoriali (area metropolitana, province, ...) (raster o schematico)
		scale non urbane (regionale, Nazionale,...) (raster o schematico)

4_Approccio tipologico			
Classificazione		Caratterizzazione	Assegnazione
	Manuale, conoscenza esperta	Clima	Nessuna (statistiche nazionali)
x	Analisi statistica Semplice	Geometria del contesto	Manuale su ogni edificio
	Analisi statistica complesse (ACP, Cluster,...)	Geometrie dell'edificio	x Parametri semplici (area utile, volumi, ..)
	...	x Involucro (coperture, muri, infissi, base, ..)	Semplici metodologie statistiche (tipi edilizi, anno costruzione,)
		x Impianti	Complesse metodologie statistiche
		Fattore umano: impianti	
		Fattore umano: presenza	
		Fattore umano: finestre	
		x Consumi	

5_Modello di calcolo termico					
Step temporale		Contesto		Approccio modellazione	Scala simulazione
x	Sim. Semi stazionario	x	Nessuna valutazione	Analitico semplificato	Archetipo
	Sim. Dinamico		Per archetipo	Analitico completo (UNI 11300)	Campione
			Semplificato urbano	x Statistica (semplice)	Popolazione
			Dettagliato urbano	Mista (simul + Assegnazione)	Totalmente simulato modello semplificato
					Totalmente simulato modello dettagliato

6_Struttura dello strumento					
Interoperabilità		UBEM GUI		Altre GUI	
x	GIS		Unione di altri software	x	Visualizzazione e comunicazione
	BIM		GUI impostazione archetipi		Supporto alla decisione (SDSS)
x	WEB		GUI per dati di input su GIS		Creazione e valutazione scenari
			GUI per i risultati su GIS	x	Strumenti partecipativi
		x	GUI complessiva sul WEB		

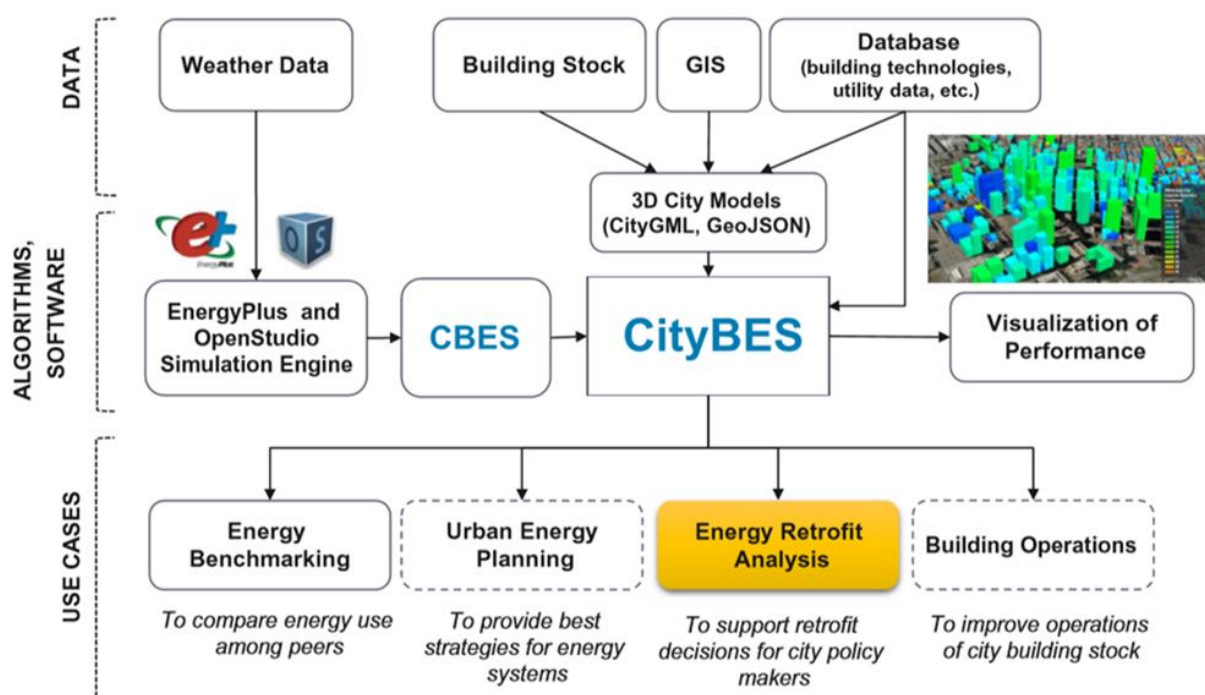
2.12 Caso 12 – CityBES (2017 – 20XX)

CityBES (City Building Energy Saver) è uno strumento su base Web (Lawrence Berkeley National Lab, USA 2016) orientato a supportare nelle analisi di efficienza energetica del patrimonio edilizio alla scala di quartiere e urbana, che include la definizione e il confronto di ipotesi di retrofit energetico. Lo strumento è stato sperimentato su un contesto di 3866 edifici commerciali di San Francisco [32] [33] e reso liberamente disponibile per sperimentazioni in USA [34]. Esso presenta interfacce facilitate, che supportano dalla fase di upload dei dati di base alla interpretazione dei risultati, tramite interfacce grafiche basate su sistemi WebGIS. Lo strumento è in grado di impostare in maniera semi automatica un UBEM [35] partendo da una comune rappresentazione delle geometrie dell'ambiente urbano, coerente con gli standard internazionali (CityGML, GeoJSON) [36]: esso si compone di tre layers: i dati di base, gli algoritmi e le procedure, i casi d'uso (figura 2.22).

La procedura necessita di un modello geometrico urbano semplificato (LOD 0 o LOD 1), al quale siano associate una serie di informazioni utili a eseguire il calcolo energetico: impronta dell'edificio, tipologia dell'edificio, anno di costruzione, altezza dell'edificio, numero di livelli. Gli altri dati di ingresso consistono nella selezione del tipo di ipotesi di misure di risparmio energetico (Energy Conservation Measures – ECMs) da applicare allo specifico edificio o gruppi degli stessi, tramite le interfacce di dialogo apposite integrate nello strumento.

CITYBES adotta il motore di calcolo e le API dello strumento CBES (Commercial Building Energy Saver) [37] sviluppato in precedenza e dedicato prevalentemente agli edifici commerciali [38], capace di simulare l'effetto di 82 tipi di ECMs tramite il motore di calcolo dinamico EnergyPlus e le routine di OpenStudio. EnergyPlus [39] è un software aperto di simulazione dinamica del fabbisogno energetico, mentre OpenStudio [40] è un gruppo di strumenti che fornisce le interfacce e le procedure (Ruby scripts) per impostare i file di ingresso, sulla base delle geometrie dell'immobile del contesto. CBES contiene diversi tipi di edifici prototipo per le 16 zone climatiche definite dalle normative USA (ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) e un vasto data base di ECMs, dove sono riportate descrizioni, costo e caratteristiche tecniche in maniera coerente alla simulazione con motore di calcolo EnergyPlus.

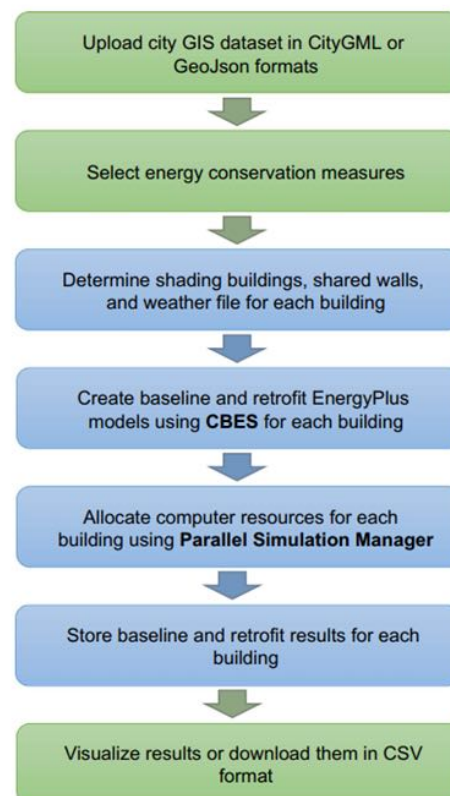
Lo strumento dapprima analizza le geometrie dei dati base e poi adotta un algoritmo semplificato (rispetto al quello standard di Energyplus) per la stima del contesto di ombreggiamento di ogni edificio, al fine di limitare il carico computazionale. Inoltre adotta una procedura automatica per assegnare la zonizzazione termica interna agli edifici, che applica i requisiti ASHRAE per gli edifici privi di riscaldamento e che considera differentemente le parti interne al corpo di fabbrica e quelle più prossime alle facciate esterne (ossia entro 5 metri dal perimetro). Lo strumento calcola per ogni edificio il livello base di performance e quello ottenibile per ogni ECMs selezionata: per fare ciò CityBES contiene uno specifico gestore delle risorse per eseguire più simulazioni in parallelo tramite cloud, in quanto ogni simulazione necessita di un processore dedicato. I risultati (anche quelli intermedi) sono scaricabili in formato geografico o in CSV e naturalmente visualizzabili tramite interfacce WebGIS capaci di effettuare tematizzazioni e grafici sui valori principali di performance.



Struttura dello strumento

The screenshot shows the 'Energy Conservation Measure (ECM) Packages' section of the CityBES web interface. It displays two packages, ECM Package 10 and ECM Package 11, each with a table of measures. ECM Package 10 includes 'Lighting' and 'HVAC - Economizer' measures. ECM Package 11 includes 'Lighting', 'HVAC - Economizer', 'HVAC - Heating', 'HVAC - Cooling', and 'Envelope - Window' measures. Each measure has a 'Delete' button. There are also 'Add an ECM' and 'Add an ECM Package' buttons.

Interfaccia immissione delle ECMs



Flusso di lavoro

Figura 2.22. Schema esplicativo del CiTyBES (elaborazione da [32]).

CityBES (2017 – 20XX)

1_Obiettivi e finalità della modellazione			
Finalità del calcolo energetico		Obiettivi generali dello strumento	
x	Domanda energetica	x	Progetto infrastrutture energetiche
x	Simulazione del fabbisogno	x	Valutazione scenari (urbani di quartiere)
	Misto		Studio potenziale (solare termico e fotovoltaico)
			Supporto alla Decisione
		x	Partecipazione e sensibilizzazione

2_Dati di ingresso							
Clima		Geometrie		Altri dati spaziali		Consumi	
	Semi stazionario	x	Footprint (Lod 0)		Impianti		Aggregati
x	Dinamico	x	CityBOX (Lod 1)		Utenti	x	Servizi urbani
	Regionale		LOD 2		Microclima indoor		Campione
	Urbano		LOD 3		Ristrutturazioni		....
	Micro clima		LOD 4				LiDAR
	No		LOD 5				Sensori ambientali
			no				Questionari

3_Dimensione spaziale		
Scale obiettivo	Scale dei dati input	Livello di scala
		zona termica o stanza
		unità immobiliare, o livello
x		edificio o corpo di fabbrica
x	X (dati tipologiche)	isolato o gruppo di edifici
x	X consumi reti urbane	quartiere o parte ampia di città (raster o schematico)
		intera città o l'interno patrimonio edilizio del comune (raster o schematico)
		scale territoriali (area metropolitana, province, ...) (raster o schematico)
		scale non urbane (regionale, Nazionale,...) (raster o schematico)

4_Approccio tipologico			
Classificazione		Caratterizzazione	Assegnazione
	Manuale, conoscenza esperta		Clima
x	Analisi statistica Semplice		Geometria del contesto
	Analisi statistica complesse (ACP, Cluster,...)		Geometrie dell'edificio
	...	x	Involucro (coperture, muri, infissi, base, ..)
		x	Impianti
			Fattore umano: impianti
			Fattore umano: presenza
			Fattore umano: finestre
		X	Consumi (calibrazione)

5_Modello di calcolo termico					
Step temporale		Contesto		Approccio modellazione	Scala simulazione
	Sim. Semi stazionario		Nessuna valutazione		Analitico semplificato
x	Sim. Dinamico		Per archetipo	x	Analitico completo (En+)
		x	Semplificato urbano		Statistica (semplice)
			Dettagliato urbano		Mista (simul + Assegnazione)
					Totalmente simulato modello semplificato
					Totalmente simulato modello dettagliato

6_Struttura dello strumento					
Interoperabilità		UBEM GUI		Altre GUI	
x	GIS		Unione di altri software	x	Visualizzazione e comunicazione
	BIM		GUI impostazione archetipi		Supporto alla decisione (SDSS)
x	WEB		GUI per dati di input su GIS	x	Creazione e valutazione scenari
			GUI per i risultati su GIS	x	Strumenti partecipativi
		x	GUI complessiva sul WEB		

2.13 Caso 13 – UMI (2013 – 20XX)

Il Massachusetts Institute of Technology di Cambridge (MIT) Sustainable Design Lab ^[41] è impegnato a sviluppare e sperimentare una piattaforma per la modellazione alla scala urbana e di quartiere multi disciplinare denominata Urban Modeling Interface (UMI) ^[42]. L'UMI è un ambiente progettuale urbano, basato sul software proprietario Rhinoceros3d ^[43], che può essere integrato con diverse interfacce e applicazioni (API) sperimentate su diversi approcci di UBEM ^[44]. L'UBEM della città di Boston (83541 edifici) ^[45] è capace di calcolare la domanda energetica oraria per ogni edificio, partendo dai dati spaziali ufficiali forniti dall'amministrazione e da un data base di tipologie edilizie di 52 tipi (basati sull'uso e l'età di costruzione), sviluppato specificatamente per lo studio. Nel caso di Lisbona ^[46] la stessa procedura si appoggia agli abachi e alle tipologie edilizie sviluppate dal progetto TABULA.

L'interfaccia UMI permette di importare le impronte degli edifici tenendo conto della loro altezza, creando un DB tridimensionale tramite il plugin Grasshopper di Rhinoceros3D, inoltre riconosce i corpi di fabbrica, determina i livelli e ricava le finestre sulla base dei rapporti finestrati assegnati (figura 2.23). La base geografica adottata è coincidente con il dettaglio minimo tipico delle basi topografiche urbane, ossia le footprint. L'estrazione delle superfici disperdenti e la valutazione dell'ambiente urbano (ombreggiamento, adiacenza tra edifici) può essere svolto tramite uno specifico algoritmo automatico capace di definire anche i volumi 3D e le zone termiche interne ^[47]. Le geometrie di ogni edificio vengono così esportate per eseguire il calcolo orario tramite l'estensione per il calcolo energetico di Rhinoceros DIVA ^[48], che implementa il motore di calcolo dinamico di Energyplus e Radiance. Perciò i risultati ottenibili con un dettaglio spaziale e temporale molto elevato possono riguardare tutte le analisi teoricamente sviluppabili su DIVA (figura 2.24). I risultati per ogni edificio sono poi aggregati spazialmente, al fine di poter essere confrontati e calibrati con i dati di consumo energetico reali, disponibili tipicamente per ambiti spaziali più ampi.

Il gruppo di lavoro ha sviluppato approcci e strumenti specifici per impostare un UBEM in maniera funzionale alla SMART City ^[49] ^[50] riguardo ai suoi principali elementi costitutivi: base geografica, definizione degli archetipi (figura 2.25), modellazione energetica, calibrazione e validazione dei risultati. Gli sviluppi futuri della metodologia si concentrano sul miglioramento delle interfacce d'uso, ancora destinate a un utente esperto, e sui due fattori più limitanti per lo sviluppo degli approcci di UBEM, ossia la ricerca e il pre processing dei dati di base riguardo alle geometrie e alle caratteristiche del sistema edificio – impianto-utente e le procedure di calibrazione e validazione dei modelli ^[51], per i quali dettagli si rimanda alla vasta letteratura disponibile.

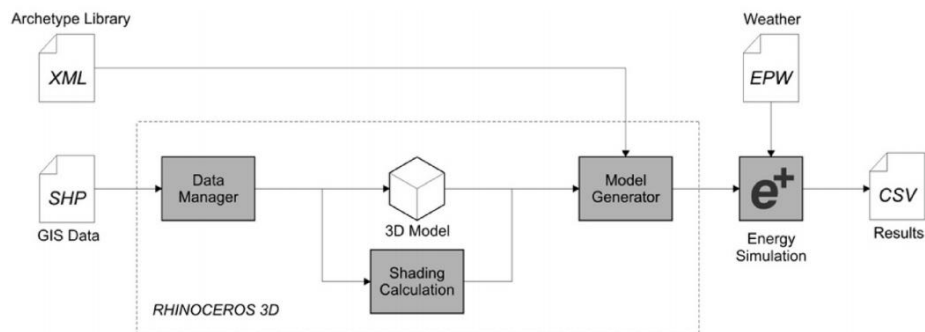


Fig. 2. UBEM developed modelling tool workflow.

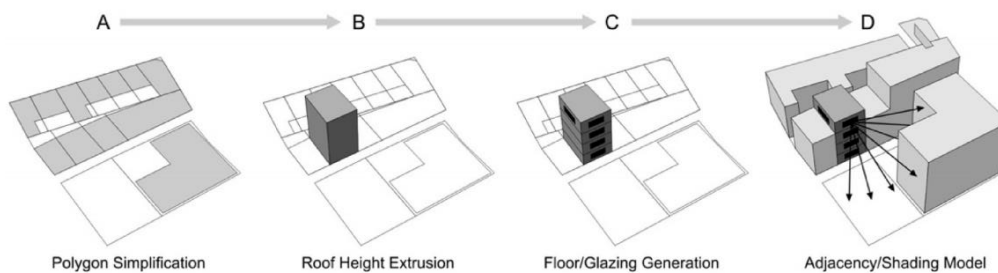


Figura 2.23. Schema di lavoro e sviluppo del modello geométrico in UMI (tratto da [42]).

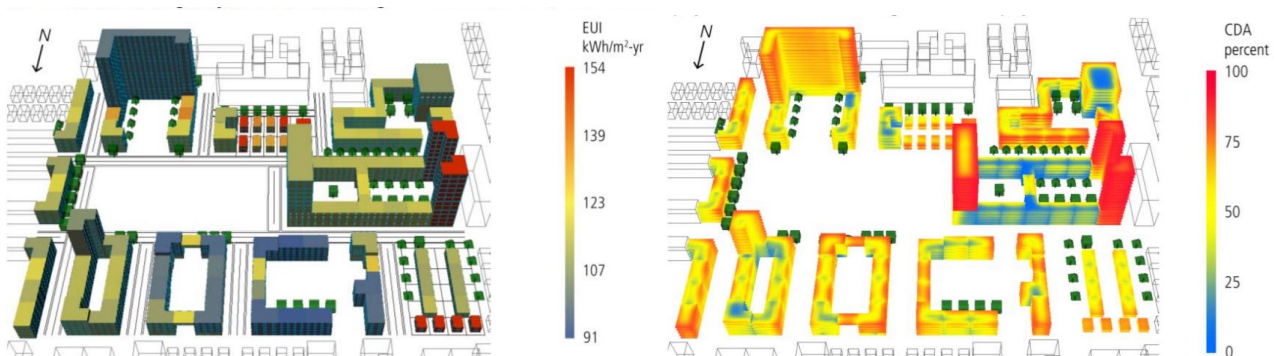


Figura 2.24. Alcuni risultati del software UMI (Intesita d'uso enerteico, ed irraggiamento solare sulle facciate) (tratto da [45]).

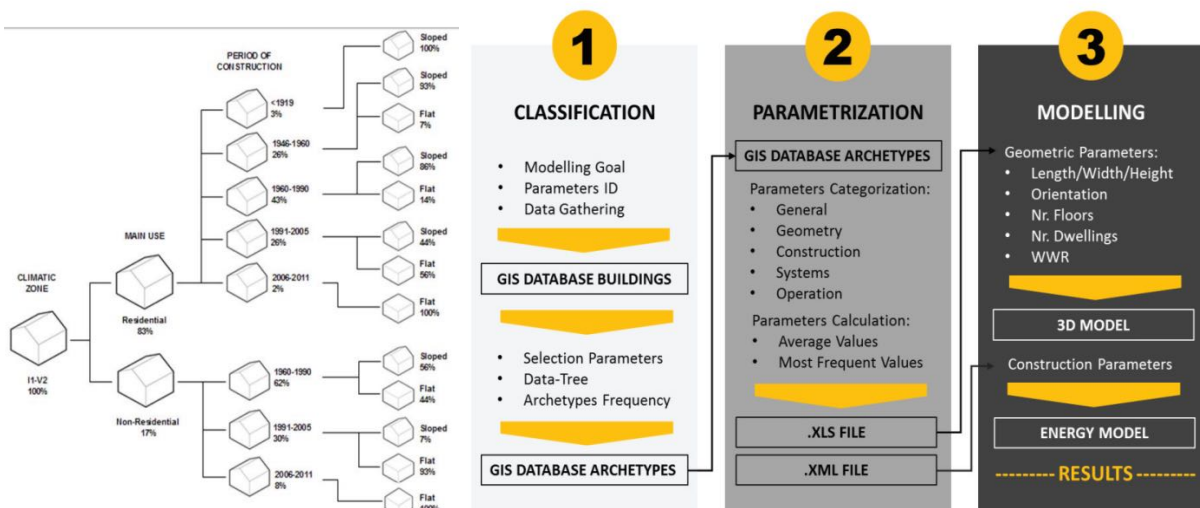


Figura 2.25. Procedura di definoin deli archetipi (tratto da [46]).

UMI (2013 – 20XX)

1_ Obiettivi e finalità della modellazione			
Finalità del calcolo energetico		Obiettivi generali dello strumento	
x	Domanda energetica	x	Progetto infrastrutture energetiche
x	Simulazione del fabbisogno	x	Valutazione scenari (urbani di quartiere)
	Misto	x	Studio potenziale (solare termico e fotovoltaico)
		x	Supporto alla Decisione
		x	Partecipazione e sensibilizzazione

2_ Dati di ingresso							
Clima		Geometrie		Altri dati spaziali		Consumi	
	Semi stazionario	x	Footprint (Lod 0)		Impianti		Aggregati
x	Dinamico		CityBOX (Lod 1)		Utenti	x	Servizi urbani
	Regionale		LOD 2		Microclima indoor		Campione
x	Urbano		LOD 3		Ristrutturazioni		....
	Micro clima		LOD 4				LiDAR
	No		LOD 5				Sensori ambientali
			no				Questionari

3_ Dimensione spaziale		
Scale obiettivo	Scale dei dati input	Livello di scala
		zona termica o stanza
		unità immobiliare, o livello
x		edificio o corpo di fabbrica
x	X (dati tipologiche)	isolato o gruppo di edifici
x	X consumi reti urbane	quartiere o parte ampia di città (raster o schematico)
		intera città o l'interno patrimonio edilizio del comune (raster o schematico)
		scale territoriali (area metropolitana, province, ...) (raster o schematico)
		scale non urbane (regionale, Nazionale,...) (raster o schematico)

4_ Approccio tipologico			
Classificazione	Caratterizzazione		Assegnazione
	Manuale, conoscenza esperta	Clima	Nessuna (statistiche nazionali)
x	Analisi statistica Semplice	Geometria del contesto	Manuale su ogni edificio
	Analisi statistica complesse (ACP, Cluster,...)	Geometrie dell'edificio	x Parametri semplici (area utile, volumi, ...)
	...	x Involucro (coperture, muri, infissi, base, ...)	x Semplici metodologie statistiche (tipi edilizi, anno costruzione, ...)
		x Impianti	Complesse metodologie statistiche
		Fattore umano: impianti	
		Fattore umano: presenza	
		Fattore umano: finestre	
		X Consumi (calibrazione)	

5_ Modello di calcolo termico				
Step temporale	Contesto		Approccio modellazione	Scala simulazione
	Sim. Semi stazionario		Nessuna valutazione	Analitico semplificato
x	Sim. Dinamico		Per archetipo	x Analitico completo (En+)
		x	Semplificato urbano	Statistica (semplice)
			Dettagliato urbano	Mista (simul + Assegnazione)
				x Totalmente simulato modello semplificato
				Totalmente simulato modello dettagliato

6_ Struttura dello strumento				
Interoperabilità		UBEM GUI		Altre GUI
x	GIS	x	Unione di altri software	x Visualizzazione e comunicazione
	BIM		GUI impostazione archetipi	x Supporto alla decisione (SDSS)
x	WEB	x	GUI per dati di input su GIS	x Creazione e valutazione scenari
		x	GUI per i risultati su GIS	x Strumenti partecipativi
			GUI complessiva sul WEB	

2.14 Caso 14 – IDEE (2016 -2019)

Il progetto IDEE ^[52] ha l'obiettivo di creare una rete di ricerca transfrontaliera che si dedichi all'analisi sistematica dei sistemi energetici urbani, sviluppando un framework integrato di valutazione bottom up da utilizzare per ottimizzare e pianificare in modo puntuale interventi di riduzione delle emissioni di CO₂ del patrimonio edilizio urbano, considerando in particolare le potenzialità di sviluppo del teleriscaldamento.

Il risultato principale del progetto la definizione di una metodologia di modellazione e di alcuni strumenti a supporto delle azioni di piano delle autorità locali e altri stakeholder, e pianificare gli investimenti energetici nelle aree urbane. La metodologia è stata testata su alcune città pilota (Feltre (IT), Maniago (IT), Seeham (AU)) ^[53]. Particolare attenzione alla base del progetto è stata lo sviluppo di approcci il più possibile esportabili in tutti i contesti simili in ambito nazionale e transnazionale, perciò i dati di base adottati sono in genere quelli comunemente disponibili e le procedure tengono conto delle esigenze di semplificazione e di rappresentatività dei risultati e sono basate su software aperti.

Il progetto parte dalla considerazione che utilizzare i dati dei consumi come base per la modellazione porterebbe a impostare una metodologia troppo legata alla disponibilità locale di informazioni con sufficiente dettaglio temporale e geografico, perciò sviluppa un UBEM per stimare fabbisogno energetico del contesto urbano e sub urbano e simulare interventi di retrofit energetico. I risultati ottenuti dall'UBEM saranno poi la base per lo sviluppo di una piattaforma WEB per la condivisione di dati spaziali e il supporto ai processi decisionali. L'UBEM si sviluppa quasi completamente in ambiente GIS (QGIS), che viene supportato da applicativi esterni per alcune analisi specifiche relative alla ottimizzazione dei sistemi di teleriscaldamento (software MLP Rivus), ma il GIS viene sempre usato per la visualizzazione e l'analisi dei risultati.

I dati di base relativi alle geometrie degli edifici e del loro contesto sono stati ricavati dalle Mappe Urbane della cartografia del Nuovo catasto Edilizio Urbano (NCEU), ritenuta preferibile rispetto alle cartografie tecniche numeriche regionali (CTRN scala tipica 1:10000 – 1:5000), in quanto aventi una scala omogenea su tutto il territorio nazionale, di maggiore dettaglio teorico (1:500) e costantemente aggiornata. Inoltre tale riferimento spaziale permette di integrare direttamente i dati contenuti nel data base catastale delle Unità Immobiliari Urbane (UIU), che possono contenere molti dati utili alla modellazione energetica.

Le informazioni di base relative alle strutture edilizie e ai sistemi impiantistici sono recuperate integrando gli abachi del progetto TABULA con i dati Censuari ISTAT (CPA 2011) e definendo alcuni archetipi basati su aspetti geometrici e sugli anni di costruzione (Figura 2.26). Tali dati sono anche stati integrati con una campagna di questionari indirizzati ai gestori delle unità immobiliari dei comuni pilota che ha riguardato: impianti termici esistenti, interventi di ristrutturazione ed efficientamento, uso di biomasse per il riscaldamento.

Al fine di limitare il carico computazionale e semplificare la struttura dello strumento, il calcolo energetico si svolge in due step: il primo riferito agli archetipi e il secondo eseguito per ogni edificio.

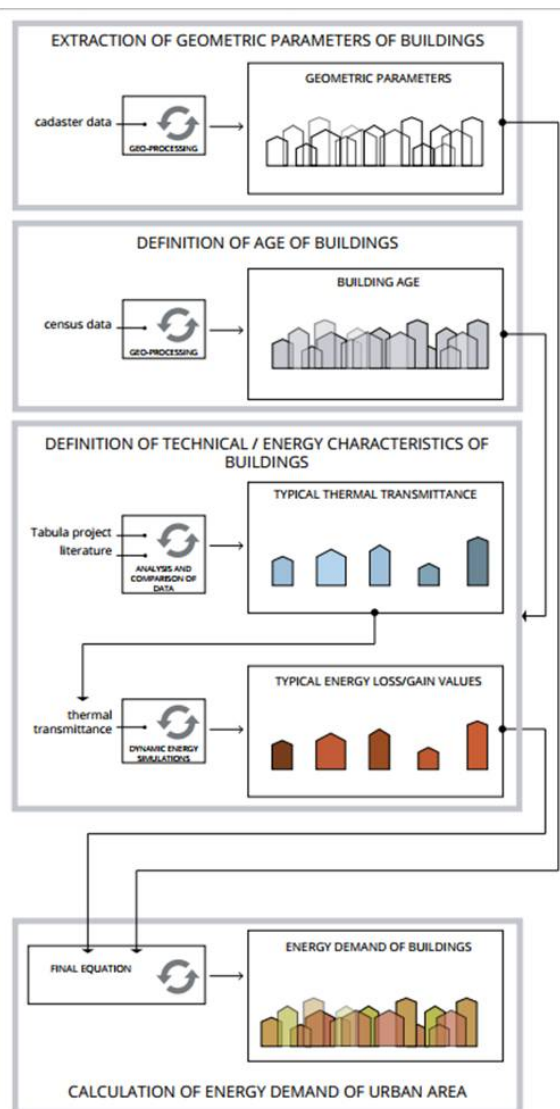
Il primo calcolo esegue un modello di simulazione dinamica su base oraria (Design Builder ed EnergyPlus) degli edifici tipo ricavando:

- indici di fabbisogno termico unitario rapportato alle diverse superfici disperdenti del corpo di fabbrica;
- profili di carico orario divisi in fasce di carico (alto, medio, basso) e frequenze stagionali funzionali alla progettazione preliminare delle reti di teleriscaldamento;
- il fabbisogno complessivo stagionale e mensile.

Il secondo step del calcolo adegua i risultati ottenuti dai modelli dinamici, eseguiti per gli archetipi sulla base delle geometrie ricavate per ogni edificio e le assegnazioni di tipo, tramite una formula simile a quella del calcolo semi stazionario riportato nella normativa. La procedura nel complesso si articola in cinque step:

- ricavare le geometrie tramite un apposito algoritmo di geo processing e di interpretazione dei dati delle UIU;
- assegnare un anno di costruzione statistico medio, definito sulla base dei dati del CPA 2011, a tutti gli edifici della zona censuaria (l'interfaccia permette di specificar puntualmente le informazioni);

- assegnare i dati materico impiantistici degli archetipi definiti in precedenza a ogni edificio incrociando l'anno di costruzione con gli aspetti geometrici dell'involucro;
- eseguire il secondo step del calcolo energetico per ogni edificio in modo da ricavare il fabbisogno urbano.

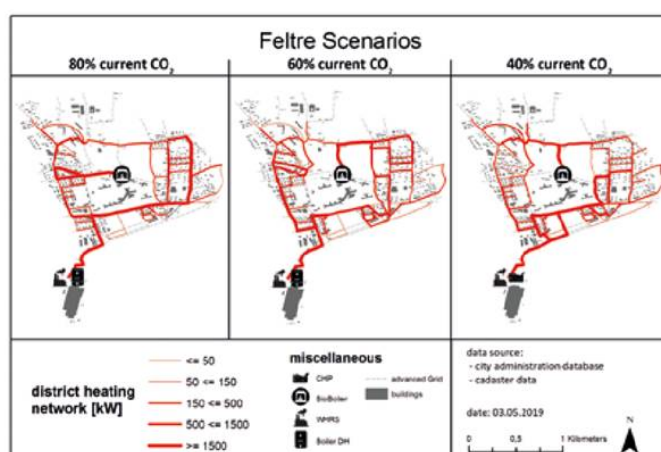


Schema dell'UBEM

	<1919	1919-1945	1946-1970	1971-1990
L1	 $Q_{nrd} = 280 \text{ kWh/m}^2$	 $Q_{nrd} = 264 \text{ kWh/m}^2$	 $Q_{nrd} = 206 \text{ kWh/m}^2$	 $Q_{nrd} = 128 \text{ kWh/m}^2$
L2	 $Q_{nrd} = 262 \text{ kWh/m}^2$	 $Q_{nrd} = 242 \text{ kWh/m}^2$	 $Q_{nrd} = 182 \text{ kWh/m}^2$	 $Q_{nrd} = 105 \text{ kWh/m}^2$
L3	 $Q_{nrd} = 240 \text{ kWh/m}^2$	 $Q_{nrd} = 230 \text{ kWh/m}^2$	 $Q_{nrd} = 152 \text{ kWh/m}^2$	 $Q_{nrd} = 94 \text{ kWh/m}^2$

	1991-2005	2006-2013	>2013
	 $Q_{nrd} = 103 \text{ kWh/m}^2$	 $Q_{nrd} = 61 \text{ kWh/m}^2$	 $Q_{nrd} = 53 \text{ kWh/m}^2$
	 $Q_{nrd} = 85 \text{ kWh/m}^2$	 $Q_{nrd} = 48 \text{ kWh/m}^2$	 $Q_{nrd} = 42 \text{ kWh/m}^2$
	 $Q_{nrd} = 77 \text{ kWh/m}^2$	 $Q_{nrd} = 43 \text{ kWh/m}^2$	 $Q_{nrd} = 37 \text{ kWh/m}^2$

Archetipi individuati



Alcuni risultati di scenari relativi al teleriscaldamento

Figura 2.26. Schema dell'UBEM(elaborato da [52])

IDEE (2016 -2019)

1_ Obiettivi e finalità della modellazione			
Finalità del calcolo energetico		Obiettivi generali dello strumento	
	Domanda energetica	x	Progetto infrastrutture energetiche
x	Simulazione del fabbisogno	x	Valutazione scenari (urbani di quartiere)
	Misto		Studio potenziale (solare termico e fotovoltaico)
		x	Supporto alla Decisione
		x	Partecipazione e sensibilizzazione

2_ Dati di ingresso							
Clima		Geometrie		Altri dati spaziali		Consumi	
	Semi stazionario		Footprint (Lod 0)		Impianti		Aggregati
x	Dinamico	x	CityBOX (Lod 1)		Utenti		Servizi urbani
x	Regionale		LOD 2		Microclima indoor		Campione
	Urbano		LOD 3		Ristrutturazioni		....
	Micro clima		LOD 4				LiDAR
	No		LOD 5				Sensori ambientali
			no				x Questionari

3_ Dimensione spaziale		
Scale obiettivo	Scale dei dati input	Livello di scala
		zona termica o stanza
		unità immobiliare, o livello
x		edificio o corpo di fabbrica
x	X (dati tipologiche)	isolato o gruppo di edifici
x		quartiere o parte ampia di città (raster o schematico)
		intera città o l'interno patrimonio edilizio del comune (raster o schematico)
		scale territoriali (area metropolitana, province, ...) (raster o schematico)
		scale non urbane (regionale, Nazionale,...) (raster o schematico)

4_ Approccio tipologico			
Classificazione		Caratterizzazione	Assegnazione
	Manuale, conoscenza esperta	Clima	Nessuna (statistiche nazionali)
x	Analisi statistica Semplice	x Geometria del contesto	Manuale su ogni edificio
	Analisi statistica complesse (ACP, Cluster,...)	Geometrie dell'edificio	x Parametri semplici (area utile, volumi, ...)
	...	x Involucro (coperture, muri, infissi, base, ...)	Semplici metodologie statistiche (tipi edilizi, anno costruzione,...)
		x Impianti	Complesse metodologie statistiche
		Fattore umano: impianti	
		Fattore umano: presenza	
		Fattore umano: finestre	
		X Consumi (simulazione)	

5_ Modello di calcolo termico					
Step temporale		Contesto		Approccio modellazione	
	Sim. Semi stazionario		Nessuna valutazione		x Archetipo
x	Sim. Dinamico	x	Per archetipo	x	Campione
			Semplificato urbano		Popolazione
			Dettagliato urbano		Totalmente simulato modello semplificato
					Totalmente simulato modello dettagliato

6_ Struttura dello strumento					
Interoperabilità		UBEM GUI		Altre GUI	
x	GIS	x	Unione di altri software	x	Visualizzazione e comunicazione
	BIM		GUI impostazione archetipi		Supporto alla decisione (SDSS)
x	WEB	x	GUI per dati di input su GIS		Creazione e valutazione scenari
		x	GUI per i risultati su GIS	x	Strumenti partecipativi
			GUI complessiva sul WEB		

2.15 Caso 15 – FlexiGIS (2016 – 2019)

Alhamwi ed altri ^[54]^[55] ^[56] propongono un approccio speditivo basato su infrastruttura GIS e WebGIS per rappresentare e condividere le informazioni utili alla pianificazione dei Sistemi Energetici Urbani (Urban Energy Systems – UES), chiamato FlexiGIS e basato sulla disponibilità di dati nel territorio nazionale della Germania e principalmente orientato alla definizione di strategie di ottimizzazione tra la domanda elettrica del patrimonio edilizio e la produzione da sistemi rinnovabili elettrici (fotovoltaici, eolici). Lo strumento è stato testato nella città di Oldenburg, nella Germania del Nord.

Lo strumento definisce dapprima un modello urbano geometrico, ricavato dai dati topografici aperti pubblicati su Open Street Map (OSM) ^[57] tramite procedure e plugin di QGIS (Geofabrik “geo factory”), a questo poi aggiunge i layers delle fonti rinnovabili. Il modello urbano contiene anche il tipo d’uso degli edifici, ricavato tramite apposita procedura dal DB topografico di OSM (Osm2pgsql tool). Il layer conoscitivo delle fonti rinnovabili è ricavato dalla integrazione, tramite procedure di geocoding dei dati sugli impianti rinnovabili presenti nel territorio e resi disponibili in formato open (EnergyMap.info) ^[58].

In secondo luogo lo strumento ricava la domanda e la produzione energetica con un profilo necessario allo sviluppo dello strumento, basato sulla ottimizzazione della domanda energetica elettrica e la produzione da PV. La domanda energetica è stimata tramite procedure statistiche, utilizzando i dati di consumo orario disponibili in formato aperto a vari gradi di aggregazione spaziale ^[59] e, per specificare la domanda a scala sub urbana, dei *Open Standardised Load Profiles* per diversi tipi d’uso di edifici ^[60], da combinare con il modello urbano prima definito. La produzione dei sistemi PV è stata definita su base oraria per ogni impianto presente nel modello urbano sulla base dei dati metereologici locali, mentre per quella eolica è stata adottata un procedura semplificata ^[61] basata sulle curve di produzione delle turbine e le frequenze delle velocità del venti.

La terza parte dello strumento contiene gli algoritmi per definire scenari di auto consumo locali, considerando diverse tecnologie di sistemi PV e di accumuli, ottimizzando la taglia degli impianti e dei sistemi di accumulo energetico sulla base di criteri energetici o economici.

Infine lo strumento GIS permette la visualizzazione e la condivisione degli stati conoscitivi (WebGIS) e l’uso dello strumento per le attività di UES.

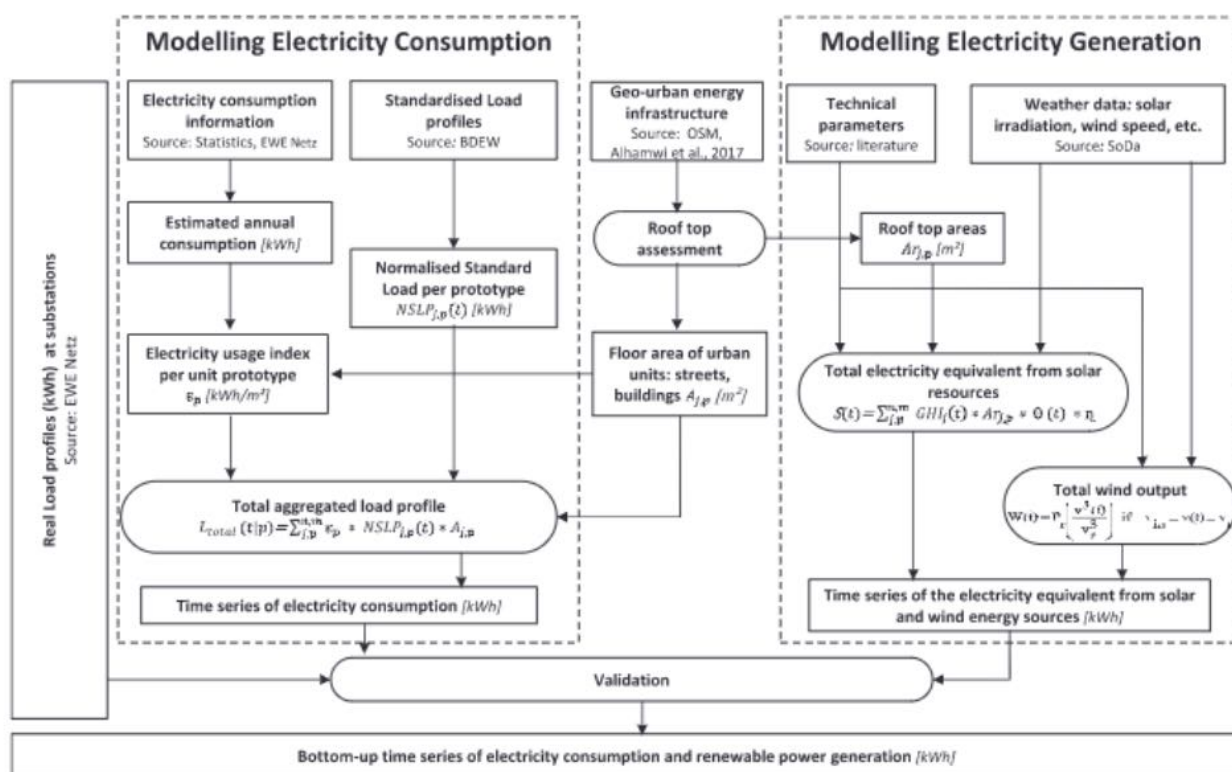


Figura 2.27. Procedura per la definizione della domanda oraria e della produzione da sistemi PV (tratta da [54]).

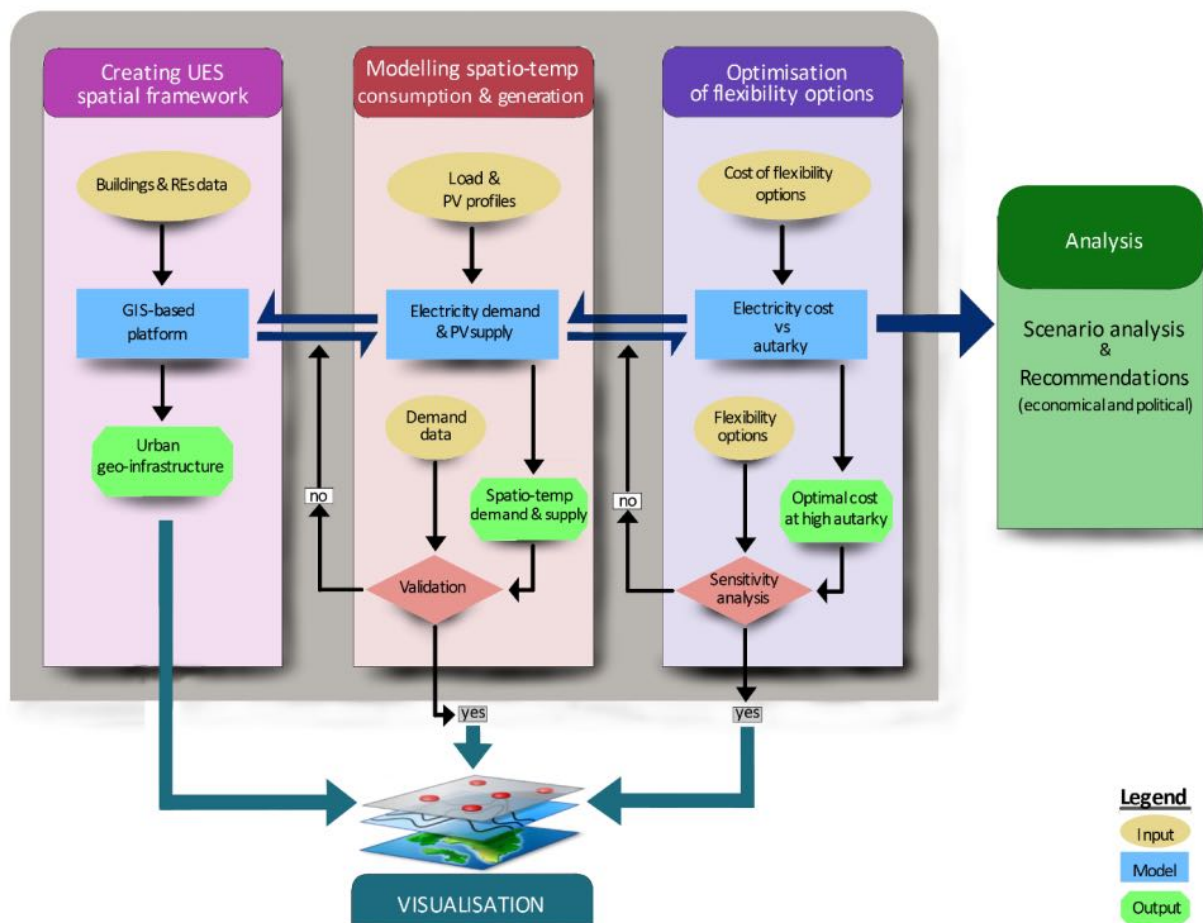


Figura 2.28. Struttura di FlexiGIS (tratta da [54]).

FlexiGIS (2016 – 2019)

1_Obiettivi e finalità della modellazione			
Finalità del calcolo energetico		Obiettivi generali dello strumento	
x	Domanda energetica		Progetto infrastrutture energetiche
	Simulazione del fabbisogno	x	Valutazione scenari (urbani di quartiere)
	Misto	x	Studio potenziale (solare termico e fotovoltaico)
			Supporto alla Decisione
		x	Partecipazione e sensibilizzazione

2_Dati di ingresso								
Clima		Geometrie		Altri dati spaziali		Consumi		Rilievo specifico
	Semi stazionario	x	Footprint (Lod 0)	x	Impianti	x	Aggregati	Audit speditivi
x	Dinamico	x	CityBOX (Lod 1)		Utenti		Servizi urbani	Audit dettaglio
x	Regionale		LOD 2		Microclima indoor		Campione	Rilievo urbano
	Urbano		LOD 3		Ristrutturazioni		....	Sensori
	Micro clima		LOD 4					LiDAR
	No		LOD 5					Sensori ambientali
			no					Questionari

3_Dimensione spaziale		
Scale obiettivo	Scale dei dati input	Livello di scala
		zona termica o stanza
		unità immobiliare, o livello
	X (impianti fer)	edificio o corpo di fabbrica
x		isolato o gruppo di edifici
x	X (dati statistici edifici)	quartiere o parte ampia di città (raster o schematico)
x		intera città o l'interno patrimonio edilizio del comune (raster o schematico)
x		scale territoriali (area metropolitana, province, ...) (raster o schematico)
		scale non urbane (regionale, Nazionale,...) (raster o schematico)

4_Approccio tipologico			
Classificazione		Caratterizzazione	Assegnazione
	Manuale, conoscenza esperta	Clima	Nessuna (statistiche nazionali)
x	Analisi statistica Semplice	Geometria del contesto	Manuale su ogni edificio
	Analisi statistica complesse (ACP, Cluster,...)	Geometrie dell'edificio	x Parametri semplici (area utile, volumi, ..)
	...	x Involucro (coperture, muri, infissi, base, ..)	Semplici metodologie statistiche (tipi edilizi, anno costruzione,)
		x Impianti	Complesse metodologie statistiche
		Fattore umano: impianti	
		Fattore umano: presenza	
		Fattore umano: finestre	
		X Consumi (simulazione)	

5_Modello di calcolo termico						
Step temporale		Contesto		Approccio modellazione		Scala simulazione
	Sim. Semi stazionario	x	Nessuna valutazione		Analitico semplificato	x Archetipo
x	Sim. orario		Per archetipo		Analitico completo	Campione
			Semplificato urbano	x	Statistica (semplice)	Popolazione
			Dettagliato urbano		Mista	Totalmente simulato modello semplificato
						Totalmente simulato modello dettagliato

6_Struttura dello strumento					
Interoperabilità		UBEM GUI		Altre GUI	
x	GIS		Unione di altri software	x	Visualizzazione e comunicazione
	BIM		GUI impostazione archetipi		Supporto alla decisione (SDSS)
x	WEB		GUI per dati di input su GIS	x	Creazione e valutazione scenari (fotovoltaici)
			GUI per i risultati su GIS	x	Strumenti partecipativi
		x	GUI complessiva sul WEB		

2.16 Caso 16 - E-City (2018)

Amado ed altri ^[62] hanno sviluppato una piattaforma web “E-City” ^[63] pensata per integrare i dati generalmente disponibili nei sistemi informativi delle amministrazioni comunali portoghesi, per supportare la pianificazione energetica alla scala urbana e di quartiere. Si tratta di un approccio top down per definire un UBEM semplificato orientato a supportare la fase conoscitiva dei processi complessi di pianificazione urbana (figura 2.30). Lo strumento punta a sviluppare uno zoning energetico della città, orientato all’equilibrio tra domanda e produzione (fotovoltaica) energetica tra diverse celle del territorio urbano. L’utilizzo di dati disponibili su tutto il territorio portoghese e di procedure e strumenti semplici, porta a suggerire un uso estensivo di questa metodologia di zoning in tutte le città della nazione e anche, più in generale, del contesto europeo. Le celle sono state definite coincidenti con l’unità spaziale minima per la quale sono note le informazioni statistiche su edifici e popolazione ed attività (sezioni censuarie). Alla fine della analisi le celle possono risultare energeticamente negative, positive o neutre indirizzando le azioni di pianificazione energetica urbana.

La produzione energetica fotovoltaica è stimata sulla base del potenziale solare della cella urbana ricavata, che considera la morfologia urbana, l’irraggiamento locale, e le superfici disponibili ^[64] sviluppabili tramite diversi tipi di strumenti. La domanda energetica e le emissioni di CO₂ sono stimate sulla base dei dati contenuti nelle aree urbane considerate: età degli edifici, densità di popolazione, morfologia urbana, uso del suolo ^[65]. La metodologia di stima delle emissioni e della domanda della zona adotta una semplice ripartizione statistica dei dati noti con una aggregazione a scala maggiore, sulla base dei consumi energetici procapite medi (GAS, elettricità) ^[66] e sulle emissioni medie per tipo di attività ^[67].

Le celle sono classificate in base alla loro intensità d’uso energetica (negativa, positiva, neutra) ottenuta equilibrando la domanda con il potenziale fotovoltaico presente o di progetto (figura 2.29), tali informazioni sono poi utilizzate per rappresentare e simulare scenari di sviluppo e diffusione di tecnologie solari alla scala della singola cella urbana.

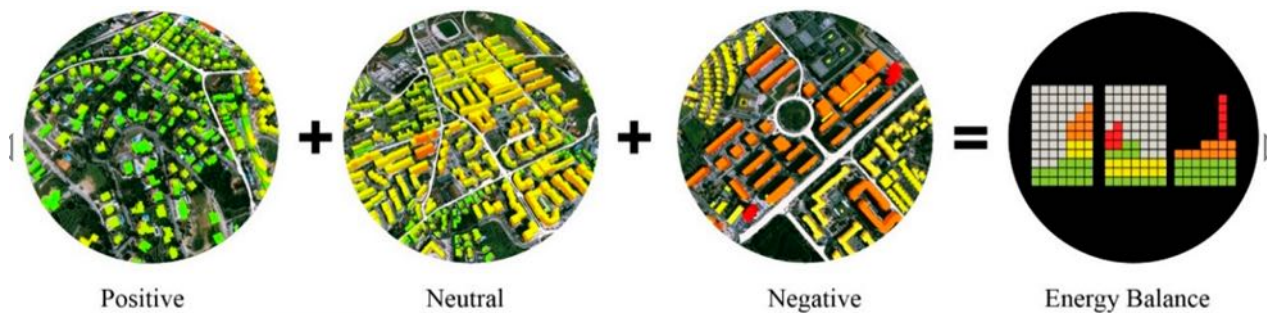
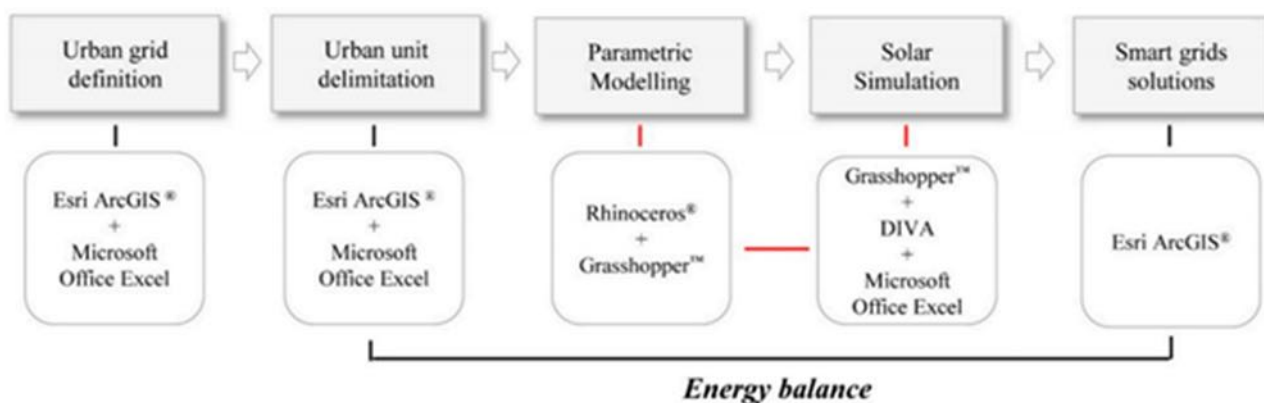


Figura 2.29. Rappresentazione spaziale della intensità energetica (tratto da [65]).

		Period of Construction	years	
		Resident Population	N°	
		Buildings Block and Street Pattern	Orthogonal	
			Warped Parallel	
			Organic	
			Linear and Loops	
		Residential Building Types	Multifamily low-mid-high rise	
			Single family attached—detached	
		Roof Typology	Pitched	
			Flat	
		Zoning	Residential	Parks and Recreation
			Commercial	Service
			Industrial	Public facility
		Land-Use Coverage System	Buildings covered area	
			Open space area	
			Street covered area	

Esempio di celle urbane e dei dati contenuti



Procedura adottata



Esempio di scenario elaborato per cella

Figura 2.30. Schema esplicativo progetto E-City (elaborata da [62]).

2.17 E-City (2018)

1_Obiettivi e finalità della modellazione					
Finalità del calcolo energetico			Obiettivi generali dello strumento		
	Domanda energetica			Progetto infrastrutture energetiche	
x	Simulazione del fabbisogno		x	Valutazione scenari (urbani di quartiere)	
	Misto			Studio potenziale (solare termico e fotovoltaico)	
				Supporto alla Decisione	
			x	Partecipazione e sensibilizzazione (visualizzazione consumi)	

2_Dati di ingresso								
Clima		Geometrie		Altri dati spaziali		Consumi		Rilievo specifico
x	Semi stazionario		Footprint (Lod 0)	x	Impianti	x	Aggregati	Audit speditivi
	Dinamico	x	CityBOX (Lod 1)		Utenti		Servizi urbani	Audit dettaglio
	Regionale		LOD 2		Microclima indoor		Campione	x Rilievo urbano
	Urbano		LOD 3		Ristrutturazioni		....	Sensori
	Micro clima		LOD 4					LiDAR
	No		LOD 5					Sensori ambientali
			no					Questionari

3_Dimensione spaziale		
Scale obiettivo	Scale dei dati input	Livello di scala
		zona termica o stanza
		unità immobiliare, o livello
	X (tipologia)	edificio o corpo di fabbrica
x	X (dati statistici edifici)	isolato o gruppo di edifici
x	X (consumi da reti urbane)	quartiere o parte ampia di città (raster o schematico)
x		intera città o l'interno patrimonio edilizio del comune (raster o schematico)
		scale territoriali (area metropolitana, province, ...) (raster o schematico)
		scale non urbane (regionale, Nazionale,...) (raster o schematico)

4_Approccio tipologico				
Classificazione		Caratterizzazione		Assegnazione
	Manuale, conoscenza esperta		Clima	Nessuna (statistiche nazionali)
x	Analisi statistica Semplice		Geometria del contesto	Manuale su ogni edificio
	Analisi statistica complesse (ACP, Cluster,...)		Geometrie dell'edificio	x Parametri semplici (area utile, volumi, ..)
	...	x	Involucro (coperture, muri, infissi, base, ...)	Semplici metodologie statistiche (tipi edilizi, anno costruzione,)
		x	Impianti	Complesse metodologie statistiche
			Fattore umano: impianti	
			Fattore umano: presenza	
			Fattore umano: finestre	
			Consumi	

5_Modello di calcolo termico					
Step temporale		Contesto		Approccio modellazione	Scala simulazione
x	Sim. Semi stazionario	x	Nessuna valutazione	Analitico semplificato	x Archetipo
	Sim. orario		Per archetipo	Analitico completo	Campione
			Semplificato urbano	x Statistica (semplice)	Popolazione
			Dettagliato urbano	Mista	Totalmente simulato modello semplificato
					Totalmente simulato modello dettagliato

6_Struttura dello strumento					
Interoperabilità		UBEM GUI		Altre GUI	
x	GIS		Unione di altri software	x	Visualizzazione e comunicazione
	BIM		GUI impostazione archetipi		Supporto alla decisione (SDSS)
x	WEB		GUI per dati di input su GIS		Creazione e valutazione scenari
			GUI per i risultati su GIS	x	Strumenti partecipativi
		x	GUI complessiva sul WEB		

2.18 Caso 17 – MUSIC (2015)

Nouvel ed altri [68] hanno sviluppato, nell'ambito del progetto Europeo MUSIC [69], una metodologia sulla combinazione di due approcci UBEM, uno di tipo statistico e l'altro analitico simulativo, articolati su diverse scale spaziali definite sulla base dei dati disponibili. Lo strumento è stato testato in nel quartiere Bospolder – Rotterdam (Netherlands), che comprende circa 1000 edifici. L'approccio si basa sulla considerazione che i modelli statistici sono più affidabili rispetto a quelli analitici, ma che, oltre a essere difficilmente utilizzabili per prevedere gli effetti delle azioni di retrofit energetico, utilizzano come base i dati sui consumi che spesso non sono noti con un adeguato dettaglio spaziale. Si adotta un approccio statistico per creare un modello del fabbisogno energetico urbano fino al livello massimo di dettaglio che possono offrire i dati di consumo noti da fonti ufficiali e completi per tutto il territorio, ossia, nel caso in oggetto, il quartiere. A questa scala si possono ottenere dei modelli stimativi molto precisi dello stato attuale dei consumi energetici, creando un layer informativo utile alla pianificazione strategica urbana, in quanto permette di identificare i luoghi con maggiori criticità e/o di maggiore interesse. Per alcuni quartieri poi si sviluppa un modello ingegneristico, che potrà essere calibrato sui consumi aggregati del quartiere stimati dal modello statistico e validato alla scala del singolo edificio tramite dati misurati. Il modello, rappresentativo del sistema energetico del patrimonio edilizio, può essere usato per effettuare valutazioni di scenari più complessi per il quartiere.

Il modello statistico [70], basato su una regressione multilineare, è utilizzato per specificare spazialmente i dati consumo noti a scale diverse. I dati minimi necessari al modello sono perciò:

- un data base con i dati di consumo annui (o con minore step temporale), con il massimo dettaglio spaziale disponibile per tutto il centro urbano e per tutte le serie temporali considerate;
- un DB con alcuni indicatori riferiti alle caratteristiche del patrimonio edilizio, che influenzano il fabbisogno energetico, avente dettaglio spaziale pari o superiore a quello dei dati di consumo;
- un eventuale set di dati di consumo misurati in maniera diretta a diverse scale al fine di permettere procedure di calibrazione validazione del modello.

Il modello analitico sviluppato per il caso di Bospolder è basato su un motore di calcolo semi stazionario, impostato sulla base della normativa interazionale (ISO 13790) e integrato nella piattaforma per la simulazione energetica urbana SimStad [71]. SimStad è una piattaforma che integra diversi software capace di supportare nella creazione e nella gestione di modelli geometrici urbani (GML lod 0-1-2-3-4), per la simulazione energetica, con procedure di correzione topologica delle geometrie, e per la simulazione di scenari di efficientamento⁷².

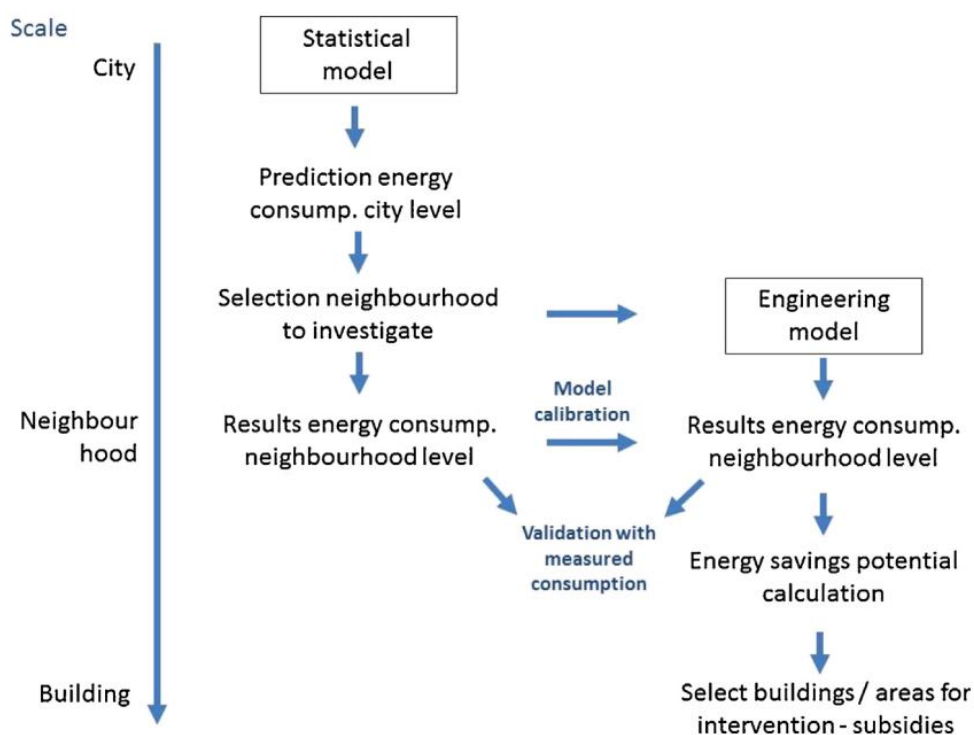


Figura 2.31. Schema metodologia ed integrazione dei due approcci (tratto da [68]).

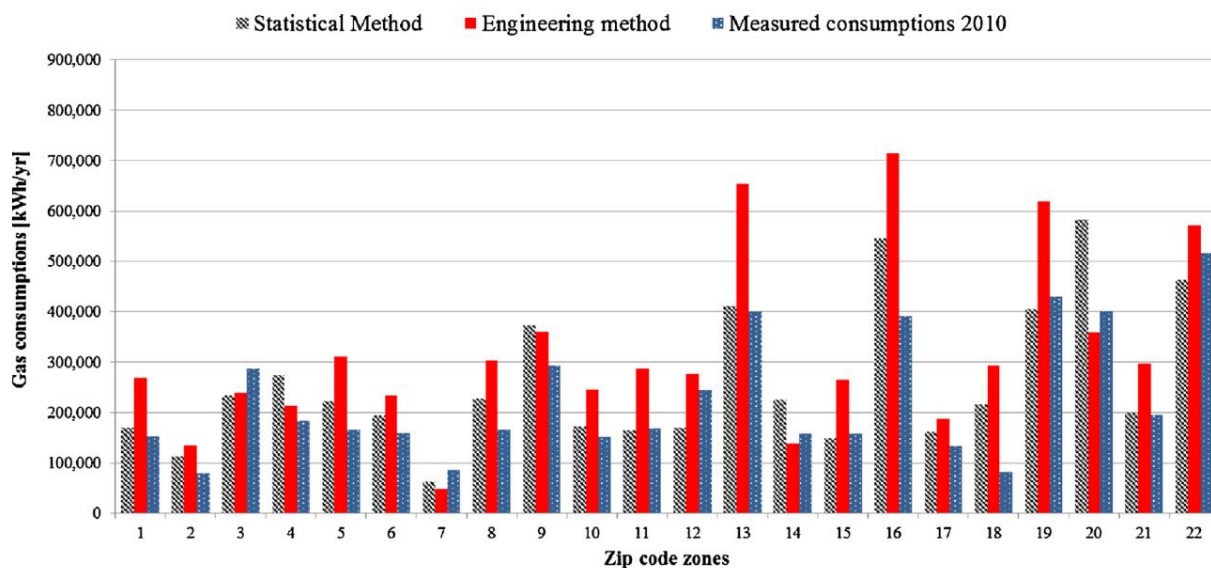


Figura 2.32. Confronto tra il fabbisogno annuo di consumo di gas stimato con i diversi metodi per codici di avviamento postale di Rotterdam (tratto da [68]).

MUSIC (2015)

1_Obiettivi e finalità della modellazione			
Finalità del calcolo energetico		Obiettivi generali dello strumento	
x	Domanda energetica		Progetto infrastrutture energetiche
x	Simulazione del fabbisogno	x	Valutazione scenari (urbani di quartiere)
	Misto		Studio potenziale (solare termico e fotovoltaico)
			Supporto alla Decisione
		x	Partecipazione e sensibilizzazione

2_Dati di ingresso								
Clima		Geometrie		Altri dati spaziali		Consumi		Rilievo specifico
	Semi stazionario	x	Footprint (Lod 0)	x	Impianti	x	Aggregati	Audit speditivi
x	Dinamico		CityBOX (Lod 1)		Utenti		Servizi urbani	Audit dettaglio
	Regionale		LOD 2		Microclima indoor		Campione	Rilievo urbano
	Urbano		LOD 3		Ristrutturazioni		....	Sensori
	Micro clima		LOD 4					LiDAR
	No		LOD 5					Sensori ambientali
			no					Questionari

3_Dimensione spaziale		
Scale obiettivo	Scale dei dati input	Livello di scala
		zona termica o stanza
		unità immobiliare, o livello
x	X (tipologia)	edificio o corpo di fabbrica
x	X (dati statistici edifici)	isolato o gruppo di edifici
x	X (consumi da reti urbane)	quartiere o parte ampia di città (raster o schematico)
x		intera città o l'intero patrimonio edilizio del comune (raster o schematico)
		scale territoriali (area metropolitana, province, ...) (raster o schematico)
		scale non urbane (regionale, Nazionale,...) (raster o schematico)

4_Approccio tipologico			
Classificazione		Caratterizzazione	Assegnazione
	Manuale, conoscenza esperta	Clima	Nessuna (statistiche nazionali)
x	Analisi statistica Semplice	Geometria del contesto	Manuale su ogni edificio
	Analisi statistica complesse (ACP, Cluster,...)	Geometrie dell'edificio	x Parametri semplici (area utile, volumi, ..)
	...	x Involucro (coperture, muri, infissi, base, ..)	x Semplici metodologie statistiche (tipi edilizi, anno costruzione,)
		x Impianti	Complesse metodologie statistiche
		Fattore umano: impianti	
		Fattore umano: presenza	
		Fattore umano: finestre	
		x Consumi	

5_Modello di calcolo termico					
Step temporale		Contesto		Approccio modellazione	Scala simulazione
	Sim. Semi stazionario		Nessuna valutazione	Analitico semplificato	x Archetipo
x	Sim. orario		Per archetipo	Analitico completo	Campione
			Semplificato urbano	x Statistica (semplice)	Popolazione
		x	Dettagliato urbano	x Mista	Totalmente simulato modello semplificato
					x Totalmente simulato modello dettagliato

6_Struttura dello strumento					
Interoperabilità		UBEM GUI		Altre GUI	
x	GIS	x	Unione di altri software	x	Visualizzazione e comunicazione
	BIM		GUI impostazione archetipi	x	Supporto alla decisione (SDSS)
x	WEB	x	GUI per dati di input su GIS	x	Creazione e valutazione scenari
			GUI per i risultati su GIS		Strumenti partecipativi
			GUI complessiva sul WEB		

2.19 Caso 18 – Torabi Moghadam S. ed altri (2017-2019)

Torabi Moghadam ed altri ^[73] ^[74] hanno sviluppato una metodologia di UBEM che combina un approccio statistico ^[75] con una simulazione dinamica effettuata per ogni edificio ^[76], che viene poi utilizzato per sviluppare un SDSS, per supportare gli stakeholders locali nello studio e nella valutazione di diverse strategie di retrofit a scala urbana ^[77]. L'approccio è stato sviluppato nel caso studio di Settimo Torinese, centro di circa 47000 abitanti dell'area Metropolitana di Torino (IT), considerato come esempio di città di media dimensione con limitata disponibilità di dati di base e di risorse. Il sistema GIS (ESRI ARcMap) è l'ambiente principale utilizzato per conservare e gestire i dati di base e permette lo scambio di dati tra diversi altri software utilizzati per parti specifiche della metodologia (Figura 2.34).

I dati di ingresso geometrici sono la mappa urbana della footprint degli edifici, i dati tipologici di impianti e strutture, che sono stati estratti dagli abachi del progetto TABULA, e la tipologia d'uso degli edifici, ricavata dai dati censuari ISTAT (CPA 2011). A questi dati di input si aggiungono le bollette (stagioni 2014-2015) fornite per ogni edificio dalla autorità locale di gestione della rete urbana di teleriscaldamento, che comprende anche alcune informazioni sul tipo di impianti presenti per la produzione di ACS e per il riscaldamento.

La metodologia sviluppa un approccio statistico basato su una robusta Regressione Multilineare (MLR), basato su un campione di 290 edifici, per i quali sono stati recuperati e accoppiati, spazialmente al corpo di fabbrica, i dati di consumo energetici. La variabile obiettivo è appunto il consumo energetico, mentre le variabili note sono un mix di caratteristiche ricavate per ogni edificio tramite procedure di geo processing e assegnazione diretta, integrando diverse fonti di dati (figura 2.35). La MLR così impostata è utilizzata per stimare il fabbisogno energetico di tutta la città di Settimo Torinese (circa 3600 edifici residenziali), essa è effettuata al di fuori dell'ambiente GIS tramite SPSS Rapid Miner, mentre i risultati sono nuovamente riportati in un data base spaziale, che da origine a mappe GIS utilizzate per comunicare i risultati.

La debolezza insita nei modelli statistici è la difficoltà di simulare le ipotesi retrofit in mancanza di serie affidabili di dati di base, perciò si è provveduto a integrare la metodologia tramite un approccio deterministico capace di simulare diverse strategie di retrofit per ogni edificio. Il modello è basato su un motore di calcolo energetico dinamico e le interfacce di CitySIM. CitySIM richiede dati geometrici di ingresso in DXF che sono stati ricavati trattando il DB geografico con strumenti di 3D modelling di Rhinoceros, mentre le caratteristiche fisiche di ingresso (strutture e impianti) necessarie alla simulazione sono state impostate tramite una procedura, sviluppata appositamente e basata sugli abachi di TABULA, e una ripartizione degli ambiti urbani, basata su cerchi concentrici di passo fisso dal centro storico. I risultati sono poi nuovamente visualizzati su base spaziale, confrontati e calibrati sulla base dei valori complessivi di consumo energetico della rete di teleriscaldamento urbano.

Data	Raw data	unite	Source of information
Dispersing Surface	Floor area	m^2	Cartography
	Perimeter		Cartography
	Height		Derived
	Contiguity		Derived
Net floor Area	Gross floor area	m^2	Cartography
	Gross/net ratio		Normative
Height	Number of floors	m	Cartography
	Floor height		Literature
Heated Volumes	Net floor area	m^3	Derived
	Net floor height		Derived
Number of floors	–	number	Cartography
Perimeter	–	m	Cartography
Building shape factor	Net floor area	m^{-1}	Derived
	Net floor height		
	Gross floor area		
	Gross/net ratio		
Roof type	–	–	Google earth/In-situ analysis
Period of construction	–	–	ISTAT national census
Temperature	Typical meteorological	$^{\circ}C$	ARPA
Building occupation ratio	Occupied buildings	%	ISTAT national census
	Empty buildings		ISTAT national census
Ground floor type	–	–	Cartography
Installed power	–	kW	DH Company

Figura 2.33. Dati utilizzati per la MLR e loro fonte (tratto da [75]).

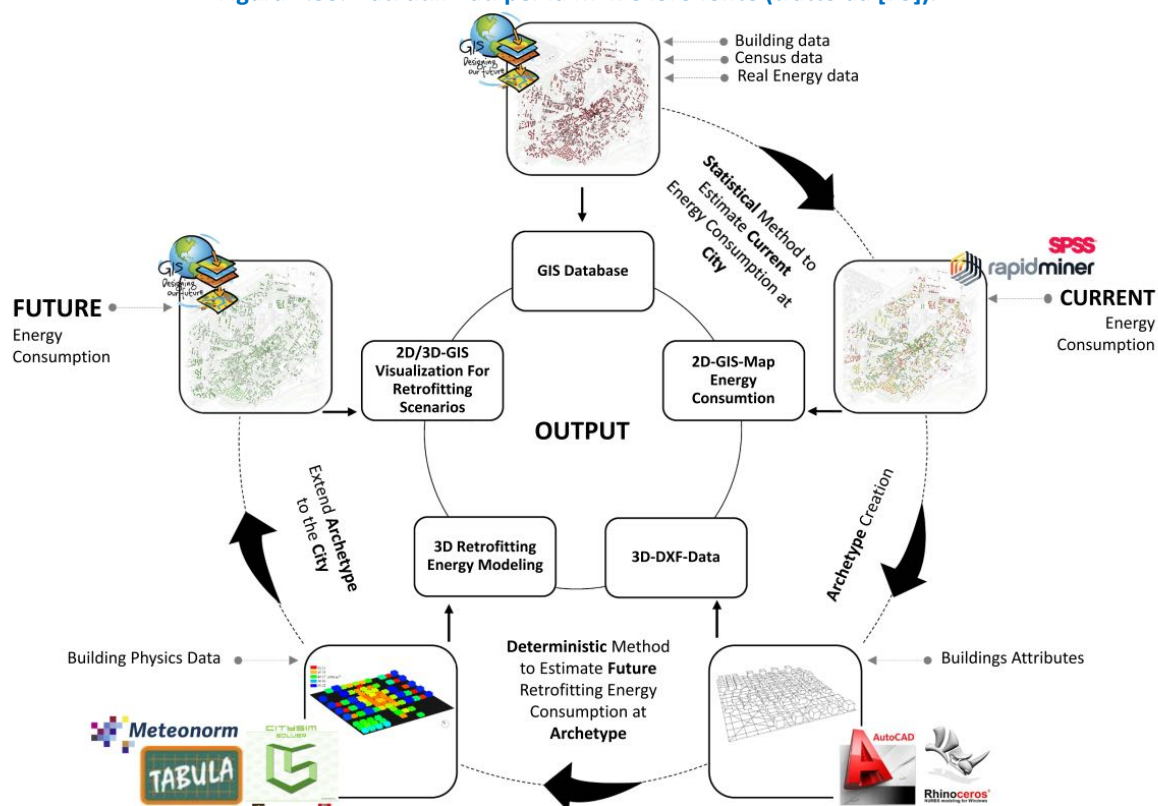


Figura 2.34. Schema della metodologia (tratto da [74]).

Torabi Moghadam S. ed altri (2017 -2019)

1_Obiettivi e finalità della modellazione			
Finalità del calcolo energetico		Obiettivi generali dello strumento	
	Domanda energetica		Progetto infrastrutture energetiche
x	Simulazione del fabbisogno	x	Valutazione scenari (urbani di quartiere)
	Misto		Studio potenziale (solare termico e fotovoltaico)
		x	Supporto alla Decisione
		x	Partecipazione e sensibilizzazione

2_Dati di ingresso							
Clima		Geometrie		Altri dati spaziali		Consumi	
	Semi stazionario	x	Footprint (Lod 0)		Impianti	x	Aggregati
x	Dinamico	x	CityBOX (Lod 1)		Utenti		Servizi urbani
	Regionale		LOD 2		Microclima indoor		Campione
	Urbano		LOD 3		Ristrutturazioni		....
	Micro clima		LOD 4				LiDAR
	No		LOD 5				Sensori ambientali
			no				Questionari

3_Dimensione spaziale		
Scale obiettivo	Scale dei dati input	Livello di scala
		zona termica o stanza
		unità immobiliare, o livello
x	X (tipologia)	edificio o corpo di fabbrica
x	X (dati statistici edifici)	isolato o gruppo di edifici
x	X (consumi da reti urbane)	quartiere o parte ampia di città (raster o schematico)
x		intera città o l'interno patrimonio edilizio del comune (raster o schematico)
		scale territoriali (area metropolitana, province, ...) (raster o schematico)
		scale non urbane (regionale, Nazionale,...) (raster o schematico)

4_Approccio tipologico			
Classificazione		Caratterizzazione	Assegnazione
	Manuale, conoscenza esperta	Clima	Nessuna (statistiche nazionali)
x	Analisi statistica Semplice	Geometria del contesto	Manuale su ogni edificio
	Analisi statistica complesse (ACP, Cluster,...)	Geometrie dell'edificio	x Parametri semplici (area utile, volumi, ..)
	...	x Involucro (coperture, muri, infissi, base, ..)	x Semplici metodologie statistiche (tipi edilizi, anno costruzione,)
		x Impianti	Complesse metodologie statistiche
		Fattore umano: impianti	
		Fattore umano: presenza	
		Fattore umano: finestre	
		x Consumi	

5_Modello di calcolo termico					
Step temporale		Contesto		Approccio modellazione	Scala simulazione
	Sim. Semi stazionario		Nessuna valutazione		x Archetipo
x	Sim. orario		Per archetipo	x Analitico completo	Campione
			Semplificato urbano	x Statistica (MLR)	Popolazione
		x	Dettagliato urbano	x Mista	Totalmente simulato modello semplificato
					x Totalmente simulato modello dettagliato

6_Struttura dello strumento					
Interoperabilità		UBEM GUI		Altre GUI	
x	GIS	x	Unione di altri software	x	Visualizzazione e comunicazione
	BIM		GUI impostazione archetipi	x	Supporto alla decisione (SDSS)
x	WEB	x	GUI per dati di input su GIS	x	Creazione e valutazione scenari
			GUI per i risultati su GIS		Strumenti partecipativi
			GUI complessiva sul WEB		

3. Bibliografia

- [1] Mark Rylatt, Stuart Gadsden, Kevin Lomas (2001); *GIS-based decision support for solar energy planning in urban environments*; Computers Environment and Urban Systems 25 (2001) 579-603
- [2] Stuart Gadsden, Mark Rylatt, Kevin Lomas, Darren Robinson; *Predicting the urban solar fraction: a methodology for energy advisers and planners based on GIS*; Energy and Buildings 35 (2003) 37-48
- [3] Stuart Gadsden, Mark Rylatt, Kevin Lomas; *Putting solar energy on the urban map: a new GIS-based approach for dwellings*; Solar Energy 74 (2003) 397-407
- [4] Gadsden, S., Rylatt, M., Lomas, K., Robinson, D; *Energy efficiency and solar energy in urban planning: a GIS-based decision support prototype for the domestic sector*; Proceeding of PLEA 2000, Cambridge, UK, pp. 672-677.
- [5] <https://www.bre.co.uk/page.jsp?id=3176>
- [6] D. Robinson, N. Campbell, W. Gaiser, K. Kabel, A. Le-Mouel, N. Morel, J. Page, S. Stankovic, A. Stone; *SUNtool – A new modelling paradigm for simulating and optimising urban sustainability*; Solar Energy 81 (2007) 1196-1211
- [7] Robinson, D., Stone, A., 2005. *A simplified radiosity algorithm for general urban radiation exchange*. Building Services Engineering Research and Technology 26 (4), 271-284.
- [8] De'que', F., Olivier, F., Poblador, A.M., 2000. Grey boxes used to represent buildings with a minimum number of geometric and thermal parameters. Energy and Buildings 31 (1), 29-35
- [9] Page, J., Robinson, D., Morel, N., Scartezzini, J.-L. (2007), *A generalised stochastic model for the prediction of occupant presence*, Energy and Buildings, 40(2) p83-98.
- [10] Darren Robinson (2009), Haldi, F, Kämpf, J., Leroux, P., Perez, D., Rasheed, A., Wilke, U (2009); *CitySim: comprehensive micro-simulation of resource flows for sustainable urban planning*; Building Simulation Eleventh International IBPSA Conference, Glasgow, Scotland July 27-30, 2009
- [11] D. Robinson (2009), F. Haldi, J. Kämpf, P. Leroux, D. Perez, A. Rasheed and U. Wilke (2009); *From the neighbourhood to the city : resource flow modelling for urban sustainability*. CISBAT 2009, Lausanne, September 2-3
- [12] Rasheed A. and Robinson D. (2009) *MULTISCALE MODELLING OF URBAN CLIMATE*. Eleventh International IBPSA Conference, Glasgow, Scotland, July 27-30, 2009.
- [13] Robinson, D., Stone, A. (2006), *Internal illumination prediction based on a simplified radiosity algorithm*, Solar Energy, 80(3), p 260-267
- [14] Orehounig K., Dorer V., Carmeliet J.(2013); *Sustainable energy plan for a neighborhood*; proceeding of international conference "Clean Technology for Smart Cities and Buildings" CISBAT, 2013
- [15] Cifuentes Cuéllar A.V., Kämpf J. (2013); *Urban energy simulation of a social housing neighborhood in Bogotá, Colombia*; proceeding of international conference "Clean Technology for Smart Cities and Buildings" CISBAT, 2013
- [16] <http://www.simstadt.eu/en/publications.jsp>
- [17] <https://areeweb.polito.it/ricerca/episcopo/tabula/>
- [18] Corrado V., Corgnati S. P., Ilaria Ballarini I. (2010); *l'approccio tipologico per la valutazione della prestazione energetica del parco edilizio nazionale: il progetto di ricerca tabula*; 65° Congresso Nazionale ATI – Domus de Maria (CA), 13-17 Settembre 2010
- [19] Shimoda Y., Fujii T., Morikawa T., Mizuno M., (2004); *Residential end-use energy simulation at city scale*; Building and Environment 39 (2004) 959- 967, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.01.020>

-
- [20] Shimoda Y., Asahi T., Taniguchi A., Mizuno M., (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>
- [21] Yamaguchi Y., Shimoda Y., Mizuno M. (2007); Transition to a sustainable urban energy system from a long-term perspective: Case study in a Japanese business district; *Energy and Buildings* 39 (2007) 1–12, <https://doi:10.1016/j.enbuild.2006.03.031>
- [22] Yamaguchi Y., Shimoda Y., Mizuno M, (2007); Proposal of a modeling approach considering urban form for evaluation of city level energy management; *Energy and Buildings* 39 (2007) 580–592, <https://doi:10.1016/j.enbuild.2006.09.011>
- [23] Domenico Enrico Massimo, Antonino Barbalace, Daniela Boncaldo, Antonia Rita Castagnella, Maria Rosaria Giuffr , Mariangela Musolino, Roberta Plutino, Michelangela Vescio (2008); *Sostenibilit  nella conservazione urbana e strumenti GIS*; 11a Conferenza Nazionale Utenti ESRI. ItaliaGis People for People Roma, 21-22.05.2008
- [24] Guido Giulio Barelli, Alessandro Boschi, Ferruccio Doglione, Davide Biasiol; *Gis e decision support modulo di calcolo del fabbisogno energetico per la “ATC” di Torino*; Articolo estratto da: GEOforUS Geography & Technology Network, giugno 2009; www.geoforus.it
- [25] <http://www.docet.itc.cnr.it/>
- [26] Kristian Fabbri - Marco Zuppiroli (2011) *La prestazione energetica con gli strumenti GIS*; PONTE PROGETTARE ENERGIA n. 3-2011 pag 6-15, DEI tipografia del genio civile; <http://www.build.it/ponte.asp>
- [27] Dall’O’ G., Galante A., Torri M. (2012); A methodology for the energy performance classification of residential building stock on an urban scale; *Energy and Buildings* 48 (2012) 211–219; <https://doi:10.1016/j.enbuild.2012.01.034>
- [28] Girardin L., Marechal F., Dubuis M., Calame-Darbellay N., Favrat D.; EnerGis: A geographical information based system for the evaluation of integrated energy conversion systems in urban areas; *Energy* 35 (2010) 830–840; <https://doi:10.1016/j.energy.2009.08.018>
- [29] Massimiliano Condotta (2017), *Urban Energy Web*, Maggioli Editore, Collana politecnica, ISBN / EAN 8891620170 / 9788891620170
- [30] https://cached.forges.forumpa.it/assets/Speeches/11961/c03_condotta_massimiliano.pdf
- [31] Massimiliano Condotta; MarkusBiberacher; Sabine Gadocha; Andrea Mancuso; Stefano Picchio; Giovanni Borgia (2015) *Urban Energy Web. A transnational and common energy city platform for sustainability in the built environment*, Proceedings of International Conference CISBAT 2015 -Future Buildings and Districts Sustainability from Nano to Urban Scale , 975-980, 10.5075/epfl-cisbat2015-975-980
- [32] Chen Y, Hong T, Piette MA. City-scale building retrofit analysis: A case study using CityBES. *Build. Simul.* 2017, San Francisco, CA, USA; 2017
- [33] Hong T, Chen Y, Lee SH, Piette MA. CityBES: a web-based platform to support cityscale building energy efficiency. *Urban Comput* 2016, San Francisco, San Francisco, California USA; 2016
- [34] <http://citybes.lbl.gov>
- [35] Yixing Chen, Tianzhen Hong, Mary Ann Piette (2017). Automatic generation and simulation of urban building energy models based on city datasets for city-scale building retrofit analysis. *Applied Energy* 205 (2017) 323–335, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.128>
- [36] OGC. (2017). CityGML. Retrieved February 22, 2017, from <https://www.citygml.org/>
- [37] <http://cbes.lbl.gov/buildings/index>

-
- [38] Hong T, Piette MA, Chen Y, Lee SH, Taylor-Lange SC, Zhang R, et al. Commercial building energy saver: an energy retrofit analysis toolkit. *Appl Energy* 2015;159:298–309
- [39] <https://energyplus.net/>
- [40] National Renewable Energy Laboratory. OpenStudio 2017. <https://www.openstudio.net/>
- [41] <http://web.mit.edu/sustainabledesignlab/projects/umi/index.html>
- [42] Reinhart CF, Dogan T, Jakubiec JA, Rakha T, Sang A. Umi – an urban simulation environment for building energy use, daylighting and walkability. In: *Proc BS201313th conference int build performance simulation assoc*; 2013. p. 476–83
- [43] http://web.mit.edu/sustainabledesignlab/projects/BuildingUMI_Plugins/index.html
- [44] <http://web.mit.edu/sustainabledesignlab/projects.html>.
- [45] Carlos Cerezo Davila, Christoph F. Reinhart, Jamie L. Bemis (2016). Modeling Boston: A workflow for the efficient generation and maintenance of urban building energy models from existing geospatial datasets. *Energy* Volume 117, Part 1, 15 December 2016, Pages 237-250. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.057>
- [46] Sousa-Monteiro C, Cerezo C, Pina A, Ferrão P. A method for the generation of multi-detail archetype definitions: application to the city of Lisbon. In *Proceedings of International Conference CISBAT 2015: Future Buildings and Districts Sustainability from Nano to Urban Scale*, 2015 September 9-11, Lausanne, Switzerland. Available from: <https://infoscience.epfl.ch/record/213443?ln=en>
- [47] Timur Dogan, Christoph Reinhart (2017). Shoeboxer: An algorithm for abstracted rapid multi-zone urban building energy model generation and simulation, *Energy and Buildings* 140 (2017) 140–153. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.030>
- [48] <http://web.mit.edu/sustainabledesignlab/projects/QuickSimulations/index.html>
- [49] Sousa Monteiro, Costa, Pina, Santos, Ferrão (2018) ‘An urban building database (UBD) supporting a smart city information system’, *Energy and Buildings*, 158, pp 244-260
- [50] <http://web.mit.edu/sustainabledesignlab/publications.html>
- [51] Sokol Julia, Cerezo Davila Carlos, Reinhart Christoph F Validation of a Bayesian-based method for defining residential archetypes in urban building energy models. *Energy and Buildings*, Volume 134, 1 January 2017, Pages 11-24, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.050>.
- [52] Damiana Chinese, Massimiliano Condotta, Markus Biberacher. (2019) Network di ricerca transfrontaliero per la progettazione Integrata Di sistemi Energetici Efficienti in aree urbane Progetto IDEE n. ITAT 1007 Anteferma Edizioni ISBN 978-88-32050-04-2. http://www.interreg-idee.eu/wp-content/uploads/2017/09/2019_InterregIDEE_Light.pdf
- 53 <http://www.interreg-idee.eu/>
- [54] Alaa Alhamwi, Wided Medjroubi, Thomas Vogt, Carsten Agert (2017). GIS-based urban energy systems models and tools: Introducing a model for the optimisation of flexibilisation technologies in urban areas. *Applied Energy* 191 (2017) 1–9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.048>
- [55] Alaa Alhamwi, Wided Medjroubi, Thomas Vogt, Carsten Agert (2019), Development of a GIS-based platform for the allocation and optimisation of distributed storage in urban energy systems *Applied Energy* Volume 251, 1 October 2019, 113360. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113360>
- [56] Alaa Alhamwi, Wided Medjroubi, Thomas Vogt, Carsten Agert (2018), Modelling urban energy requirements using open source data and models. *Applied Energy* Volume 231, 1 December 2018, Pages 1100-1110 <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.09.164>

-
- [57] OpenStreetMap building wiki website
- [58] <http://www.energymap.info>
- [59] Fonti dal gestore del servizio elettrico della Germania del nord <https://www.ewe-netz.de/>
- [60] David Fischer, Andreas Härtla Bernhard, Wille-Haussmann (2015) Model for electric load profiles with high time resolution for German households. *Energy and Buildings*. Volume 92, 1 April 2015, Pages 170-179.
- [61] Alaa Alhamwi, David Kleinhans, Stefan Weitemeyer, Thomas Vogt (2015). Moroccan National Energy Strategy reviewed from a meteorological perspective. *Energy Strategy Reviews* Volume 6, January 2015, Pages 39-47. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2015.02.002>
- [62] Miguel Amado, Francesca Poggi, António Ribeiro Amado, Sílvia Breu (2018). E-City Web Platform: A Tool for Energy Efficiency at Urban Level. *Energies* 2018, 11, 1857; <https://doi:10.3390/en11071857>
- [63] <http://geoportal.cm-oeiras.pt/ver/ecity>
- [64] Amado, M.; Poggi, F. Solar Energy Integration in Urban Planning: GUUD Model. *Energy Procedia* 2014, 50, 277–284
- [65] Amado, M. Poggi, F.; Ribeiro Amado, A.; Breu, S. A Cellular Approach to Net-Zero Energy Cities. *Energies* 2017, 10, 1826
- [66] General Directorate of Geology and Energy. Statistics and Prices. Available online: <http://www.dgeg.gov.pt/> (accessed on 3 December 2017)
- [67] NE. Territorial Statistics (Estatísticas Territoriais). Available online: http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_unid_territorial&menuBOUI=13707095&contexto=ut&selTab=tab3 (accessed on 13 April 2015)
- [68] Romain Nouvel, Alessio Mastrucci, Ulrich Leopold, Olivier Baume, Volker Coors Ursula Eicker. (2015) Combining GIS-based statistical and engineering urban heat consumption models: Towards a new framework for multi-scale policy support. *Energy and Buildings* Volume 107, 15 November 2015, Pages 204-212. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.021>
- [69] MUSIC Project, Mitigation of CO2 emissions in urban areas: solutions for innovative cities www.themusicproject.eu
- [70] Mastrucci, A., Baume, O., Stazi, F., & Leopold, U. (2014). Estimating energy savings for the residential building stock of an entire city: A GIS-based statistical downscaling approach applied to Rotterdam. *Energy and Buildings*, 75, 358–367. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.032>.
- [71] http://www.simstadt.eu/en/3d_model.jsp
- [72] Mastrucci, A., Baume, O., Stazi, F., Salvucci, S., & Leopold, U. (2014). A GIS-based approach to estimate energy savings and indoor thermal comfort for urban housing stock retrofitting. *Proceedings of BauSIM 2014* (pp. 190–197).
- [73] Torabi Moghadam, S., Del Mastro, C., Corngati, S.P., & Lombardi, P. (2017). Urban energy planning procedure for sustainable development in the built environment: A review of available spatial approaches. *Journal of Cleaner Production*, 165, 811–827. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.142>
- [74] Torabi Moghadam, S., Lombardi, P., & Mutani, G. (2017). A mixed methodology for defining a new spatial decision analysis towards low carbon cities. *Procedia Engineering*, 198, 375–385. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.093>

-
- [75] Sara Torabi Moghadam, Jacopo Toniolo, Guglielmina Mutani, Patrizia Lombardi, A GIS-statistical approach for assessing built environment energy use at urban scale, *Sustainable Cities and Society* 37 (2018) 70–84, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.10.002>
- [76] Sara Torabi Moghadam, Silvia Coccolo, Guglielmina Mutani, Patrizia Lombardi, Jean-Louis Scartezini, Dasaraden Mauree (2019). A new clustering and visualization method to evaluate urban heat energy planning scenarios. *Cities* 88 (2019) 19–36. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.12.007>
- [77] Sara Torabi Moghadam, Patrizia Lombardi. (2018) An interactive multi-criteria spatial decision support system for energy retrofitting of building stocks using Community VIZ to support urban energy planning. *Building and Environment* 163 (2019) 106233. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106233>