



Ricerca di Sistema elettrico

Valutazione tecnico-economica delle soluzioni per l'efficienza energetica negli edifici della Pubblica Amministrazione

V. Chiesa, F. Frattini e M. Chiesa



VALUTAZIONE TECNICO-ECONOMICA DELLE SOLUZIONI PER L'EFFICIENZA ENERGETICA NEGLI EDIFICI DELLA PUBBLICA AMMINISTRAZIONE

V. Chiesa F. Frattini, M. Chiesa (Politecnico di Milano)

Settembre 2014

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2013

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia elettrica

Progetto: Risparmio di energia elettrica nel settore civile, industria e servizi

Obiettivo: Modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica per le Pubbliche Amministrazioni

Responsabile del Progetto: Gaetano Fasano, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *“Valutazione tecnico-economica delle soluzioni per l'efficienza energetica negli edifici della pubblica amministrazione”*

Responsabile scientifico ENEA: Gaetano Fasano

Responsabile scientifico POLIMI: Federico Frattini

Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	7
2.1 SOLUZIONI TECNOLOGICHE PER L'EFFICIENZA ENERGETICA NELLA PA.....	7
2.1.1 Sistemi di illuminazione efficiente.....	8
2.1.2 Sistemi di Building Automation.....	8
2.1.3 Chiusure vetrate.....	9
2.1.4 Superfici opache.....	10
2.1.5 Caldaie a condensazione.....	11
2.1.6 Pompe di calore.....	11
2.1.7 Impianti solari termici.....	12
2.1.8 Impianti di solar cooling.....	13
2.1.9 Impianti di cogenerazione.....	13
2.2 AMBITI DI APPLICAZIONE.....	14
2.2.1 Scuole.....	14
2.2.2 Ospedali.....	15
2.2.3 Impianti sportivi.....	16
2.2.4 Social Housing.....	16
2.2.5 Uffici.....	17
2.3 VALUTAZIONE DELLA SOSTENIBILITÀ ECONOMICA.....	18
2.3.1 Valutazione tecnica.....	18
2.3.2 Valutazione economica.....	18
2.3.2.1 Costo medio del kWh risparmiato o prodotto.....	20
2.3.2.2 Tempo di Pay-Back.....	22
2.4 CASI DI STUDIO PARADIGMATICI.....	24
2.4.1 Caso Scuola.....	24
2.4.2 Caso Ospedale.....	25
2.4.3 Caso Social Housing.....	25
2.5 BENEFICI POTENZIALI.....	26
2.5.1 Potenziale di risparmio.....	26
2.5.2 Potenziale di mercato.....	29
3 CONCLUSIONI.....	30
4 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	31

Sommario

Il progetto di ricerca fornisce un quadro della sostenibilità economica delle soluzioni per l'efficienza energetica negli edifici della Pubblica Amministrazione in Italia, con particolare riferimento al comparto delle Amministrazioni Pubbliche Locali. In particolare sono state analizzate 9 differenti soluzioni tecnologiche utilizzate in 5 ambiti d'applicazione rappresentativi della Pubblica Amministrazione italiana. Dall'analisi economica emerge che esiste un certo insieme di tecnologie che raggiunge la convenienza economica, tanto in presenza quanto in assenza di incentivi, tra cui i sistemi di illuminazione efficiente, i sistemi di Building Automation per la gestione automatizzata dei consumi, la cogenerazione e le pompe di calore. In particolare, per queste tecnologie la sostenibilità economica è raggiunta sia nel caso in cui la proprietà dell'edificio decida di sostituire una soluzione obsoleta con una più efficiente (sostituzione "forzata"), sia nel caso in cui l'investitore voglia realizzare un intervento di efficientamento energetico sostituendo un impianto ancora funzionante (sostituzione "volontaria"). Risultati decisamente più negativi in termini di sostenibilità economica si registrano per gli interventi sull'involucro edilizio (chiusure vetrate e superfici opache), mentre per gli interventi che riguardano l'installazione di caldaie a condensazione e di sistemi a solare termico, anche in presenza di incentivi, si hanno dei tempi di rientro dell'investimento maggiori rispetto alla soglia limite normalmente accettata dall'investitore. Lo studio inoltre contiene una valutazione dei benefici potenziali, da un punto di vista economico, energetico ed ambientale, per il complessivo sistema della Pubblica Amministrazione in Italia associati ad una diffusione su larga scala delle soluzioni di efficienza energetica considerate. Si stima che, dal punto di vista teorico, la massima diffusione delle soluzioni per l'efficienza energetica considerate in questo studio possa determinare una riduzione di circa il 17% della bolletta elettrica e di circa il 57% della bolletta termica della Pubblica Amministrazione italiana, per un risparmio complessivo di circa 2.000 milioni di € all'anno. Considerando invece un verosimile grado di penetrazione delle soluzioni per l'efficienza energetica, valutato in funzione della convenienza economica, del grado di maturità tecnologica e della percezione sia dei potenziale soggetti investitori che degli operatori del mercato, la riduzione della bolletta elettrica si attesterebbe a circa il 10%, mentre la riduzione della bolletta termica sarebbe di circa il 26%, con un risparmio complessivo di circa 900 milioni di € all'anno.

1 Introduzione

Il tema dell'efficienza energetica nella Pubblica Amministrazione ha oggi assunto, in Europa ed in Italia, una grande importanza, per effetto degli obblighi introdotti da una serie di direttive europee e per il grande livello di consumi energetici ascrivibili agli edifici della PA.

Per quanto riguarda le direttive europee, sono presenti oggi importanti prescrizioni in tema di efficienza energetica per gli edifici della PA. In particolare, le Direttive in tema di efficienza energetica che riguardano anche la Pubblica Amministrazione fanno riferimento alle Direttive sul rendimento energetico nell'edilizia (2010/31/CE) e sull'efficienza energetica (2012/27/UE).

La Direttiva 2010/31/CE del 19 Maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia (cosiddetta "EPBD 2", che supera la precedente Direttiva 2002/91/CE "EPBD"), che si pone l'ambizioso obiettivo di aumentare sensibilmente la diffusione in Europa di "edifici a energia quasi zero", dispone la compilazione di un attestato di prestazione energetica al momento della costruzione, della compravendita o della locazione di un edificio di nuova costruzione o esistente, con una validità massima di 10 anni. Essa inoltre auspica che gli Stati membri provvedano alla istituzione di sistemi di controllo indipendenti per il rilascio di tali attestati, così come per i rapporti di ispezione degli impianti di riscaldamento e condizionamento d'aria. Con riferimento particolare alla PA, la Direttiva, tra i dichiarata, auspica che la Pubblica Amministrazione espleti il suo "ruolo esemplare" in tema di prestazione energetica nell'edilizia, anche attraverso obiettivi più sfidanti fissati dai piani nazionali a riguardo per gli edifici occupati da enti pubblici. Si prevede inoltre che gli Stati Membri debbano far sì che a partire dal 2019 gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di essi siano "ad energia quasi zero". Inoltre l'attestato di prestazione energetica deve essere rilasciato agli edifici occupati da enti pubblici aventi una metratura utile totale superiore ai 500 m² (250 m² a partire dal 9 luglio 2015), e deve essere affisso in luogo chiaramente visibile. La Direttiva è stata recepita all'interno dell'ordinamento nazionale mediante il DL 4 giugno 2013, n. 63, quasi un anno oltre il limite consentito (luglio 2012).

La Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica definisce che ciascuno Stato membro deve garantire, dal 1° gennaio 2014, che il 3% della superficie coperta utile totale degli edifici riscaldati e/o raffreddati di proprietà del governo centrale e da esso occupati, sia ristrutturata ogni anno per rispettare almeno i requisiti minimi di prestazione energetica stabiliti ai sensi della Direttiva 2010/31/CE. La quota del 3% è calcolata sulla superficie coperta totale degli edifici superiore a 500 m² e tale soglia è ridotta a 250 m² a partire dal 9 luglio 2015. La Direttiva prevede inoltre che gli Stati membri provvedano affinché il governo centrale acquisti esclusivamente prodotti, servizi ed edifici ad alta efficienza energetica, nella misura in cui ciò è coerente con il rapporto costi-efficacia, la fattibilità economica, una più ampia sostenibilità, l'idoneità tecnica ed un livello sufficiente di concorrenza. La Direttiva è stata recentemente recepita in Italia mediante il D. Lgs. 4 luglio 2014, n. 102.

Oltre ai dettami previsti dalle direttive e dai relativi recepimenti sopra menzionati, un ulteriore "obbligo" in tema di efficienza energetica che ad oggi interessa la Pubblica Amministrazione fa riferimento alla nomina dell'Energy Manager, obbligatoria per i soggetti con consumi annui maggiori di 1.000 TEP, ai sensi della Legge 10/91 e s.m.i.

Oltre al quadro normativo appena delineato, il tema dell'efficienza energetica nella PA è di straordinaria attualità considerati i consumi energetici ascrivibili al settore della PA nel nostro paese. In particolare, Si stima che il consumo elettrico complessivo della Pubblica Amministrazione sia mediamente di 20-30 TWh all'anno, pari a circa l'8% del consumo elettrico nazionale, mentre il consumo termico sia complessivamente di circa 60-70 TWh, pari a circa il 10% del consumo termico nazionale.

Alla luce di questi elementi, intervenire per favorire una maggiore diffusione delle soluzioni di efficienza energetica nella PA è diventato una priorità in Italia per i seguenti motivi:

- Rispondere ai requisiti normativi, altrimenti vi è il rischio che siano attivate procedure di infrazione.
- Fare in modo che la Pubblica Amministrazione possa fungere da esempio per gli altri settori nel campo degli interventi di efficienza energetica.
- Contenere i consumi di un comparto che ha un peso sul consumo complessivo del Paese particolarmente importante, con tangibili conseguenze in termini di sostenibilità ambientale.
- Attivare un volano per la crescita economica e la creazione di nuovi posti di lavoro connessi alla realizzazione di interventi di efficienza energetica ed alla diffusione di soluzioni tecnologiche innovative.

Per innescare un processo virtuoso di sviluppo dell'efficienza energetica nella PA, è però fondamentale disporre di una conoscenza dettagliata delle tecnologie attraverso cui è possibile migliorare le performance energetiche degli edifici della PA. Ogni tecnologia infatti è caratterizzata da peculiari performance tecniche e, aspetto più importante, da un proprio profilo di sostenibilità economica, che varia al variare degli ambiti di applicazione considerati.

L'obiettivo del progetto di ricerca i cui risultati sono riassunti in questo report è stato quello di analizzare il profilo di sostenibilità economica dell'adozione delle soluzioni di efficienza energetica negli edifici della PA italiana, con particolare attenzione al caso dei Comuni. Inoltre, si è inteso fornire una quantificazione dei benefici potenziali conseguibili attraverso una capillare diffusione delle soluzioni di efficienza energetica in questo specifico ambito di applicazione, in termini di risparmi energetici ottenibili, conseguenti savings sulla bolletta energetica del paese, benefici ambientali ed, infine, in termini di ricadute economiche ed industriali sul sistema paese.

I dati ed i modelli presentati nel report sono di utilità da un lato per il policy maker, che può utilizzarli per definire un adeguato sistema di incentivazione a supporto degli interventi di efficienza energetica nella PA in grado di considerare le specificità delle tecnologie disponibili e dei diversi ambiti di applicazione, dall'altro per i dirigenti e funzionari che si occupano di efficienza energetica nella PA locale, che dispongono di uno strumento per valutare oggettivamente il profilo di sostenibilità economica e di applicabilità di differenti soluzioni per l'efficienza energetica negli edifici pubblici.

Il progetto si colloca quindi all'interno dell'area di ricerca 3 dell'Accordo di Programma, con particolare riferimento al tema dello "Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico".

2 Descrizione delle attività svolte e risultati

Lo studio affronta il tema della sostenibilità tecnico-economica delle soluzioni per l'efficienza energetica negli edifici della PA. La prima sezione dello studio fornisce un quadro delle soluzioni tecnologiche per l'efficienza energetica oggi commercialmente disponibili ed applicabili negli edifici della PA. Le caratteristiche peculiari e le principali performance energetiche ed economiche di ogni soluzione considerata sono state ricostruite e validate attraverso interviste dirette rivolte ai principali operatori attivi nel settore dell'efficienza energetica e ad una esaustiva desk research condotta sulla documentazione tecnica disponibile. Nella seconda sezione lo studio offre una segmentazione degli edifici della PA, che rappresentano gli ambiti di applicazione delle tecnologie per l'efficienza energetica in precedenza illustrate. Nello studio ci si concentra in prevalenza sugli edifici di proprietà dei Comuni (scuole, impianti sportivi, case popolari, uffici comunali), con l'eccezione degli ospedali, che costituiscono un segmento rilevante in termini di consumi, ma che sono normalmente controllati dalle Regioni attraverso le ASL. Questa sezione offre inoltre una fotografia il più possibile aggiornata dei consumi di questi edifici, che costituisce il punto di partenza fondamentale per procedere poi alla valutazione della sostenibilità economica delle soluzioni tecnologiche considerate. I risultati contenuti in questa sezione sono stati ottenuti attraverso un'analisi estensiva delle principali basi di dati pubbliche o ad accesso riservato e dalle informazioni raccolte da una serie di interviste ad un campione di soggetti coinvolti in interventi di efficienza energetica nella PA. La terza sezione contiene una valutazione della sostenibilità economica delle diverse soluzioni per l'efficienza energetica nei differenti ambiti di applicazione citati in precedenza. I risultati ottenuti sono il frutto dell'applicazione di modelli di simulazione ed analisi di scenario. A completamento dell'analisi di sostenibilità economica, nella quarta sezione sono presentati dei casi di studio paradigmatici di adozione delle soluzioni per l'efficienza energetica in edifici della PA, con l'obiettivo di illustrare in contesti concreti i ritorni e i benefici associati all'impiego di questi sistemi e fornire così uno strumento più concreto in grado di supportare ed orientare le PA nei progetti di efficienza energetica. Infine, l'ultima sezione illustra le ricadute attese per il complessivo sistema della PA in Italia associate ad una diffusione su larga scala degli interventi di efficienza energetica. Per stimare il grado di diffusione attesa delle soluzioni di efficienza energetica analizzate in questo studio, viene considerata la convenienza economica e il grado di maturità tecnologica delle differenti soluzioni, nonché la percezione degli operatori di mercato e degli utilizzatori finali che sono stati coinvolti in qualità di key informants in un panel di interviste.

2.1 Soluzioni tecnologiche per l'efficienza energetica nella PA

Lo studio analizza 9 famiglie di soluzioni tecnologiche per l'efficienza energetica, che possono innanzitutto essere classificate in funzione della destinazione d'uso all'interno dell'edificio considerato:

- Soluzioni relative ai "servizi generali", ossia tecnologie a supporto del "normale" funzionamento dell'edificio. Fanno parte di questa categoria i sistemi di illuminazione efficiente.
- Soluzioni per la "gestione dell'energia", ossia sistemi aventi lo scopo di monitorare, controllare e gestire in modo automatizzato i vettori energetici presenti nell'edificio. Fanno parte di questa categoria i cosiddetti sistemi di Building Automation.
- Soluzioni applicabili all'"involucro edilizio", ossia sistemi che permettono una razionalizzazione dei consumi energetici intervenendo sull'involucro dell'edificio. Fanno parte di questa categoria le tecnologie applicate alle chiusure vetrate ed alle superfici opache.
- Soluzioni per la "produzione efficiente di energia", ossia tecnologie per la generazione di energia, sia essa elettrica o termica, in modo più efficiente rispetto alle tecnologie tradizionali. Fanno parte di questa categoria le caldaie a condensazione, le pompe di calore, gli impianti solari termici, gli impianti di solar cooling e i sistemi di cogenerazione.

Di seguito vengono illustrate, per ciascuna famiglia di soluzioni per l'efficienza energetica, le caratteristiche peculiari, le eventuali alternative tecnologiche e le principali performance energetiche ed economiche.

2.1.1 Sistemi di illuminazione efficiente

Si tratta di tecnologie che consentono di illuminare gli spazi interni degli edifici con un consumo energetico ridotto rispetto alle tradizionali lampade a fluorescenza. È possibile distinguere tra:

- Lampade a gas, che hanno tre possibili configurazioni, ossia lampade a vapori di sodio ad alta pressione, lampade a vapori di sodio a bassa pressione e lampade ad alogenuri o ioduri metallici.
- Lampade allo stato solido, in particolare le tecnologie LED (Light Emitting Diode).

Le prestazioni dei sistemi di illuminazione artificiale possono in generale essere valutate in termini di efficienza luminosa, la cui unità di misura è il lumen su watt, e di durata, espressa in ore di funzionamento. La Tabella 1 illustra le performance tecniche e le caratteristiche economiche delle principali tecnologie di illuminazione efficiente applicabili negli edifici della PA.

Tabella 1. Caratteristiche dei sistemi di illuminazione efficiente

Tecnologia	Efficienza luminosa [lm/W]	Durata [ore]	Prezzo [€/pz]	Taglia media [W]
Fluorescenza compatta	50 - 75	6.000 – 12.000	3 - 5	[15 W]
Fluorescenza tubolare	55 - 120	12.000 - 20.000	6 - 8	[100 W, senza alimentatore]
Alogenuri o ioduri metallici	40 - 100	12.000 - 20.000	15 - 25	[100 W]
Sodio alta pressione	70 - 150	10.000 - 12.000	30 - 40	[100 W]
Sodio bassa pressione	125 - 200	10.000 - 12.000	40 - 60	[100 W]
LED	50 - 90	circa 25.000	35 – 55	[10 W]

L’indagine condotta in merito alla diffusione di queste tecnologie negli edifici della PA in Italia ci porta a ritenere che la diffusione delle lampade a gas efficienti si attesti intorno al 12%-17% e che le lampade a LED abbiano una diffusione compresa tra 7%-11%. Le tecnologie “tradizionali” a fluorescenza hanno quindi una diffusione tra il 70 e l’80% circa negli edifici della PA.

2.1.2 Sistemi di Building Automation

I sistemi di Building Automation sono dispositivi che consentono di razionalizzare l’utilizzo dell’energia in un edificio, sulla base sia della domanda espressa dalle diverse utenze, che delle condizioni ambientali interne ed esterne. Il sistema comprende una serie di apparecchiature per la misura dei consumi energetici ed alcune unità centralizzate di raccolta ed elaborazione dati, che permettono di individuare possibili anomalie ed, eventualmente, inviare dei comandi per far fronte a tali scostamenti dai parametri target. Le prestazioni energetiche di tali sistemi sono valutate in termini di tasso di risparmio energetico conseguibile. La Tabella 2 illustra le performance di risparmio e le caratteristiche economiche dei sistemi di Building Automation nel caso di applicazione in un edificio non residenziale. Gli ampi range del tasso di risparmio energetico e del prezzo della soluzione risentono dell’ “eterogeneità” che caratterizza l’ambito di applicazione, in particolare in termini di dimensioni, utenze energetiche presenti e attività svolte all’interno dell’edificio.

Tabella 2. Caratteristiche dei sistemi di Building Automation

Tipologia di edificio	Tasso di risparmio energetico [%]	Prezzo [€]
Edificio Non Residenziale (ad esempio, ufficio)	5%-20%	20.000 - 150.000

Attualmente in Italia i sistemi di Building Automation registrano un grado di diffusione molto contenuto, anche se negli ultimi anni si è verificata una notevole crescita delle installazioni, dovuta principalmente all’integrazione di tecnologie wi-fi. Si stimano oggi circa 150.000-250.000 applicazioni, di cui solo il 3% - 5% è ascrivibile agli edifici della PA. Nel complesso, quindi il tasso di diffusione dei sistemi di Building Automation negli edifici della PA è stimabile nell’ordine dell’1 - 1,5%.

2.1.3 Chiusure vetrate

Le chiusure vetrate, che rappresentano la parte trasparente e semitrasparente dell'involucro edilizio, sono essenzialmente composte da due elementi: vetro ed infisso. Esistono differenti soluzioni attualmente disponibili in commercio e caratterizzate da alti livelli di efficienza energetica, frutto della combinazione delle diverse tipologie di vetro ed infisso. In particolare, una chiusura vetrata può essere caratterizzata da tre tipologie di vetro:

- Vetro tradizionale stratificato, doppio o triplo.
- Vetro a controllo solare, che consente di ridurre i carichi termici da radiazione solare.
- Vetro basso emissivo, che riduce gli scambi radiativi con l'esterno attraverso un sottile film metallico.

Per quanto riguarda invece i materiali impiegati nella realizzazione degli infissi, è possibile distinguere tra:

- Legno.
- Polivinilcloruro (PVC).
- Metallo, essenzialmente alluminio.

Le prestazioni energetiche delle tecnologie per la realizzazione delle chiusure vetrate sono valutate in termini di trasmittanza termica, che misura la quantità di calore scambiato da un materiale o un corpo per unità di superficie e unità di differenza di temperatura. Le Tabelle 3 e 4 illustrano le performance energetiche delle differenti tipologie di vetro e di infisso, rispettivamente. La Tabella 5 contiene invece una stima dei prezzi medi delle differenti tipologie di chiusure vetrate attualmente più diffuse sul mercato.

Tabella 3. Caratteristiche dei vetri

Vetro		Trasmittanza ² [W/m K]
Tradizionali	Vetro singolo	5,0
	Doppi vetri	2,7
	Tripli vetri	1,5
Controllo solare	Riflettenti	2,5
	Selettivi	1,5
Basso emissivi	Doppi vetri	1,5
	Tripli vetri	0,5

Tabella 4. Caratteristiche dell'infisso

Infisso		Trasmittanza ² [W/m K]
Legno	Tenero	1,8
	Duro	2,2
PVC	Tre camere	2,0
	Due camere	2,2
Metallo	Con taglio termico	2,4
	Tradizionale	5,5

Tabella 5. Prezzi delle chiusure vetrate

Tipologia vetrata	Prezzo [€/anta, con dimensioni 80cm x 120 cm]
Metallo (taglio termico) – Doppio	250 – 650
Metallo (taglio termico) – Triplo	300 – 800
Metallo (taglio termico) – Controllo solare	400 – 900
Metallo (taglio termico) - Basso emissivo	500 – 1.000
Legno – Triplo	400 – 600
Legno – Doppio	350 – 500
Legno – Controllo solare	350 – 500

Legno - Basso emissivo	300 – 500
PVC – Doppio	150 – 260
PVC – Triplo	250 – 350
PVC – Controllo solare	250 – 350
PVC - Basso emissivo	250 – 350

Si stima che attualmente la quota degli edifici della PA che presentano livelli di isolamento delle chiusure vetrate superiori ai 3 W/m²K sia compresa tra il 50% e il 70%, a fronte di una media complessiva calcolata sul totale degli edifici in Italia pari a 40%-55%. Di conseguenza, si può stimare che la penetrazione delle chiusure vetrate a medio-alta efficienza nella PA in Italia si attesti tra il 30 e il 50%.

2.1.4 Superfici opache

Le superfici opache costituiscono la struttura portante dell’involucro dell’edificio e rappresentano di gran lunga la più grande superficie di scambio termico con l’ambiente esterno. Al fine di migliorarne la coibentazione e, di conseguenza, innalzare le prestazioni energetiche dell’intero edificio, esistono in commercio una serie di materiali utilizzabili per l’isolamento di queste superfici, classificabili in 4 categorie:

- Materiali organici sintetici (polistirene espanso ed estruso, poliuretano espanso, poliestere in fibre e polietilene espanso).
- Materiali organici naturali (fibra di legno, fibra di cellulosa, sughero).
- Materiali inorganici sintetici (lana di vetro, lana di roccia, vetro cellulare espanso).
- Materiali inorganici naturali (argilla espansa, perlite, vermiculite, pomice).

Le prestazioni energetiche di queste tecnologie sono valutate in termini di conduttività termica, che misura la capacità di un corpo di permettere il passaggio del calore attraverso esso. La Tabella 6 illustra le performance energetiche e le caratteristiche economiche dei differenti materiali utilizzabili per l’isolamento dell’involucro dell’edificio.

Tabella 6. Caratteristiche dei materiali per l’isolamento delle superfici opache

Categorie di materiali	Materiali ad hoc per l'isolamento	Conduttività termica [W/m K]	Costo dei pannelli per 1 cm di strato isolante [€/m ²]
Materiali isolanti organici sintetici	Polistirene espanso	0,030 - 0,045	1,5 – 3
	Polistirene estruso	0,029 - 0,040	2,2 – 4
	Poliuretano espanso	0,020 - 0,030	1,5 – 3
	Poliestere in fibra e polietilene espanso	0,035 - 0,055	1,3 – 2,1
Materiali isolanti organici naturali	Fibra di legno	0,038 - 0,045	2 – 2,5
	Fibra di cellulosa	0,037 - 0,042	1,8 – 2,5
	Sughero	0,037 - 0,050	1,4 - 2,3
Materiali isolanti inorganici naturali	Argilla espansa	0,01 - 0,03	
	Perlite	0,04 - 0,06	0,9 – 3
	Vermiculite	0,045 - 0,07	3,5 - 4,4
	Pomice	0,1	1,8 - 3,2
Materiali isolanti inorganici sintetici	Lana di vetro	0,030 – 0,050	1,2 – 3,5
	Lana di roccia	0,025 - 0,050	1,8 - 4,5
	Vetro cellulare espanso	0,038 - 0,05	1,5 - 2,6

Si stima che attualmente la quota degli edifici della PA che hanno livelli di isolamento termico della copertura, pareti e suolo superiori ai 1,5 W/mK sia compresa tra il 65% e l’80%, a fronte di un valore pari al 50%-65% se si considera l’intero parco edifici in Italia. Di conseguenza, si può stimare che la penetrazione dei materiali di isolamento a medio-alta efficienza nella PA in Italia si attesti tra il 20 e il 35%.

2.1.5 Caldaie a condensazione

La caldaia a condensazione permette di ottenere un rendimento maggiore rispetto alla caldaia tradizionale, in quanto progettata per sfruttare buona parte del calore latente contenuto nei gas di scarico, che nelle normali caldaie vengono espulsi dal camino a temperature notevoli (circa 150 °C). Le prestazioni energetiche della caldaia a condensazione sono valutate in termini di rendimento (considerando normalmente il Potere Calorifico Superiore, che tiene conto della quantità di energia estraibile dal gas metano e dal calore latente). I rendimenti delle tecnologie ad oggi disponibili variano tra il 105% e il 110% (rispetto a rendimenti compresi tra il 90% e il 93% di una caldaia tradizionale). La Tabella 7 illustra le caratteristiche economiche delle caldaie a condensazione attualmente disponibili sul mercato, in funzione delle taglie di potenza.

Tabella 7. Caratteristiche delle caldaie a condensazione

Taglia	Costo [€/kWth]
3 kWth – 30 kWth	50 – 200
31 kWth – 100 kWth	300 – 300
> 100 kWth	300 – 500

Si stima che la penetrazione delle caldaie a condensazione negli edifici della PA sia compresa tra il 10% e il 18%, a fronte di un valore complessivo calcolato sul totale degli edifici in Italia pari al 20%-30%.

2.1.6 Pompe di calore

La pompa di calore è un sistema termodinamico in grado di trasferire calore da un corpo a temperatura più bassa, detto sorgente, ad un corpo a temperature più alta, detto pozzo caldo. Possono produrre energia termica per riscaldamento ed acqua calda sanitaria, oltre che raffreddamento nel caso siano reversibili. Tali soluzioni possono essere innanzitutto suddivise in due macro-categorie, in base al loro principio di funzionamento. Si parla infatti di:

- Pompe di calore a compressione, che sono alimentate elettricamente e presentano dei costi d'installazione ridotti, ma si caratterizzano anche per una riduzione dell'efficienza, rispetto ad altre tecnologie, dovuta ad una notevole differenza di temperatura tra la fonte di calore e l'ambiente interno (thermal lift).
- Pompe di calore ad assorbimento, che sono alimentate con gas naturale e hanno una maggiore stabilità nelle prestazioni, ma hanno dei costi d'installazione maggiori.

Inoltre, all'interno delle due famiglie è possibile distinguere tra le diverse tipologie di sorgenti utilizzate, siano essa aria, acqua o terra. La Tabella 8 illustra i principali vantaggi e svantaggi per ogni tipologia di sorgente.

Tabella 8. Vantaggi e svantaggi delle sorgenti per le pompe di calore

Vantaggi	Svantaggi
Aria	
Disponibilità illimitata, praticità d'uso, bassi costi	Prestazioni incostanti, thermal lift
Acqua	
Prestazioni costanti	Disponibilità limitata, necessità prelievo/scarico
Terra	
Ottime prestazioni	Elevati costi, disponibilità limitata

Le prestazioni energetiche delle differenti tecnologie per pompe di calore sono espresse in termini di rendimento. In particolare, per le pompe di calore a compressione si parla di Coefficient Of Performance (COP) per la fase di produzione di energia termica ed Energy Efficiency Ratio (EER) per la fase di produzione di energia per raffreddamento. Per le soluzioni ad assorbimento si parla invece di Gas Utilization Efficiency (GUE). Questi indici rappresentano la capacità dell'impianto di trasformare l'energia utilizzata in lavoro. Le

Tabelle 9 e 10 illustrano le performance energetiche e le caratteristiche economiche delle pompe di calore a compressione ed assorbimento, rispettivamente.

Tabella 9. Caratteristiche della pompa di calore a compressione

Sorgente	COP	EER	Prezzo [€/kWe]
Aria	3 – 4,5	2 – 3,5	350 – 700
Acqua	4 – 5	3 – 4	400 – 750
Terra	3,9 – 4,8	2,6 – 3,5	800 – 1500

Tabella 10. Caratteristiche della pompa di calore ad assorbimento

Sorgente	GUE	Prezzo [€/kWe]
Aria	1,3 - 1,5	400 – 700
Acqua	1,4 – 1,75	480 – 750
Terra	1,4 – 1,7	950 - 1700

Si stima che ad oggi la percentuale degli edifici della PA che è dotata di pompe di calore sia nell'ordine dell'1%, a fronte di un valore pari al 2% se si considera l'intero parco edifici nazionale.

2.1.7 Impianti solari termici

Gli impianti solari termici sono dispositivi che permettono di catturare l'energia solare ed utilizzarla per produrre calore. Una prima classificazione riguarda la tecnologia utilizzata. È possibile distinguere in questo senso tra:

- Collettori scoperti, ossia tubi plastici esposti direttamente alla radiazione solare per il riscaldamento del liquido che circola al loro interno.
- Collettori piani vetrati, nei quali la radiazione viene assorbita da un collettore piano metallico e trasferita al liquido che scorre in condotti posizionati nella parte inferiore del pannello. Il vetro impedisce la dispersione della radiazione riflessa.
- Collettori sottovuoto, ossia tubazioni coperte da un materiale assorbitore e racchiuse in condotti di vetro sottovuoto.

Una seconda classificazione concerne la modalità di collegamento con gli impianti idraulici:

- Impianti a circolazione naturale, in cui la circolazione del fluido avviene grazie al processo convettivo/gravitazionale.
- Impianti a circolazione forzata, in cui un sistema di pompe garantisce la circolazione del fluido.

Infine, una terza classificazione riguarda l'utilizzo del calore generato dall'impianto. Oltre alla produzione di acqua calda sanitaria, è possibile infatti sfruttare il calore a fini di riscaldamento, qualora venisse aggiunto ed integrato all'impianto un sistema di accumulo termico.

Le prestazioni energetiche di un impianto solare termico sono valutate in termini di efficienza, espressa in termini di potenza termica estraibile dalla radiazione solare, e temperatura di funzionamento, che fornisce un'indicazione sul possibile utilizzo del calore prodotto (produzione di acqua calda sanitaria o riscaldamento). La Tabella 11 illustra le performance energetiche e le caratteristiche economiche delle differenti tecnologie di solare termico.

Tabella 11. Caratteristiche di un impianto solare termico

Tecnologia	Range temperatura funzionamento $[T_{\text{fluido}} - T_{\text{ambiente}}]$	Range Efficienza $[\text{kW}_{\text{th}} / \text{kW}_{\text{irr}}]$	Prezzo impianto per ACS $[\text{€}/\text{m}^2]$	Prezzo impianto per ACS e riscaldamento $[\text{€}/\text{m}^2]$
Collettori scoperti	0 – 30 °C	>60% per $0^\circ < \Delta t < 10^\circ\text{C}$ >40% per $10^\circ < \Delta t < 15^\circ\text{C}$ >20% per $15^\circ < \Delta t < 25^\circ\text{C}$	70 – 100	Non è possibile effettuare riscaldamento
Collettori piani vetrati	0 – 150 °C	>60% per $0^\circ < \Delta t < 45^\circ\text{C}$ >40% per $45^\circ < \Delta t < 90^\circ\text{C}$ >20% per $90^\circ < \Delta t < 125^\circ\text{C}$	350 – 450	600 – 700
Collettori sottovuoto	0 – 220 °C	>60% per $0^\circ < \Delta t < 100^\circ\text{C}$ >40% per $100^\circ < \Delta t < 160^\circ\text{C}$ >20% per $160^\circ < \Delta t < 190^\circ\text{C}$	450 – 600	700 - 850

Si stima che ad oggi, dei 2,5-3 GW di solare termico per la produzione di acqua calda sanitaria e di calore per riscaldamento attualmente presenti in Italia, circa il 10%-20% sia installato su edifici della PA. Nel complesso, la penetrazione degli impianti solari termici negli edifici della PA è stimabile nell'ordine del 3%.

2.1.8 Impianti di solar cooling

Gli impianti di solar cooling sono di recente sviluppo e permettono di sfruttare il calore dei collettori solari termici per attivare un ciclo termodinamico finalizzato al raffrescamento degli ambienti. Questi impianti possono essere classificati in base alla tipologia di produzione che li caratterizza:

- Impianti a ciclo chiuso per la produzione di acqua refrigerata mediante macchine termiche “chiller”. Si distingue in questo caso tra impianti: (i) ad assorbimento, in cui il fluido termovettore è acqua combinata con bromuro di litio, cloruro di litio o ammoniaca; (ii) ad adsorbimento, in cui il fluido termovettore è gel a base di silice o acqua e zeolite.
- Impianti a ciclo aperto per la produzione di aria condizionata, che sfruttano un processo di deumidificazione e raffreddamento evaporativo.

Attualmente l'unica tecnologia matura e commercialmente disponibile è l'impianto a ciclo chiuso ad assorbimento, di cui la Tabella 12 illustra le performance energetiche e le caratteristiche economiche.

Tabella 12. Caratteristiche del solar cooling

COP	Costo $[\text{€}/\text{kWel}]$
0,7 – 0,9	1.200 – 2.000

Si stima che ad oggi, dei 3,2 MW di impianti di solar cooling attualmente presenti in Italia, meno dell'1% sia installato su edifici della PA, dove si registrano essenzialmente impianti pilota e dimostrativi.

2.1.9 Impianti di cogenerazione

Con il termine cogenerazione si intende la produzione combinata di energia elettrica e di energia termica. Le tecnologie di cogenerazione possono avere differenti taglie, anche se per applicazioni non industriali le soluzioni presentano potenze elettriche solitamente inferiori ad 1 MW. In particolare, le tecnologie ad oggi disponibili per realizzare impianti di cogenerazione sono i motori a combustione interna, le microturbine a gas ed i motori Stirling. La Tabella 13 illustra le performance energetiche e le caratteristiche economiche di queste differenti tecnologie.

Tabella 13. Caratteristiche degli impianti di cogenerazione

	Motori a combustione interna (MCI)	Microturbine a gas	Motore Stirling
Range di taglia [MW_e]	≤ 1	≤ 0,5	0,001 – 0,2
Rendimento complessivo [%]	80% - 90%	80% - 85%	80% - 85%
Indice elettrico [E/Q]	0,6 – 0,7	0,3 – 0,6	0,4 – 0,6
Combustibile	gas, olio, diesel	gas	Tutti
Costo installazione [€/KW_e]	500 – 1300	1.300 – 1.600	800 – 1.500
Costo annuo O&M [€/KWh_e]	0,005 – 0,015	0,01 – 0,015	0,003 – 0,008
Temperatura utilizzabile (°C)	120 - 500	400 - 600	250 – 700

Si stima che attualmente in Italia gli impianti cogenerativi abbiano una potenza elettrica complessiva di circa 10-12 GW, di cui solo 0,2-0,5 GW siano ascrivibili ad applicazioni in ambiti PA. Nel complesso, quindi, il grado di penetrazione di questa tecnologia nella PA sia pari al 2%.

L’analisi condotta e riportata nei precedenti paragrafi mostra in generale un tasso di penetrazione delle tecnologie per l’efficienza energetica negli edifici della PA molto contenuta. Ciò si spiega, in primo luogo, con la difficoltà da parte delle Pubbliche Amministrazioni a reperire, internamente o dall’esterno, le risorse finanziarie necessarie per effettuare gli investimenti in efficienza energetica. D’altro canto, non sono infrequenti criticità di tipo organizzativo, che nascono tipicamente da una scarsa sensibilità da parte dei decisori nei confronti delle tematiche energetiche e che si traducono, ad esempio, nella mancanza di figure professionali che hanno le competenze e le responsabilità in materia di gestione dell’energia, quale ad esempio l’Energy Manager.

2.2 Ambiti di applicazione

Dopo aver illustrato le caratteristiche delle tecnologie per l’efficienza energetica negli edifici della PA, lo studio prende in esame una seconda dimensione di analisi, ossia gli ambiti d’applicazione. In particolare, ci si è concentrati in questo studio su 5 ambiti di applicazione, ossia scuole, ospedali, impianti sportivi, social housing e uffici comunali. Per ciascun ambito le sezioni che seguono riportano il dettaglio dei profili energetici in termini di fabbisogno elettrico e fabbisogno termico annui.

2.2.1 Scuole

Lo studio ha innanzitutto preso in esame l’insieme delle scuole di proprietà della PA, studiando in particolare come variano i consumi in funzione della superficie occupata in pianta dall’edificio, che è indicativamente collegata con il numero di studenti ospitati dalla scuola. Le Tabelle 14 e 15 illustrano rispettivamente i profili elettrici e termici annuali medi di un edificio scolastico, distinguendoli anche in funzione della loro destinazione d’uso.

Tabella 14. Consumi elettrici annuali medi di una scuola

Energia elettrica = 20 – 50 kWh/m²	
Destinazione	Quota sul consumo totale
Illuminazione	75% – 80%
Apparecchiature elettroniche (aula informatica, distributori)	15% – 20%
Ausiliari (ausiliari a sistemi di generazione e distribuzione energia termica, ascensori)	0% – 10%

Tabella 15. Consumi termici annuali medi di una scuola

Energia termica = 50 – 200 kWh/m ²	
Destinazione	Quota sul consumo totale
Riscaldamento	95% – 98%
Acqua calda sanitaria	2% – 5%

È opportuno precisare che, nel caso in cui l'edificio sia dotato di un sistema di condizionamento estivo, i consumi elettrici aumentano di circa 20 – 30 kWh/m². L'ampia forchetta che caratterizza il fabbisogno termico tiene conto delle differenti zone climatiche in cui è collocato l'edificio, dell'età di quest'ultimo e dell'orario d'apertura. Considerando l'intero parco di edifici scolastici, la Tabella 16 riporta una stima dei consumi energetici annui registrati in Italia.

Tabella 16. Consumi energetici complessivi delle scuole in Italia

Ambito	Consumo Elettrico (GWh el / anno)	Consumo Termico (GWh th / anno)	Consumo TOTALE (GWh / anno)
Scuola	3.550	11.485	15.035

2.2.2 Ospedali

Come secondo ambito di applicazione, lo studio ha preso in esame gli ospedali, comprensivi di case di cura, di proprietà della PA. Le Tabelle 17 e 18 illustrano rispettivamente i profili elettrici e termici annuali medi di un ospedale, dettagliati in termini di destinazione d'uso ed espressi in funzione della superficie occupata, che è indicativamente correlata al numero di posti letto presenti nell'ospedale.

Tabella 17. Consumi elettrici annui medi di un ospedale

Energia elettrica = 100 – 250 kWh/m ²	
Destinazione	Quota sul consumo totale
Condizionamento	35% – 45%
Elettromedicali ed apparecchiature ospedaliere	20% – 30%
Illuminazione	20% – 30%
Forza motrice	7% – 13%

Tabella 18. Consumi termici annui medi di un ospedale

Energia termica = 150 – 450 kWh/m ²	
Destinazione	Quota sul consumo totale
Acqua calda sanitaria	45% – 55%
Riscaldamento	35% – 45%
Produzione vapore per sterilizzazione e cucine	7% – 13%

Ancora una volta, è necessario sottolineare che l'ampiezza del range del fabbisogno termico tiene conto delle differenti zone climatiche, delle tecnologie utilizzate per soddisfare il fabbisogno termico e dall'età dello stabile. Considerando l'intero parco degli edifici destinati ad ospedali e case di cura di proprietà della PA, la Tabella 19 contiene una stima dei consumi energetici annui.

Tabella 19. Consumi energetici complessivi degli ospedali

Ambito	Consumo Elettrico (GWh el / anno)	Consumo Termico (GWh th / anno)	Consumo TOTALE (GWh / anno)
Ospedali	3.854	6.985	10.839

2.2.3 Impianti sportivi

L'insieme degli impianti sportivi di proprietà della PA è caratterizzato da differenti tipologie di edifici e destinazioni. In questo studio ci si è focalizzati sulle palestre polifunzionali in quanto rappresentano più dell'80% degli edifici dedicati ad attività sportive di proprietà della PA. Le Tabelle 20 e 21 illustrano rispettivamente i profili elettrici e termici annuali medi, dettagliati in termini di destinazione d'uso e rapportati alla superficie in pianta dell'edificio.

Tabella 20. Consumi elettrici annui medi delle palestre polifunzionali

Energia elettrica = 100 – 180 kWh/m ²	
Destinazione	Quota sul consumo totale
Illuminazione	60% – 70%
Ventilazione	30% – 40%

Tabella 21. Consumi termici annui medi delle palestre polifunzionali

Energia termica = 280 – 650 kWh/m ²	
Destinazione	Quota sul consumo totale
Riscaldamento	80% – 90%
Acqua calda sanitaria	10% – 20%

È opportuno precisare che, nel caso in cui l'edificio sia dotato di un sistema di condizionamento estivo, i consumi elettrici aumentano di circa 70 – 140 kWh/m². È bene sottolineare anche in questo caso che l'ampio range in cui si colloca il fabbisogno termico tiene conto del grado di utilizzo dell'impianto durante l'anno, delle differenti zone climatiche in cui può essere collocato, delle tecnologie utilizzate per soddisfare il fabbisogno termico e dall'età dell'edificio. Considerando l'insieme delle palestre polifunzionali di proprietà della PA, la Tabella 22 contiene una stima dei consumi energetici annui.

Tabella 22. Consumi energetici complessivi delle palestre polifunzionali

Ambito	Consumo Elettrico (GWh el / anno)	Consumo Termico (GWh th / anno)	Consumo TOTALE (GWh / anno)
Palestre polifunzionali	1.530	4.589	6.119

2.2.4 Social Housing

Con il termine social housing ci si riferisce alle operazioni realizzate dalla PA per offrire ai propri cittadini immobili abitativi in locazione o in proprietà. Lo studio considera ed analizza, all'interno di questo ambito di applicazione che può avere diverse declinazioni, le unità abitative pubbliche o più comunemente chiamate "case popolari". Le Tabelle 23 e 24 illustrano rispettivamente i profili elettrici e termici annuali medi di una unità abitativa di 80 m², dettagliati in termini di destinazione d'uso.

Tabella 23. Consumi elettrici annui medi di un'unità abitativa pubblica

Energia elettrica = 2.200 – 4.300 kWh/anno	
Destinazione	Quota sul consumo totale
Elettrodomestici	65% – 75%
Illuminazione	10% – 15%
Condizionamento	6% – 12%
Boiler elettrici	0% – 5%
Altro (PC, modem, piccoli elettrodomestici, ecc.)	5% – 7%

Tabella 24. Consumi termici annui medi di un'unità abitativa pubblica

Energia termica = 8.000 – 17.500 kWh/anno	
Destinazione	Quota sul consumo totale
Riscaldamento	75% – 80%
Produzione di acqua calda sanitaria (ACS)	15% – 25%
Altro (cucina)	1% – 3%

Anche in questo caso, l'ampia forchetta che caratterizza il fabbisogno termico tiene conto delle differenti zone climatiche, delle differenti tipologie di edificio, dell'età di quest'ultimo e delle caratteristiche delle tecnologie di produzione di calore utilizzate (prestazioni caldaie, temperature a cui è fornita ACS). Considerando l'intero parco edilizio residenziale pubblico di proprietà della PA, la Tabella 25 illustra una stima dei consumi energetici annui registrati.

Tabella 25. Consumi energetici complessivi delle unità abitative pubbliche

Ambito	Consumo Elettrico (GWh el / anno)	Consumo Termico (GWh th / anno)	Consumo TOTALE (GWh / anno)
Social Housing	3.320	12.430	15.750

2.2.5 Uffici

Infine, lo studio ha preso in esame come ambito di applicazione gli uffici, intesi come spazi dediti allo svolgimento dell'attività ordinari dei Comuni Italiani (anagrafe, servizi sociali, polizia locale, eccetera). Le Tabelle 26 e 27 illustrano rispettivamente i profili elettrici e termici annuali medi degli uffici PA, dettagliati in termini di destinazione d'uso e calcolati in funzione della superficie occupata dagli stessi. La superficie occupata è ovviamente dipendente dal numero di addetti e, di riflesso, dal numero di abitanti del Comune.

Tabella 26. Consumi elettrici annuali medi uffici

Energia elettrica = 80 – 160 kWh/m²	
Destinazione	Quota sul consumo totale
Forza motrice (hardware da ufficio, etc.)	35% – 40%
Illuminazione	35% – 40%
Condizionamento	20% – 30%

Tabella 27. Consumi termici annuali medi uffici

Energia termica = 30 – 150 kWh/m²	
Destinazione	Quota sul consumo totale
Riscaldamento	80% – 90%
Acqua calda sanitaria	10% – 20%

In questo caso, sia il fabbisogno termico che elettrico sono funzione di svariati parametri, il che amplia la forchetta al cui interno si colloca il loro valore annuo. In particolare, il fabbisogno elettrico tiene conto delle differenti zone climatiche in cui gli edifici sono localizzati, delle prestazioni energetiche delle differenti tecnologie presenti (tra cui, ad esempio, PC, monitor, stampanti) e dell'età dello stabile. Il range che caratterizza invece il fabbisogno termico tiene conto del grado di utilizzo dell'edificio, delle differenti zone climatiche in cui è collocato, delle tecnologie utilizzate per soddisfare il fabbisogno termico e dall'età dello stabile. Considerando tutti gli uffici dei Comuni Italiani, la Tabella 28 illustra una stima dei consumi energetici annui.

Tabella 28. Consumi energetici complessivi degli uffici comunali

Ambito	Consumo Elettrico (GWh el / anno)	Consumo Termico (GWh th / anno)	Consumo TOTALE (GWh / anno)
Uffici	720	432	1.152

Complessivamente, l’analisi condotta ci porta a stimare un ammontare complessivo di consumi elettrici e termici annui relativi agli ambiti di applicazione considerati nel presente studio di circa 49 TWh, di cui 13 TWh elettrici e 36 TWh termici.

2.3 Valutazione della sostenibilità economica

In questa terza sezione, lo studio integra i dati riportati in precedenza per fornire una stima della sostenibilità economica dell’adozione delle soluzioni tecnologiche per l’efficienza energetica applicate agli edifici della PA. In particolare, viene prima valutata qualitativamente l’applicabilità dal punto di vista tecnico delle diverse soluzioni nei vari ambiti di applicazione considerati. Si procede quindi a stimare la convenienza economica delle soluzioni tecnicamente praticabili nei loro ambiti di applicazione.

2.3.1 Valutazione dell’applicabilità delle tecnologie

In Figura 1 è riportata una matrice “tecnologie-ambiti” che evidenzia in quali ambiti di applicazione le diverse tecnologie sono adottabili, considerate le loro caratteristiche tecniche e principi di funzionamento. Il colore verde indica la fattibilità tecnica della soluzione nello specifico ambito di applicazione.

TECNOLOGIA/ AMBITO	Illuminazione	Building Automation	Chiusure vetrate	Superfici opache	Caldiaia a condensazione	Pompe di calore	Solare termico	Solar cooling	Cogenerazione
Scuole	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ospedali	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Impianti sportivi	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Social Housing	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Uffici	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Figura 1. Matrice "tecnologie-ambiti"

Da un semplice esame della matrice emerge come la maggior parte delle tecnologie per l’efficienza energetica siano applicabili nei diversi edifici della PA considerati in questo studio. È bene inoltre precisare che i pochi casi di infattibilità non sono dovuti tanto a limiti di carattere strettamente tecnologico, quanto al fatto che la soluzione tecnologica in esame è in grado di dare un contributo alla razionalizzazione dei consumi energetici complessivi estremamente ridotto, il che rende a priori la sua applicazione non ragionevole. A titolo esemplificativo, il ridotto consumo di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria negli uffici della PA non giustifica l’installazione di impianti solari termici.

2.3.2 Valutazione economica

Per fornire una valutazione della convenienza economica delle soluzioni per l’efficienza energetica nei differenti ambiti della PA considerati, lo studio utilizza due differenti indicatori:

- Il costo medio del kWh risparmiato o prodotto (espresso in c€/kWh), che indica il rapporto tra i costi sostenuti per l'adozione e l'utilizzo della soluzione di efficienza energetica (Capex ed Opex) e la quantità di energia risparmiata o prodotta grazie al suo utilizzo, lungo la vita utile media della soluzione adottata. Il valore assunto da questo indicatore viene confrontato con una "soglia", ossia:
 - Il costo di acquisto dell'energia elettrica dalla rete da parte della PA (da confrontare con il costo medio del kWh prodotto o risparmiato nel caso di soluzioni che intervengono sul vettore elettrico), stimabile in circa 16 c€/kWh.
 - Il costo di produzione del calore attraverso caldaia tradizionale a metano (da confrontare con il costo medio del kWh prodotto o risparmiato nel caso di soluzioni che intervengono sul vettore termico), stimabile in circa 7 c€/kWh.

Nel caso in cui il costo medio del kWh risparmiato o prodotto sia inferiore rispetto ai valori soglia sopra identificati, esiste una convenienza economica assoluta associata all'adozione della tecnologia in esame nello specifico ambito applicativo.

- Il tempo di Pay-Back, l'indicatore che valuta l'istante temporale in cui i flussi di cassa derivanti dall'adozione di una soluzione di efficienza energetica (dovuti sostanzialmente ai risparmi che essa consente di ottenere, al netto dei costi operativi da sostenere per assicurarne un adeguato funzionamento) eguagliano i costi sostenuti per realizzare l'investimento necessario ad adottare la tecnologia. Tale indicatore è stato quindi confrontato rispetto ad un Pay-Back "limite" di 2-3,5 anni, rappresentativo della propensione della PA ad accettare tempi di ritorno degli investimenti in efficienza energetica, come emerso dalle interviste che sono state condotte nell'ambito di questo studio. Lo studio propone due versioni di questo indicatore, una calcolata in assenza di un sistema incentivante, ed una valutata prendendo in considerazione l'incentivo che garantisce alla PA il miglior ritorno economico. In particolare, lo studio considera tre differenti sistemi di incentivazione, ossia Titoli di Efficienza Energetica¹ (TEE), Detrazioni Fiscali² (DT) e Conto Energia Termico³ (CT), applicati ove possibile e consentito dalle norme in essere.

Lo studio affronta la valutazione della convenienza economica attraverso un'analisi a scenari che intende simulare la condizione in cui si trova il soggetto che intende realizzare l'investimento in efficienza energetica quando deve prendere la decisione di adottare o meno una specifica soluzione tecnologica o impiantistica. In particolare, lo studio prende in considerazione due situazioni differenti:

- "Sostituzione forzata", in cui si simula il caso in cui il soggetto che realizza l'investimento debba sostituire una tecnologia non più funzionante (ossia obsoleta) con una soluzione energeticamente più efficiente rispetto ad una "tradizionale". Da un punto di vista logico, tale situazione è del tutto equivalente al caso in cui una PA decida di realizzare un nuovo edificio in cui occorre effettuare una scelta fra più soluzioni caratterizzate da performance energetiche differenti.
- "Sostituzione volontaria", in cui si simula il caso in cui il soggetto che realizza l'investimento decida di sostituire una tecnologia ancora funzionante con una soluzione energeticamente più efficiente. Da un punto di vista logico, tale situazione è del tutto equivalente al caso in cui una PA decida di valutare l'opportunità di investire in una soluzione energeticamente più efficiente rispetto ad una "tradizionale" attualmente in uso in uno degli edifici di proprietà.

¹ I Titoli di Efficienza Energetica (TEE), sono titoli che certificano i risparmi energetici conseguiti da vari soggetti realizzando specifici interventi di efficientamento energetico. Istituiti in Italia con i DD.MM. 20 luglio 2004 elettricità e gas, ed entrati in vigore nel gennaio 2005, i TEE consistono in titoli scambiati in un mercato dedicato.

² Tale meccanismo permette al soggetto investitore di detrarre una quota parte (attualmente fissata al 50%) dell'investimento sostenuto per la riqualificazione energetica di un edificio.

³ Tale meccanismo è stato istituito dal DM 28/12/12, per incentivare l'efficienza energetica e la produzione di energia termica da fonti rinnovabili. Il CT incentiva, tramite tariffa omnicomprensiva, 8 differenti tipologie di interventi, di cui 4 dedicati alla sola PA (isolamento termico di superfici opache, sostituzione di chiusure trasparenti, installazione di generatori di calore a condensazione, installazione di sistemi di chiusura e/o ombreggiamento delle chiusure trasparenti).

Per ogni ambito analizzato, sono stati quindi definiti dei profili “tipo” di consumo termico ed elettrico (Tabella 29), ricostruiti in base alle analisi condotte in precedenza. A partire da essi è stata quindi effettuata la valutazione della sostenibilità economica delle differenti soluzioni tecnologiche.

Tabella 29. Scenari per la valutazione economica

Ambito	Taglia del profilo “tipo”	Consumo elettrico annuo [MWh]	Consumo termico annuo [MWh]
Scuola	15.000 m ²	525	1.900
Ospedale	50.000 m ²	8.750	15.000
Impianto sportivo	300 m ²	45	140
Social Housing (una unità immobiliare)	-	3,5	13
Ufficio	150 m ²	20	10

È bene inoltre precisare che per le soluzioni che comprendono al loro interno diverse tecnologie (si pensi ad esempio al caso delle chiusure vetrate ad alta efficienza), i valori degli indicatori di sostenibilità economica sono stati calcolati facendo riferimento all’alternativa caratterizzata dalla migliore convenienza economica nello specifico ambito di applicazione. In particolare,

- Per le tecnologie di illuminazione, si sono considerate le lampade al sodio a bassa pressione, ad eccezione dell’ambito Social Housing in cui la tecnologia di riferimento è rappresentata dalle lampade ad alogenuri o ioduri metallici.
- Per le chiusure vetrate, sono stati considerati in tutti gli ambiti di applicazione gli infissi in PVC e vetri a controllo solare.
- Per quanto riguarda le pompe di calore, si sono prese in esame quelle a compressione.
- Per quanto riguarda il solare termico, sono stati considerati i collettori sottovuoto per la sola produzione di acqua calda sanitaria.
- Infine, per quanto riguarda gli impianti di cogenerazione, l’analisi ha preso in esame i motori a combustione interna.

2.3.2.1 Costo medio del kWh risparmiato o prodotto

La Tabella 30 presenta il quadro sintetico della sostenibilità economica delle soluzioni considerate nei diversi ambiti di applicazione, calcolata attraverso il costo medio del kWh risparmiato o prodotto (espresso in c€/kWh) e nel caso dello scenario con sostituzione “forzata” delle tecnologie esistenti nell’edificio. Le celle della tabella hanno colore azzurro nel caso in cui la soluzione risulti conveniente, ossia nel caso in cui il costo medio che la PA deve sostenere per risparmiare o produrre un kWh attraverso l’adozione di una soluzione energeticamente efficiente è inferiore rispetto ai costi che tradizionalmente dovrebbe sostenere per acquistare dalla rete elettrica o auto-produrre un kWh attraverso soluzioni non efficienti.

Tabella 30. Costo medio del kWh risparmiato o prodotto - sostituzione "forzata"

TECNOLOGIA/ AMBITO	Illuminazione	Building Automation	Chiusure vetrate	Superfici opache	Caldaia a condensazione	Pompe di calore	Solare termico	Solar cooling	Cogenerazione
Scuole	2,5-6	0,7-1,2	7-14	7,5-18	1,6-4,3	1,8-4,4	2,5-3,5		2-4,5
Ospedali	2,8-7,3	0,1-0,6	3,5-7,5	3-8	2,8-5	1,2-2,9	2,7-3,8	6-12,4	0,5-1,3
Impianti sportivi	2,3-5,8	0,5-1	6,5-15	7-16,8	1,3-3,5	1,5-4	4-7,6		1,5-4,7
Social Housing	0,5-0,7	2,2-4,2	4-13	10-13	0,5-2,3	3,5-8	6-13	14-22	
Uffici	3,3-5,6	4,8-7	9-19	11-23	2,2-4,4	1,5-3,4		7,5-15	

È evidente come la maggior parte delle soluzioni tecnologiche considerate, ad eccezione degli impianti di solar cooling, comporti dei costi che sono ampiamente ripagati dai risparmi energetici conseguibili mediamente durante la vita utile dell'impianto. Prendendo ad esempio in considerazione una caldaia a condensazione installata presso una scuola, essa permette di generare mediamente lungo la sua vita utile un kWh termico ad un costo compreso fra 1,6 ed i 4,3 centesimi di euro, e quindi di ottenere un risparmio netto (ossia un guadagno) compreso fra i 2,7 e i 5,5 centesimi di euro, considerato il valore benchmark di riferimento del costo di auto-produzione del calore con tecnologia tradizionale pari a 7 centesimi di euro.

La Tabella 31 riporta invece i risultati dell'analisi nel caso in cui la PA intenda sostituire una tecnologia tradizionale ancora funzionante con una a maggior livello di efficienza energetica, per cercare di contenere i propri consumi (scenario con sostituzione "volontaria"). Le celle della tabella assumono colore azzurro nel caso in cui la soluzione risulti conveniente in un determinato ambito di applicazione.

Tabella 31. Costo medio del kWh risparmiato o prodotto - sostituzione "volontaria"

TECNOLOGIA/ AMBITO	Illuminazione	Building Automation	Chiusure vetrate	Superfici opache	Caldaia a condensazione	Pompe di calore	Solare termico	Solar cooling	Cogenerazione
Scuole	3,5-6,8	1,3-2,4	13-20	7,5-18	2,5-5,2	2,4-6	2,5-3,5		3-5,8
Ospedali	4,3-9	0,3-0,8	5,2-9,4	3-8	3,9-6,3	2,1-4,3	2,7-3,8	6-12,4	0,7-1,8
Impianti sportivi	3,3-6,2	1,1-2	8,7-14	7-16,8	1,8-4,7	2,3-5,4	4-7,6		2,3-6,2
Social Housing	0,6-1	3,7-7,7	12,4-22	10-13	2,5-4,3	6,2-9,8	6-13	14-22	
Uffici	4,2-7,4	5,9-8,5	13-22	11-23	3,3-5,6	2,1-5,2		7,5-15	

Nonostante in questo scenario il costo del kWh risparmiato o autoprodotta risulti sensibilmente maggiore (dato che l'investimento differenziale corrisponde all'intero costo della tecnologia energeticamente efficiente che si decide di adottare), esso rimane nella maggioranza dei casi ampiamente al di sotto dei valori soglia sopra definiti. Considerando il parametro del costo del kWh risparmiato o prodotto, emerge

quindi un quadro favorevole all'adozione delle soluzioni di efficienza energetica negli ambiti della PA analizzati in questo studio. In altri termini, considerando l'intera vita utile delle tecnologie per l'efficienza energetica, esiste un risparmio economico in taluni casi anche consistente derivante dalla loro adozione, senza considerare ovviamente gli altri benefici di natura ambientale e sistemica, quali ad esempio la riduzione dei consumi a livello paese ed il risultante contenimento della dipendenza energetica estera dell'Italia.

2.3.2.2 Tempo di Pay-Back

Le Tabelle 32 e 33 presentano il quadro sintetico della sostenibilità economica delle tecnologie per l'efficienza energetica attraverso il calcolo del tempo di Pay-Back (espresso in anni), in caso di sostituzione "forzata" e, rispettivamente, in assenza e presenza di incentivi. Le celle della tabella assumono colore azzurro nel caso in cui la soluzione risulti conveniente, nello specifico ambito di applicazione considerato, ossia nel caso in cui l'istante temporale in cui l'investimento nella soluzione di efficienza energetica viene interamente ripagato risulta inferiore al valore limite definito in precedenza in questo documento.

Tabella 32. Tempo di Pay-Back - sostituzione "forzata" e senza incentivi

TECNOLOGIA/ AMBITO	Illuminazione	Building Automation	Chiusure vetrate	Superfici opache	Caldiaia a condensazione	Pompe di calore	Solare termico	Solar cooling	Cogenerazione
Scuole	2,5-5	1,5-2,4	>20	>20	7-10	7,5-11	9,5-12		3-5,3
Ospedali	0,2-1	0,2-0,8	13-18	16-23	6-9,3	2,2-3,5	9,5-14	8,7-13	2-5
Impianti sportivi	2-4	1,3-2,2	>20	>20	4,8-8	6-9	9,5-13		2,5-5,2
Social Housing	0,15-0,8	2,3-4	11-16	>20	3-6,2	8,5-12,3	10-13	14-17,4	
Uffici	1-2,3	6,3-11	>20	>20	7,8-15	1,8-4		9,2-14	

Tabella 33. Tempo di Pay-Back - sostituzione "forzata" e con incentivi

TECNOLOGIA/ AMBITO	Illuminazione	Building Automation	Chiusure vetrate	Superfici opache	Caldiaia a condensazione	Pompe di calore	Solare termico	Solar cooling	Cogenerazione
Scuole	2-3,3 (TEE)	1,3-2,1 (TEE)	13-16 (CT)	12-15 (CT)	6-8,5 (TEE)	6,5-8,5 (CT)	4-6 (CT)		2,5-4,8 (TEE)
Ospedali	0,1-0,6 (DT)	0,1-0,5 (TEE)	10-14 (CT)	13-16 (CT)	5-8 (DT)	1,8-3 (TEE)	4,5-7 (TEE)	5,4-9 (TEE)	0,8-3 (TEE)
Impianti sportivi	1,5-3 (TEE)	0,8-1,7 (TEE)	11,3-15,8 (CT)	12-14,8 (CT)	4,8-7,6 (TEE)	4,9-6,8 (CT)	4,2-7,3 (CT)		1,8-3,7 (TEE)
Social Housing	0,4-1 (TEE)	1,5-3,4 (TEE)	4,6-7,5 (CT)	9-13 (CT)	2-4,8 (TEE)	5,5-8,7 (TEE)	5-7 (CT)	10-13 (TEE)	
Uffici	1-2 (TEE)	4,8-10 (TEE)	14-18 (CT)	13-16 (CT)	6,3-12 (TEE)	1,4-3,2 (CT)		5,7-9,5 (TEE)	

Le Tabelle 34 e 35 presentano il quadro sintetico della sostenibilità economica attraverso il calcolo del tempo di Pay-Back (espresso in anni) in caso di sostituzione “volontaria” e, rispettivamente, in assenza e presenza di incentivi. Le celle della tabella assumono colore azzurro nel caso in cui la soluzione risulti conveniente, nello specifico ambito di applicazione considerato.

Tabella 34. Tempo di Pay-Back - sostituzione "volontaria" e senza incentivi

TECNOLOGIA/ AMBITO	Illuminazione	Building Automation	Chiusure vetrate	Superfici opache	Caldia a condensazione	Pompe di calore	Solare termico	Solar cooling	Cogenerazione
Scuole	3-5	2,1-3	>20	>20	12-14	12-14	9,5-12		4,5-7
Ospedali	0,3-1,3	0,5-1,5	>20	16-23	8-10,8	2,5-4,1	9,5-14	8,7-13	2,5-5
Impianti sportivi	2,5-4,3	1,8-2,7	>20	>20	6,8-10	7,8-10,3	9,5-13		3-6,3
Social Housing	0,3-1,2	2,8-5,5	>20	>20	5,3-9	9,8-14	10-13	14-17,4	
Uffici	1,6-2,8	8,4-14	>20	>20	9,2-15	3-5,3		9,2-14	

Tabella 35. Tempo di Pay-Back - sostituzione "volontaria" e con incentivi

TECNOLOGIA/ AMBITO	Illuminazione	Building Automation	Chiusure vetrate	Superfici opache	Caldia a condensazione	Pompe di calore	Solare termico	Solar cooling	Cogenerazione
Scuole	2,3-3,7 (TEE)	1,7-2,5 (TEE)	15-18 (CT)	12-15 (CT)	8,8-11,5 (TEE)	7,5-10,2 (CT)	4-6 (CT)		3,2-5,8 (TEE)
Ospedali	0,2-0,7 (DT)	0,3-0,8 (TEE)	14,8-17,7 (CT)	13-16 (CT)	6,8-8,2 (DT)	2-3,8 (TEE)	4,5-7 (TEE)	5,4-9 (TEE)	1-3,7 (TEE)
Impianti sportivi	2-3,7 (TEE)	1,3-2,4 (TEE)	12,3-17,2 (CT)	12-14,8 (CT)	6-9 (TEE)	6,2-8,7 (CT)	4,2-7,3 (CT)		2,2-4,3 (TEE)
Social Housing	0,6-1,2 (TEE)	2,4-4,5 (TEE)	11-15,8 (CT)	9-13 (CT)	4-7,2 (TEE)	6,5-9,8 (TEE)	5-7 (CT)	10-13 (TEE)	
Uffici	1,5-2,5 (TEE)	6-11 (TEE)	16,4-19 (CT)	13-16 (CT)	8,3-11 (TEE)	2,5-4,5 (CT)		5,7-9,5 (TEE)	

Per quanto riguarda l’analisi condotta attraverso l’indicatore del tempo di Pay-Back, che misura il rischio che il decisore si assume nel momento in cui decide di realizzare l’investimento, emerge un quadro in cui solamente un numero ridotto di tecnologie raggiunge in assenza di incentivi il valore soglia di cui si è parlato in precedenza. Si tratta in particolare dei sistemi di illuminazione efficiente, di Building Automation e, solo in parte, delle pompe di calore e degli impianti di cogenerazione. È interessante inoltre notare come l’impatto dei regimi incentivanti sul ritorno degli investimenti sia, nella maggior parte dei casi, non decisivo nel migliorare sensibilmente la sostenibilità economica dell’investimento. Solamente per le pompe di calore, i cogeneratori e le caldaie a condensazione si registrano casi di applicazione in cui il ricorso al sistema di incentivazione consente di raggiungere la sostenibilità economica.

Questi dati relativi al tempo di pay-back mettono in evidenza l’esistenza di una condizione paradossale e di una forte barriera all’adozione delle soluzioni di efficienza energetica per la PA in Italia. Nonostante le soluzioni oggi disponibili commercialmente, nell’arco della loro vita utile, siano in larga parte grado di

generare un ritorno sull'investimento e siano quindi sostenibili economicamente (come si evince dai risultati presentati nella sezione 2.3.2.1), l'entità dell'investimento iniziale necessario per adottarle è tale da spostare in avanti il tempo di Pay-Back oltre i limiti normalmente accettati dagli investitori. Considerate le condizioni di difficoltà finanziarie in cui versano i Comuni italiani, questo aspetto costituisce un ostacolo estremamente importante alla diffusione dell'efficienza energetica nella PA italiana.

2.4 Casi di applicazione paradigmatici

A completamento dell'analisi di sostenibilità economica, lo studio presenta in questa sezione dei casi di studio paradigmatici di adozione delle soluzioni per l'efficienza energetica in edifici della PA. L'analisi di questi casi paradigmatici consente di apprezzare due fenomeni rilevanti da considerare nella valutazione di qualsiasi politica ed intervento a supporto della diffusione dell'efficienza energetica nella PA in Italia:

- Alcune soluzioni per l'efficienza energetica risultano essere mutualmente esclusive fra loro, dato che soddisfano il medesimo fabbisogno energetico (si pensi ad esempio alle caldaie a condensazione ed alle pompe di calore).
- I benefici energetici ottenibili dall'adozione di una soluzione sono strettamente correlati al grado di efficientamento raggiunto dall'edificio e, quindi, dall'insieme complessivo di soluzioni per l'efficienza energetica contemporaneamente adottate. Si pensi ad esempio ai sistemi di Building Automation che, come spiegato nelle sezioni precedenti, forniscono un beneficio energetico direttamente proporzionale ai consumi elettrici e termici dell'edificio. Proprio per questo motivo, a parità di costo d'investimento, in un edificio altamente efficiente (ossia dotato di tecnologie capaci di ridurre sostanzialmente i consumi) il beneficio ottenibile a seguito dell'adozione di un sistema di Building Automation risulterà in termini assoluti inferiore rispetto ad un edificio meno efficiente, a parità di costo d'investimento.

Di questi fenomeni bisogna tenere conto nel momento in cui si pianificano degli investimenti e si mettono a punto delle politiche a supporto dell'efficienza energetica nella PA. Di seguito, si presentano tre esempi paradigmatici di adozione delle soluzioni per l'efficienza energetica, il caso di una scuola, di un ospedale e di un insieme di case popolari.

2.4.1 Caso Scuola

Lo studio prende in considerazione il caso di un istituto scolastico che si estende per una superficie complessiva di 15.000 m², aperta dalla 8 alle 17 ed avente consumi energetici annui di 525 MWh elettrici e 1.900 MWh termici. Si suppone di essere nella situazione tale per cui la PA debba decidere su quali soluzioni tecnologiche investire per sostituire impianti obsoleti (sostituzione "forzata") e che non ci siano problemi di alcun genere ad accedere ai meccanismi di incentivazione, ossia TEE e CT. La PA, in assenza di asimmetrie informative e capacità di spesa illimitata, deciderà di investire nelle soluzioni tecnologiche per l'efficienza energetica che garantiscono un ritorno accettabile del capitale e che presentano un tempo di Pay-Back inferiore al valore "soglia" di 2-3,5 anni. Considerando inoltre l'effetto "mutua esclusività" di alcune tecnologie, la PA potrebbe investire nelle seguenti soluzioni:

- Sistemi di illuminazione efficienti, ossia lampade a sodio a bassa pressione per una taglia complessiva fra i 18 ed i 24 milioni di lumen⁴.
- Sistemi di Building Automation in grado di gestire i consumi energetici dell'intero edificio.

È bene precisare che risulta preferibile in questo caso continuare a produrre energia termica tramite caldaia tradizionale (a gas metano), considerata la scarsa convenienza economica che caratterizza l'adozione di caldaie a condensazione, pompe di calore, solare termico e impianti di cogenerazione in questo specifico ambito d'applicazione. Grazie all'adozione di queste tecnologie si stima che la PA possa

⁴ Unità di misura del flusso luminoso pari a quello emesso nell'angolo solido unitario da una sorgente puntiforme avente in ogni direzione intensità di una candela

rientrare nell'investimento (stimabile in 90.000 € - 110.000 €) in circa 3 anni e possa ottenere un risparmio in bolletta di energia elettrica fra il 38% ed il 43% (stimabile in 30.000 €-40.000 € all'anno).

2.4.2 Caso Ospedale

Lo studio prende in considerazione il caso di un ospedale che si estende per una superficie complessiva di 50.000 m² ed avente consumi energetici annui di 8.750 MWh elettrici e 15.000 MWh termici. Si suppone di essere nella situazione tale per cui la PA debba decidere su quali soluzioni tecnologiche investire per sostituire quelle obsolete (sostituzione "forzata") e che non ci siano problemi di alcun genere ad accedere ai meccanismi di incentivazione, ossia TEE, DT e CT. La PA, in condizioni ideali, deciderà di investire nelle soluzioni tecnologiche per l'efficienza energetica che garantiscono un ritorno accettabile del capitale e con tempo di Pay-Back inferiore al valore "soglia" di 2-3,5 anni. Immaginiamo che si decida di investire nelle seguenti tecnologie:

- Sistemi di illuminazione efficienti, ossia lampade a sodio a bassa pressione per una taglia complessiva fra i 25 ed i 35 milioni di lumen.
- Sistemi di Building Automation capaci di gestire i consumi energetici dell'intero edificio.
- Impianti cogenerativi, dimensionati in modo tale da soddisfare in ogni istante il 100% dell'utenza termica (sia essa riscaldamento o produzione di acqua calda sanitaria o vapore). A questo proposito si stima un potenza elettrica complessiva di circa 2,5 MW- 3 MW.

Grazie all'adozione di queste tecnologie, si stima che la PA possa rientrare nell'investimento (stimabile in 1,7-2 milioni di €) in circa 3 anni e possa ottenere un risparmio in bolletta di energia elettrica fra il 13% ed il 18% (stimabile in 180.000 €-250.000 € all'anno) ed un risparmio in bolletta di energia termica fra il 42% ed il 48% (stimabile in 450.000 €-510.000 € all'anno), per un totale risparmio annuo compreso tra i 7.400 MWh e gli 8.700 MWh, pari a circa il 30%-35% della spesa energetica complessiva.

2.4.3 Caso Social Housing

Si prende infine in considerazione il caso di quattro unità immobiliari all'interno di un complesso di case popolari con superficie complessiva di 360 m² ed aventi consumi energetici annui di 14.000 kWh elettrici e 64.000 kWh termici. Si suppone di essere nel caso di sostituzione forzata e di presenza di incentivi, ossia TEE e DT. Si immagini che sia possibile investire nelle seguenti tecnologie:

- Sistemi di illuminazione efficienti, ossia lampade ad alogenuri o ioduri metallici per una taglia complessiva fra i 50.000 e i 70.000 lumen.
- Sistemi di Building Automation in grado di gestire i consumi energetici dell'intero edificio.
- Caldaia a condensazione, in sostituzione di quella tradizionale e dimensionata in modo tale da soddisfare in ogni istante il 100% dell'utenza termica (sia essa riscaldamento o produzione di acqua calda sanitaria o vapore). Si stima in questo caso una potenza termica di circa 30 kW – 35 kW.

Grazie a queste tecnologie, si può calcolare un tempo di rientro dell'investimento (stimabile in circa 10.000 €- 14.000 €) fra i 3 e i 3,5 anni ed un risparmio in bolletta di energia elettrica fra il 30% ed il 35% (stimabile in 750 €- 1.000 € all'anno) ed un risparmio in bolletta di energia termica fra il 55% ed il 60% (pari a 2.600 € - 3000 € all'anno), per un totale risparmio annuo compreso tra i 13.000 kWh e i 15.000 kWh, pari a circa 40%-45% della spesa energetica complessiva.

Dall'esame di questi casi emerge chiaramente come in determinati ambiti di applicazione esistano degli importanti spazi di efficientamento degli edifici della PA in Italia, in condizioni di ampia sostenibilità economica. È però necessario effettuare, caso per caso, un'attenta valutazione dei fattori di contesto in gioco ed identificare la combinazione di tecnologie in grado di massimizzare il ritorno sull'investimento ed abbassare il tempo di Pay-Back in modo sostanziale. Solo attraverso questa analisi è possibile orientare gli investimenti degli operatori di mercato e del legislatore verso la definizione di un sistema di incentivi specificamente tarato per favorire la diffusione dell'efficienza energetica nella PA italiana.

2.5 Benefici potenziali

In quest'ultima parte lo studio contiene una stima delle ricadute potenziali derivanti dalla possibile diffusione delle tecnologie per l'efficienza energetica presso l'intero parco edifici della PA. In particolare, tale valutazione intende offrire due indicazioni:

- Identificare un "potenziale di risparmio" complessivo, ossia un quadro sintetico dell'impatto ambientale derivante dall'efficientamento energetico di tutti gli ambiti di applicazione considerati a livello paese. A tal proposito, lo studio stima, da un lato, il potenziale di risparmio energetico, calcolato come la quantità di energia elettrica e termica (espresse in TWh) che possono essere risparmiate grazie all'adozione delle differenti soluzioni efficienti e, dall'altro lato, il conseguente beneficio ambientale, espresso in termini di emissioni di CO2 evitate.
- Calcolare il "potenziale di mercato", ossia una valutazione delle ricadute economiche che si avrebbero a livello paese nel momento in cui si diffondessero gli interventi di efficienza energetica nella PA e ne derivassero quindi delle importanti ripercussioni in termini industriali e di filiera. A tal proposito, lo studio stima il volume d'affari (espresso in milioni di €) generato dalla crescita degli interventi di efficienza energetica nella PA.

Si fornisce inoltre una stima di tali benefici potenziali attraverso un'analisi a scenario, ossia calcolando:

- Uno scenario "teorico", che ipotizza l'adozione delle soluzioni per l'efficienza energetica negli ambiti della PA considerati in sostituzione o ad integrazione di tutte le tecnologie meno efficienti attualmente utilizzate e per soddisfare l'eventuale incremento di fabbisogno energetico futuro. A tal proposito, lo studio prende in considerazione come orizzonte temporale di riferimento il 2020.
- Uno scenario "atteso", che rende più realistiche le valutazioni riportate nello scenario "teorico" attraverso la stima di un verosimile grado di penetrazione delle soluzioni di efficienza energetica nei diversi ambiti d'applicazione. Il grado di penetrazione atteso è stato stimato in funzione della convenienza economica della soluzione (in presenza di incentivi), del grado di maturità tecnologica della stessa e della percezione sia dei potenziali soggetti investitori che degli operatori del mercato.

Entrambi i potenziali sono stati calcolati prendendo come orizzonte temporale di riferimento il periodo 2014-2020. In particolare, il potenziale considerato in questo studio rappresenta il valore medio annuo realizzabile tra il 2014 ed il 2020.

2.5.1 Potenziale di risparmio

Le Tabelle 36 e 37 presentano il quadro sintetico del potenziale di risparmio "teorico" al 2020, stimato rispettivamente da un punto di vista energetico (espresso in TWh elettrici o termici) e da un punto di vista ambientale (espresso in tonnellate di emissioni di CO2 evitate).

Tabella 36. Potenziale di risparmio "teorico" - Energia risparmiata

TECH/ AMBITO	Illuminazione	Building Automation	Chiusure vetrate	Superfici opache	Caldaia a condensazione	Pompe di calore	Solare termico	Solar cooling	Cogenerazione
Scuole	1,6-1,85 TWh el	0,4-0,5 TWh th	1,1-1,17 TWh th	1,9-2,1 TWh th	2,3-2,5 TWh th	3,6-3,9 TWh th	0,5-0,65 TWh th		2,2-2,5 TWh th
Ospedali	0,35-0,4 TWh el	0,18-0,23 TWh th	0,13-0,15 TWh th	0,15-0,18 TWh th	0,55-0,6 TWh th	1,5-1,7 TWh th	0,8-0,9 TWh th	0,01-0,03 TWh th	2,8-3,3 TWh th
Impianti sportivi	0,6-0,9 TWh el	0,13-0,18 TWh th	0,2-0,4 TWh th	0,6-0,8 TWh th	1,1-1,3 TWh th	1,2-1,5 TWh th	0,2-0,4 TWh th		0,9-1,1 TWh th
Social Housing	0,8-1,4 TWh el	0,5-0,7 TWh th	1,1-1,3 TWh th	2,5-3 TWh th	2,8-3,3 TWh th	3,5-4 TWh th	0,5-0,7 TWh th	0,5-1 TWh th	
Uffici	0,08-0,1 TWh el	0,02-0,05 TWh th	0,01-0,03 TWh th	0,07-0,1 TWh th	0,08-0,12 TWh th	0,1-0,14 TWh th		<0,005 TWh th	

Tabella 37. Potenziale di risparmio "teorico" - Emissioni CO2 evitate espresse in tonnellate

TECH/ AMBITO	Illuminazione	Building Automation	Chiusure vetrate	Superfici opache	Caldaia a condensazione	Pompe di calore	Solare termico	Solar cooling	Cogenerazione
Scuole	680	150	345	600	720	1.080	165		690
Ospedali	152	60	42	51	174	540	255	6	900
Impianti Sportivi	300	45	90	210	360	390	90		300
Social Housing	440	180	360	840	900	1.140	180	225	
Uffici	36	12	6	27	30	36		1	

Le Tabelle 38 e 39 presentano il quadro sintetico del potenziale di risparmio "atteso" al 2020 considerando, rispettivamente, l'energia non consumata e le emissioni di gas serra (CO2) evitate.

Tabella 38. Potenziale di risparmio "atteso" - Energia risparmiata

TECH/ AMBITO	Illuminazione	Building Automation	Chiusure vetrate	Superfici opache	Caldaia a condensazione	Pompe di calore	Solare termico	Solar cooling	Cogenerazione
Scuole	1,2-1,4 TWh el	0,1-0,2 TWh th	0,1-0,3 TWh th	0,8-1 TWh th	1,2-1,4 TWh th	1,6-1,8 TWh th	0,1-0,2 TWh th		1-1,3 TWh th
Ospedali	0,18-0,2 TWh el	0,04-1 TWh th	0,01-0,05 TWh th	0,01-0,03 TWh th	0,15-0,18 TWh th	0,47-0,52 TWh th	0,2-0,24 TWh th	< 0,002 TWh th	2-2,5 TWh th
Impianti sportivi	0,4-0,5 TWh el	0,03-0,07 TWh th	0,08-0,15 TWh th	0,28-0,32 TWh th	0,6-0,8 TWh th	0,7-1 TWh th	0,07-0,1 TWh th		0,5-0,75 TWh th
Social Housing	0,4-0,6 TWh el	0,2-0,4 TWh th	0,1-0,3 TWh th	0,9-1,2 TWh th	1,5-2 TWh th	1,3-1,8 TWh th	0,1-0,3 TWh th	0,01-0,03 TWh th	
Uffici	0,05-0,07 TWh el	0,01-0,02 TWh th	0,002- 0,004 TWh th	0,008-0,01 TWh th	0,01- 0,013 TWh th	0,05-0,08 TWh th		<0,001 TWh th	

Tabella 39. Potenziale di risparmio "atteso" - Emissioni CO2 evitate espresse in tonnellate

TECH/ AMBITO	Illuminazione	Building Automation	Chiusure vetrate	Superfici opache	Caldaia a condensazione	Pompe di calore	Solare termico	Solar cooling	Cogenerazione
Scuole	520	45	60	270	390	510	45		360
Ospedali	76	24	9	6	50	150	66	0,3	660
Impianti sportivi	180	15	36	90	210	255	27		195
Social Housing	200	90	60	300	540	450	60	6	
Uffici	24	5	1	3	4	20		0,2	

Negli ambiti di applicazione considerati, il potenziale di risparmio "teorico" derivante dalla diffusione capillare delle tecnologie per l'efficienza energetica nella PA italiana al 2020 ammonta a circa 42 TWh all'anno, di cui circa 5 TWh elettrici e 37 TWh termici. Viceversa, il potenziale "atteso" è pari a circa 19 TWh all'anno, corrispondente a circa il 21% dei consumi energetici annui dell'intera PA. Di questi, circa 2,5 TWh fanno riferimento ai risparmi conseguibili sul consumo elettrico (pari a circa il 10% del consumo elettrico della PA nel 2012) e circa 16,5 TWh fanno riferimento ai risparmi conseguibili sul consumo termico (pari a circa il 25% del consumo elettrico annuo della PA).

Dalla stima dei potenziali di mercato emerge come da una diffusione "teorica" delle varie soluzioni per l'efficienza energetica negli ambiti di applicazioni considerati comporterebbe una riduzione di circa il 17% della bolletta elettrica dell'intera PA italiana ed una riduzione di circa il 57% della bolletta termica. Grazie a questo risparmio si potrebbe evitare l'emissione di circa 12.800 tonnellate di CO2 all'anno. Considerando invece una penetrazione "attesa" delle tecnologie, la riduzione della bolletta elettrica si attesterebbe a circa il 10% mentre la riduzione della bolletta termica sarebbe di circa il 26%. A seguito di tale diffusione, le tonnellate di CO2 non emesse sarebbero circa 6.000 all'anno.

2.5.2 Potenziale di mercato

La Tabella 40 fornisce invece una stima del volume d'affari "teorico" conseguibile al 2020 (espresso in milioni di €) grazie all'adozione delle tecnologie analizzate nei differenti ambiti d'applicazione della PA considerati.

Tabella 40. Potenziale di mercato "teorico"

TECNOLOGIA/ AMBITO	Illuminazione	Building Automation	Chiusure vetrate	Superfici opache	Caldaia a condensazione	Pompe di calore	Solare termico	Solar cooling	Cogenerazione
Scuole	75-85	7-10	155-165	260-270	85-95	140-150	17-23		18-22
Ospedali	20-25	0,5-1,5	9-11	8-10	145-155	9-11	22-27	65-70	26-32
Impianti sportivi	35-38	3-5	70-75	120-130	47-52	58-65	12-15		8-13
Social Housing	30-35	23-28	170-180	280-300	150-170	300-320	55-60	200-250	
Uffici	3-5	3-5	5-7	12-16	3-6	6-10		15-25	

La Tabella 41 fornisce invece una stima del volume d'affari "atteso" conseguibile al 2020 (espresso in milioni di €) grazie all'adozione delle tecnologie analizzate nei differenti ambiti d'applicazione della PA considerati.

Tabella 41. Potenziale di mercato "atteso"

TECNOLOGIA/ AMBITO	Illuminazione	Building Automation	Chiusure vetrate	Superfici opache	Caldaia a condensazione	Pompe di calore	Solare termico	Solar cooling	Cogenerazione
Scuole	55-65	1-3	22-27	110-117	45-50	55-65	2-3		9-14
Ospedali	10-12	0,2-0,7	1-3	0,5-1,5	40-44	2-4	4-6	5-7	18-20
Impianti sportivi	23-27	1-3	10-15	50-60	25-29	28-33	1-3		4-8
Social Housing	18-22	3-7	25-30	110-120	60-70	85-100	15-20	30-35	
Uffici	2-4	1-3	1-3	2-4	1-3	4-6		1-3	

Il potenziale di mercato "teorico" dell'efficienza energetica in Italia al 2020 ammonta a circa 2.800 milioni di € all'anno, di cui 180 milioni di € fanno riferimento ad interventi in ambito elettrico e 2.620 milioni di € in ambito termico. Viceversa, il potenziale "atteso" ammonta a circa 975 milioni di € all'anno, corrispondente a circa lo 0,05% del PIL italiano del 2013. Di questi, 120 milioni di € fanno riferimento ai risparmi conseguibili sul consumo elettrico e 855 milioni di € fanno riferimento ai risparmi conseguibili sul consumo termico.

3 Conclusioni

Il report presentato in questo documento fornisce un quadro completo della sostenibilità tecnica, economica ed ambientale delle principali soluzioni tecnologiche per l'efficienza energetica applicabili alla PA italiana, con particolare riferimento ai Comuni.

L'analisi mostra come, ad oggi, esistono due famiglie di tecnologie che raggiungono la convenienza economica nella maggior parte degli ambiti d'applicazione considerati in questo studio. Si tratta innanzitutto dei sistemi di illuminazione efficiente, che riescono a garantire, in ogni ambito di applicazione considerato, un notevole risparmio di energia elettrica (mediamente superiore al 50%) a fronte di un investimento ridotto, se confrontato con il costo necessario per adottare le altre tecnologie contemplate nello studio. In secondo luogo, paiono estremamente efficienti i sistemi di Building Automation la cui adozione, grazie al risparmio di energia elettrica e termica risultante una gestione automatizzata delle utenze dell'edificio, è conveniente in tutti gli ambiti della PA considerati, ad eccezione degli uffici pubblici.

Altre soluzioni tecnologiche sono invece economicamente sostenibili per l'investitore solo in alcuni casi specifici, ossia quando si presentano condizioni di utilizzo e di consumo energetico particolari. In particolare, le pompe di calore risultano convenienti solo nel comparto degli ospedali e degli uffici comunali, in cui il risparmio conseguibile anche dalla generazione di energia per finalità di raffrescamento, unita a quella per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria, giustifica l'investimento maggiore rispetto a sistemi tradizionali. La cogenerazione, invece, risulta ampiamente conveniente solo in ospedali e impianti sportivi, ossia in ambiti d'applicazione caratterizzati da un consumo termico elevato.

Un ulteriore messaggio importante che emerge da questo studio riguarda gli effetti dei sistemi di incentivazione attualmente vigenti sulla convenienza economica delle differenti soluzioni per l'efficienza energetica. Appare evidente come l'impatto dei regimi incentivanti sul ritorno degli investimenti in efficienza energetica negli ambiti della PA considerati sia, nella maggior parte dei casi, non sufficiente a far raggiungere la convenienza economica a quelle tecnologie che di per sé non lo sono. In particolare, solo nel caso di un investimento "forzato" in un impianto a caldaia a condensazione installata in un'unità abitativa pubblica, il beneficio derivante dall'ottenimento di Titoli di Efficienza Energetica garantisce un ritorno economico accettabile per l'investitore. Se per la maggior parte delle soluzioni gli incentivi vigenti non forniscono un beneficio tale da determinarne la sostenibilità economica, è altrettanto indiscutibile che nei casi precedentemente citati essi migliorano i ritorni economici di soluzioni che di per sé sono già convenienti, sistemi di illuminazione efficienti ed impianti di Building Automation su tutte.

Appare dunque evidente come ancor oggi la sostenibilità economica delle soluzioni per l'efficienza energetica nella PA rappresenti una barriera per la loro diffusione. Per superare tale ostacolo, una possibile strada potrebbe consistere in una parziale revisione dei meccanismi di incentivazione. Da un lato, infatti, occorrerebbe definire sistemi di incentivazione che tengano conto delle caratteristiche peculiari di ogni possibile soluzione utilizzabile per fare efficienza negli edifici pubblici. Dall'altro lato, inoltre, sarebbe necessario valutare le caratteristiche dell'edificio a cui sono applicate le soluzioni per l'efficienza energetica ed in particolare i consumi di elettricità e calore, le destinazioni d'utilizzo dell'energia e quanto è efficiente energeticamente l'edificio. Questi fattori hanno infatti un peso determinante nell'influenzare la convenienza economica derivante dall'adozione di una tecnologia energeticamente efficiente. Inoltre, esistono degli spazi per ridurre la dispersione degli sforzi del legislatore, dato che esistono alcune soluzioni tecnologiche di per sé convenienti che vengono comunque incentivate e dato che i campi di applicazione dei tre meccanismi di incentivazione oggi disponibili siano in parte sovrapposti.

In un contesto di spending review permanente, resa ormai ineludibile dal perdurare della crisi economica che attanaglia il nostro Paese da quasi un decennio, è fondamentale quindi trovare dei meccanismi capaci di sbloccare gli investimenti in efficienza energetica nella PA, dato l'indubbio beneficio ambientale ed

economico che determinerebbero per la PA stessa, stimabile rispettivamente in circa 3 TWh annui di energia elettrica, 30 TWh all'anno di energia termica e circa 1.000 milioni di € di giro d'affari annuo.

4 Riferimenti bibliografici

- Agenzia del Territorio (2013), Statistiche Catastali 2012.
- Agenzia del Territorio (2012), Rapporto immobiliare 2012.
- Decreto Legislativo 30 maggio 2008, n. 115 "Attuazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE".
- Direttiva 2006/32/CE del parlamento europeo e del consiglio del 5 aprile 2006 concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici.
- Direttiva 2012/27/UE del parlamento europeo e del consiglio del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica.
- ENEA (2009), Analisi statistica sul parco edilizio non residenziale e sviluppo di modelli di calcolo semplificati.
- ENEA (2009), Indagine sui consumi degli edifici pubblici (direzionale e scuole) e potenzialità degli interventi di efficienza energetica.
- ENEA (2010), Il mercato degli elettrodomestici e la sua evoluzione temporale.
- ENEA (2010), Le detrazioni fiscali del 55% per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente nel 2009.
- ENEA (2010), Metodologia per la determinazione delle caratteristiche strutturali ed impiantistiche di "edifici tipo" del parco edilizio nazionale ad uso ufficio e valutazione del potenziale di risparmio energetico sulla base della fattibilità degli interventi di riqualificazione energetica.
- ENEA (2013), Rapporto Annuale Efficienza Energetica 2013.
- Energy & Strategy Group – Politecnico di Milano (2011), "Energy Efficiency Report 2011".
- Energy & Strategy Group – Politecnico di Milano (2013), "Energy Efficiency Report 2011".
- Ministero dello Sviluppo Economico (2012), Incentivazione della produzione di energia termica da fonti rinnovabili ed interventi di efficienza energetica di piccole dimensioni.
- Ministero dello Sviluppo Economico (2012), Determinazione degli obiettivi quantitativi nazionali di risparmio energetico che devono essere perseguiti dalle imprese di distribuzione dell'energia elettrica e il gas per gli anni dal 2013 al 2016 e per il potenziamento del meccanismo dei certificati bianchi.
- Ministero dello Sviluppo Economico (2011), Piano d'Azione Italiano per l'Efficienza Energetica 2011.
- Ministero dello sviluppo economico (2013), Bilancio Energetico Nazionale.
- Ministero dello sviluppo economico (2013), Bilancio Energetico Nazionale.
- Ministero dello sviluppo economico (2013), Strategia Energetica Nazionale: per un'energia più competitiva e sostenibile.
- RSE (2010), Analisi di profittabilità dell'investimento di acquisto di Tecnologie Efficienti nel settore Residenziale, Industriale e dei Trasporti.
- RSE (2010), Fabbisogno energetico per la climatizzazione di edifici-tipo situati in località di riferimento.

- SCHNEIDER ELECTRIC (2011), Efficienza Energetica: impatto dell'automazione sulle prestazioni energetiche degli edifici.
- Terna (2012), Dati statistici sull'energia elettrica in Italia.