



Ricerca di Sistema elettrico

Definizione dei parametri per l'ottimizzazione di interventi di riqualificazione in considerazione del fattore costi/benefici

Roberto Armani, Marco Pietrobon, Lorenzo Pagliano

DEFINIZIONE DEI PARAMETRI PER L'OTTIMIZZAZIONE DI INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE IN
CONSIDERAZIONE DEL FATTORE COSTI/BENEFICI

Roberto Armani, Marco Pietrobon, Lorenzo Pagliano (Dipartimento di Energia, 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: Sviluppo di modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica sul patrimonio immobiliare pubblico

Obiettivo: Analisi e strumenti

Responsabile del Progetto: Gaetano Fasano, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Applicabilità di tecnologie innovative e modelli per la realizzazione di interventi di efficienza energetica*"

Responsabile scientifico ENEA: Gaetano Fasano

Responsabile scientifico eERG - Politecnico di Milano: Lorenzo Pagliano

Indice

SOMMARIO	4
1 INTRODUZIONE	5
2 METODOLOGIA	5
3 DESCRIZIONE DEGLI EDIFICI DI RIFERIMENTO	10
3.1 EDIFICIO PER UFFICI	10
3.2 SCUOLA.....	12
4 INPUT DI CALCOLO	14
4.1 MISURE DI EFFICIENZA APPLICATE	16
4.2 SISTEMI IMPIANTISTICI.....	22
4.3 VOCI DI COSTO DEGLI INTERVENTI	25
4.4 PREZZI DELL'ENERGIA	25
4.5 PROSPETTIVA ECONOMICA	26
5 SIMULAZIONI DINAMICHE DEGLI EDIFICI DI RIFERIMENTO	27
6 RISULTATI	30
6.1 UFFICI - ROMA	52
6.2 UFFICI - MILANO.....	59
6.3 SCUOLA - ROMA	66
6.4 SCUOLA - MILANO.....	73
7 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI.....	80
8 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	83
9 ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	84
10 CURRICULUM SCIENTIFICO DEL GRUPPO DI LAVORO.....	85

Sommario

Oggetto dello studio è l'applicazione della metodologia comparativa di cui all'articolo 5 della direttiva 2010/31/UE, a tipologie di edifici esistenti soggetti a ristrutturazione e riqualificazione energetica, con adattamento al contesto italiano.

Per mezzo di questo, sono state valutate possibili strategie e requisiti per edifici a energia quasi zero nelle ristrutturazioni edilizie nel settore terziario e scolastico, considerando due tipologie di interesse sia per il settore privato sia per quello pubblico, quali in particolare

- un edificio per uffici e un edificio scolastico,
- in due contesti climatici italiani (Roma e Milano).

Il lavoro di ricerca si è sviluppato nelle seguenti attività.

- Elaborazione dei risultati di simulazioni energetiche dinamica dei due modelli di edificio con varianti di involucro edilizio per la determinazione dei rispettivi *energy needs* per riscaldamento, raffrescamento ed *energy use* per illuminazione, nei due contesti climatici considerati.
- Elaborazione di curve *energia primaria netta / costi globali sul ciclo di vita* con riferimento alla metodologia comparativa (*metodologia cost-optimal*) per mezzo di strumento di calcolo sviluppato da eERG-PoliMI.
- Valutazione di possibili strategie e requisiti per edifici a energia quasi zero nelle ristrutturazioni edilizie nel settore terziario e scolastico.
- Commenti alla metodologia comparativa adottata con adattamento al contesto italiano.

Nei risultati in generale possiamo vedere che la zona nell'intorno dei valori minimi di energia primaria (netta) - in cui potrebbe essere individuato l'obiettivo di *energia quasi zero* - è caratterizzata da interventi di efficienza energetica e sistemi a fonti rinnovabili con prestazione medie-alte e alte, che compaiono con maggior frequenza in questa area delle nuvole costi/energia dei diversi climi e destinazioni d'uso.

Nelle zone di minimo costo globale - *cost-optimal* - le soluzioni tecnologiche e le prestazioni rilevate appaiono più eterogenee. In generale questa zona è caratterizzata da strategie di involucro di prestazioni energetiche di livello medio e medio/alto, probabilmente dovuto a un maggior equilibrio fra entità dell'investimento iniziale e riduzione dei costi grazie ai risparmi di energia.

1 Introduzione

La direttiva 2012/31/UE, nota anche come *EPBD Recast*, richiede agli Stati Membri di verificare, e nel caso di ridefinire, i requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici in modo che in caso di intervento edilizio le richieste prestazionali formulate dal legislatore raggiungano livelli ottimali dei costi.

Per supportare questa fase di riassetto legislativo, la Commissione Europea il 21 Marzo 2012 ha emanato il Regolamento (UE) N. 244/2012 del 16 gennaio 2012, e il 19 aprile 2012, le Linee Guida a supporto del suddetto Regolamento. Con queste pubblicazioni è stato definito il quadro metodologico per la determinazione dei requisiti di prestazione energetica da applicare agli edifici raggiungendo l'ottimalità dal punto di vista economico.

Il presente rapporto restituisce i risultati dell'applicazione del quadro metodologico delineato dalle linee guida europee ad interventi di ristrutturazione edilizia.

Il mercato delle ristrutturazioni edilizie svolge un ruolo cruciale nel raggiungere gli obiettivi energetici ed ambientali definiti dalla Commissione Europea. Per questo motivo risulta importante esplorare le possibili strade volte a riqualificare energeticamente il patrimonio edilizio esistente, riducendo il numero di edifici energivori, senza perdere di vista la convenienza economica dell'investimento.

Nel dettaglio, la metodologia di calcolo comparativa è stata applicata, nello studio condotto, a interventi di ristrutturazione edilizia di un edificio adibito ad uffici e ad una scuola, virtualmente esistenti, entrambi situati nelle città di Roma e Milano.

Oltre all'analisi delle caratteristiche degli edifici che più frequentemente si presentano nella zona di ottimalità dei costi, sono anche riportate le peculiarità degli interventi che popolano l'area degli edifici che hanno un minor consumo di energia, definibile come area *nZEB* (*edifici a energia quasi zero o nearly Zero Energy Building*). Le due aree sono state messe a confronto.

Le attività di sviluppo e analisi e la definizione dei dati di input sono state svolte in collaborazione con il gruppo di lavoro del progetto di ricerca ENTRANZE - "*Policies to ENforce the TRAnSition to Nearly zero Energy buildings in the EU-27*", finanziato dalla Commissione Europea all'interno del programma Intelligent Energy Europe programme.

2 Metodologia

In attuazione della direttiva 2002/91/CE (nota come *EPBD - Energy Performance of Buildings Directive*), rivista successivamente con la direttiva 2012/31/UE (*EPBD recast*), la metodologia di calcolo utilizzata nel presente studio è coerente con il quadro metodologico per la definizione delle prestazioni energetiche degli edifici ottimali dal punto di vista economico (*cost-optimal*).

La metodologia comparativa specifica come confrontare misure di efficienza energetica, diverse tra loro, da applicare in caso di nuove costruzioni o interventi di ristrutturazione edilizia ad edifici di riferimento al fine di valutare, per ogni modello generato, la corrispondente prestazione energetica e rapportarla al costo globale dell'edificio per un arco temporale di trenta anni. Lo scopo è identificare il livello ottimale in termini di prestazioni energetiche raggiungibili dall'edificio ed i costi necessari da sostenere e da confrontare con gli standard nazionali vigenti.

Il quadro metodologico proposto è definito dal Regolamento delegato (UE) n. 244/2012 del 16 gennaio 2012 e dalle Linee Guida del 19 aprile 2012 a supporto del Regolamento. Il quadro metodologico è sintetizzato in Figura 1.

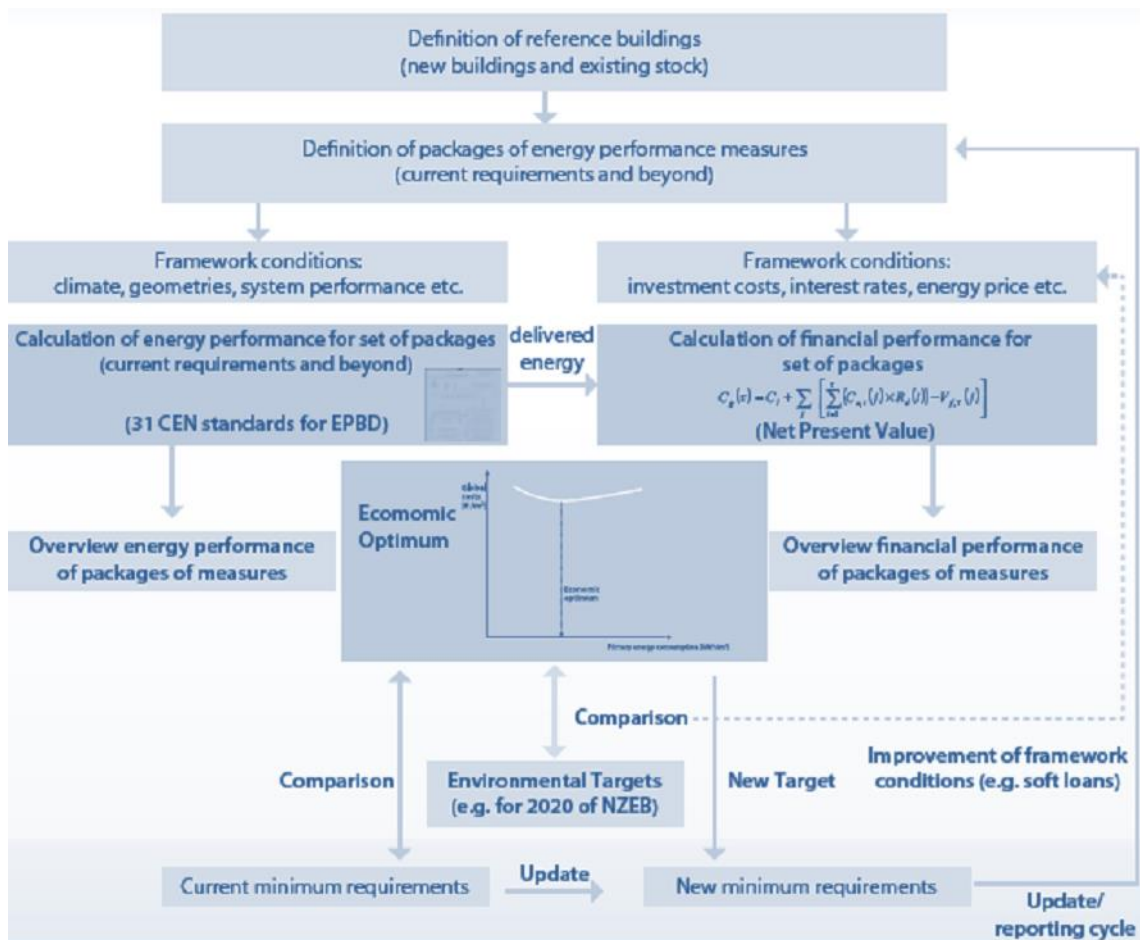


Figura 1. Schematizzazione del quadro metodologico. Fonte [BPIE 2010]

Il calcolo del fabbisogno di energia primaria netta (schematizzato in Figura 2) è effettuato su base annuale. Nel presente studio, l'energia primaria netta annuale, è calcolata pesando in maniera simmetrica l'energia elettrica prodotta in sito ed esportata in rete con quella richiesta dall'edificio per il funzionamento dei sistemi impiantistici installati (riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria, illuminazione, ventilazione meccanica, ausiliari elettrici). Sono esclusi i consumi elettrici diversi da quelli elencati (elettrodomestici, etc.), anche se il loro contributo termico è tenuto in considerazione nel bilancio energetico dell'edificio come apporto interno.

Ne deriva che il termine energia primaria netta, come definito nella 2012/C 115/01 pag. 10 [EU 2012], è il risultato dei seguenti passi:

- Calcolo dell'energia primaria associando all'energia finale i rispettivi coefficienti di conversione di energia primaria.
- Calcolo dell'energia primaria prodotta in sito da un impianto fotovoltaico ed esportata in rete.
- Calcolo dell'energia primaria netta come differenza tra i contributi di cui al punto (a) e (b) calcolata come: (a)-(b).

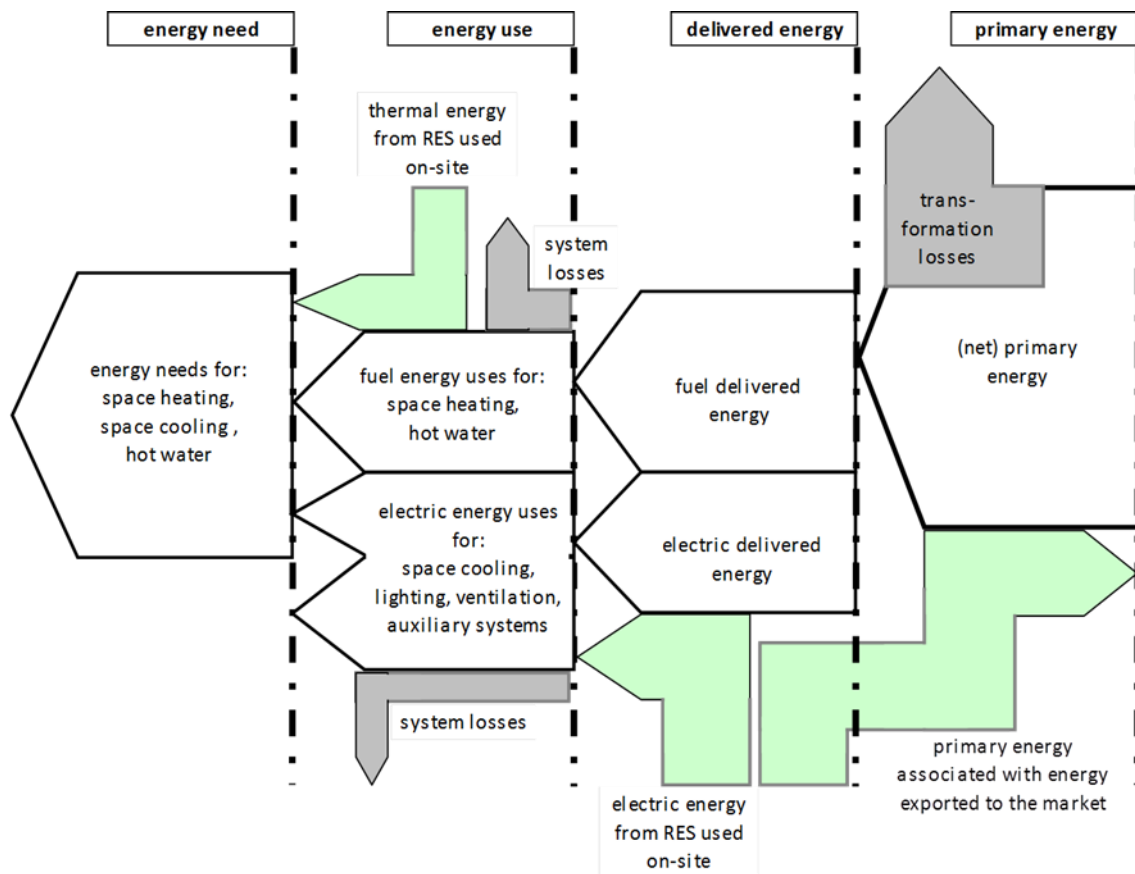


Figura 2. Schema di calcolo del fabbisogno di energia primaria (netto) risultante dall'applicazione delle misure di efficienza, per ogni modello di edificio

La prestazione energetica è calcolata per ogni modello di edificio caratterizzato da una univoca combinazione di misure di efficienza.

Gli step effettuati per il calcolo della prestazione energetica dei modelli di edificio sono stati:

1. Selezione di misure di efficienza energetica, denominati “pacchetti”, da applicare all’edificio (ad esempio: isolamento delle componenti opache con diversi spessori di materiale isolante; sostituzione di componenti trasparenti degli edifici aventi diverse caratteristiche di prestazione energetica; attuazione di strategie di schermatura dalla radiazione solare o di raffrescamento naturale notturno durante la stagione calda; installazione di un sistema di illuminazione con diversi gradi di efficienza energetica sia del corpo illuminante, sia del sistema di controllo e regolazione, etc...).
2. Combinazione di più “pacchetti” per definire una “variante”; il raggruppamento di più varianti gruppo definisce una “famiglia” (combinazione di diverse misure di efficienza).
3. Calcolo del fabbisogno di energia utile (*energy need*) per il riscaldamento, per il raffrescamento; calcolo dell’energia necessaria per l’illuminazione degli ambienti interni per ogni “famiglia” di intervento applicata allo stesso edificio. Questi contributi sono stati determinati attraverso una simulazione in regime dinamico utilizzando il software Energy Plus.
4. Calcolo del fabbisogno di energia utile per acqua calda sanitaria per ogni destinazione d’uso dell’edificio secondo UNI 9182.

5. Accoppiamento ad ogni famiglia di intervento sull' edificio di una univoca combinazione impiantistica (completa di generatore, sistema di distribuzione, terminale di emissione, sistema di regolazione) per il servizio di riscaldamento, di raffrescamento (quando necessario come verificato da simulazioni energetiche dinamiche), e di produzione di acqua calda sanitaria (ACS). La combinazione di una famiglia di intervento con una specifica configurazione impiantistica definisce un "modello" di edificio. Sono evitate combinazioni impiantistiche tecnologicamente incompatibili tra di loro o che avrebbero generato particolari inefficienze al fine di ridurre, per quanto possibile, gli "assurdi impiantistici".
6. Per ogni modello di edificio è stata ipotizzata una ventilazione naturale degli ambienti simulando in ordine: un comportamento efficiente dell'utente formato e istruito e una ventilazione meccanizzata con e senza l'integrazione di un sistema di recupero del calore con bypass estivo.
7. Analogamente a quanto fatto al punto 6 in alcuni casi è stata prevista l'integrazione di sistemi solari per la produzione di acqua calda sanitaria (con una copertura di progetto pari ad almeno il 50% del fabbisogno di energia utile per ACS) e per la produzione di energia elettrica utilizzando sistemi solari fotovoltaici.
8. Calcolo dell'energia finale per ogni modello di edificio includendo il consumo elettrico degli ausiliari e dei ventilatori utilizzando uno strumento di calcolo opportunamente costruito all'uopo dal Gruppo eERG del Politecnico di Milano.
9. Calcolo semplificato ed inclusione nel bilancio energetico dell'i-esimo modello dell'energia generata da rinnovabili "on-site" (da sistemi con collettori solari termici, pannelli solari fotovoltaici, pompa di calore¹) quando presenti.
10. Calcolo dell'energia primaria netta per ogni modello di edificio.

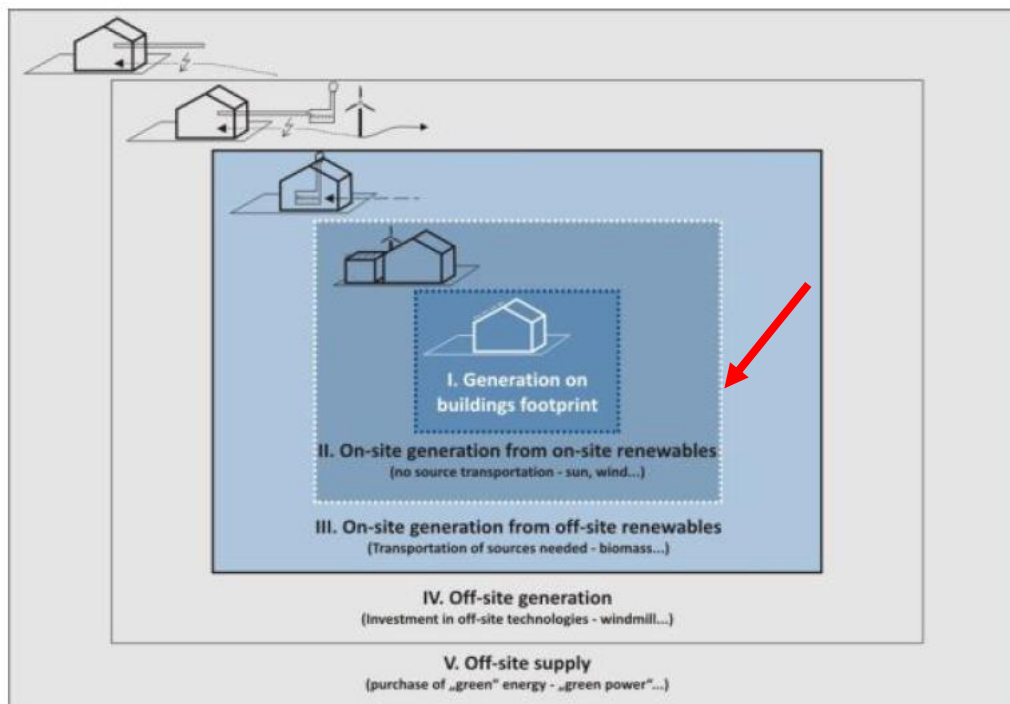


Figura 3. Possibili definizioni dei contributi da fonte di energia rinnovabile in edifici a quasi zero energia [Marszal.2011]

¹ L'energia sottratta da una pompa di calore all'ambiente esterno (energia aerotermica o geotermica) viene considerata come rinnovabile generata in sito quando sono rispettati i limiti e i criteri contenuti nella Decisione della Commissione Europea 2013/114/UE del 01 Marzo 2013.

In questo studio l'energia incorporata per la produzione e trasporto dei materiali edilizi delle tecnologie impiantistiche (chiamata anche energia grigia) non è inclusa nel calcolo. Non si esclude la possibilità che gli Stati Membri decidano di includere anche l'energia incorporata come affinamento della procedura adottata.

L'ultimo passo consiste nella quantificazione economica dell'intervento, anch'essa effettuata per ogni modello di edificio.

Ad ogni tecnologia (impiantistica o di involucro) viene associato il rispettivo costo di installazione. Questo è comprensivo del costo del materiale, della manodopera, dell'utile d'impresa, delle spese generali, della quota parte di spese professionali associate alla specifica lavorazione e delle tasse. Nel caso delle ristrutturazioni, come nel presente studio, si aggiungono i costi necessari per le rimozioni e gli oneri di smaltimento in discarica (confinamento e trasporto inclusi).

Il costo globale dell'intervento viene quindi determinato come somma di tutti i costi di installazione, dei costi di manutenzione delle tecnologie, di eventuali costi di sostituzione, dei costi dell'energia spesa per mantenere le condizioni di comfort all'interno degli ambienti e per alimentare tutti gli usi richiesti (sono esclusi gli elettrodomestici). Il periodo di calcolo è di trenta anni ed il costo globale è attualizzato all'anno zero, che nel presente studio corrisponde al 2011.

Nel dettaglio, la metodologia di calcolo comparativa è stata applicata, nello studio condotto, a interventi di ristrutturazione edilizia di un edificio adibito ad uffici e ad una scuola, virtualmente esistenti, entrambi situati nelle città di Roma e Milano.

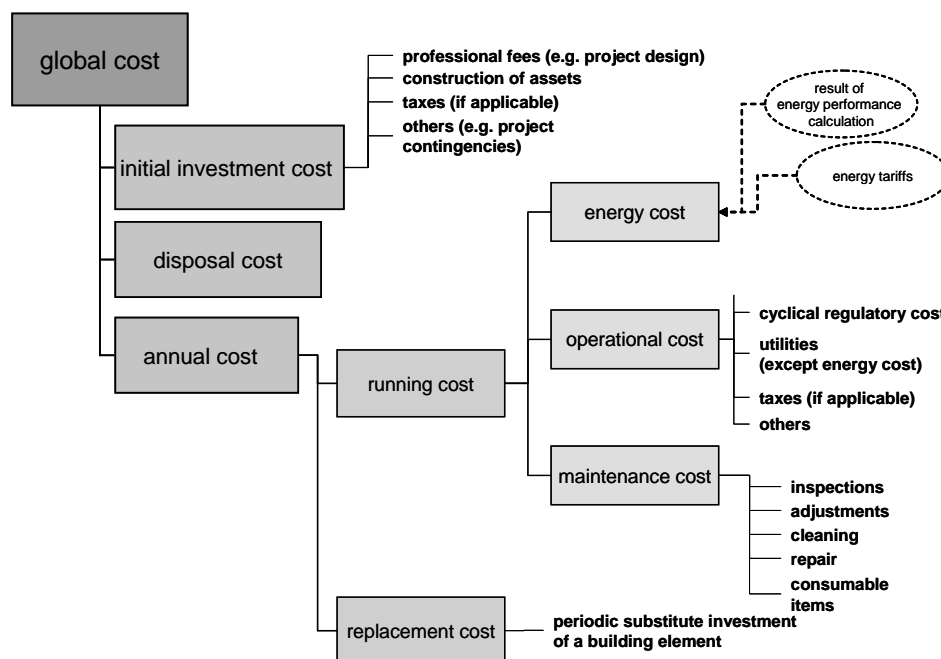


Figura 4. Schema del calcolo del costo globale, attualizzato all'anno zero di calcolo, per ogni modello edificio.

3 Descrizione degli edifici di riferimento

Nel presente studio vengono analizzati edifici diversi dalla residenza. Nello specifico sono oggetto di simulazione un edificio per uffici e una scuola. Gli edifici non sono realmente esistenti, ma virtuali. Le loro caratteristiche geometriche e tecnologiche, sono definite in modo da rappresentare un “edificio tipo” costruito negli anni sessanta e settanta. Per la loro definizione sono stati consultati diversi database e rapporti.

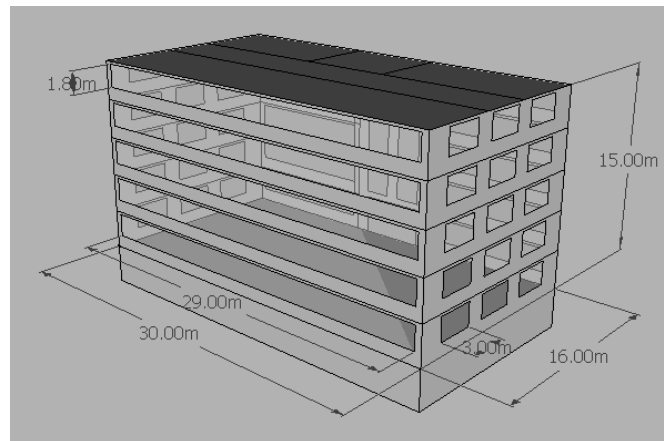


Figura 5. Edificio per uffici

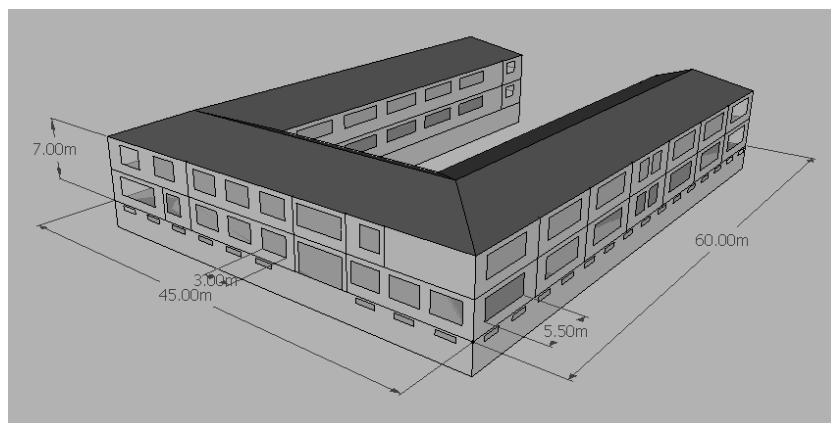


Figura 6. Edificio scolastico

3.1 Edificio per uffici

L’edificio simulato è un edificio di medie dimensioni con un alto rapporto tra superfici trasparenti e superfici opache. La costruzione si sviluppa su cinque piani fuori terra ed un interrato non riscaldato. L’altezza interna netta degli ambienti è stata fissata a 3 m. La superficie netta climatizzata, comprensiva di tutti i piani, è di 2 400 m². La copertura è di tipo piana e confina direttamente con ambienti mantenuti a temperatura controllata. Il rapporto tra superficie disperdente e volume riscaldato (S/V) è pari a 0,33. In Figura 7 sono riportati i prospetti per ogni esposizione e in Tabella 1 alcune caratteristiche geometriche e parametriche utilizzate per la costruzione del modello.

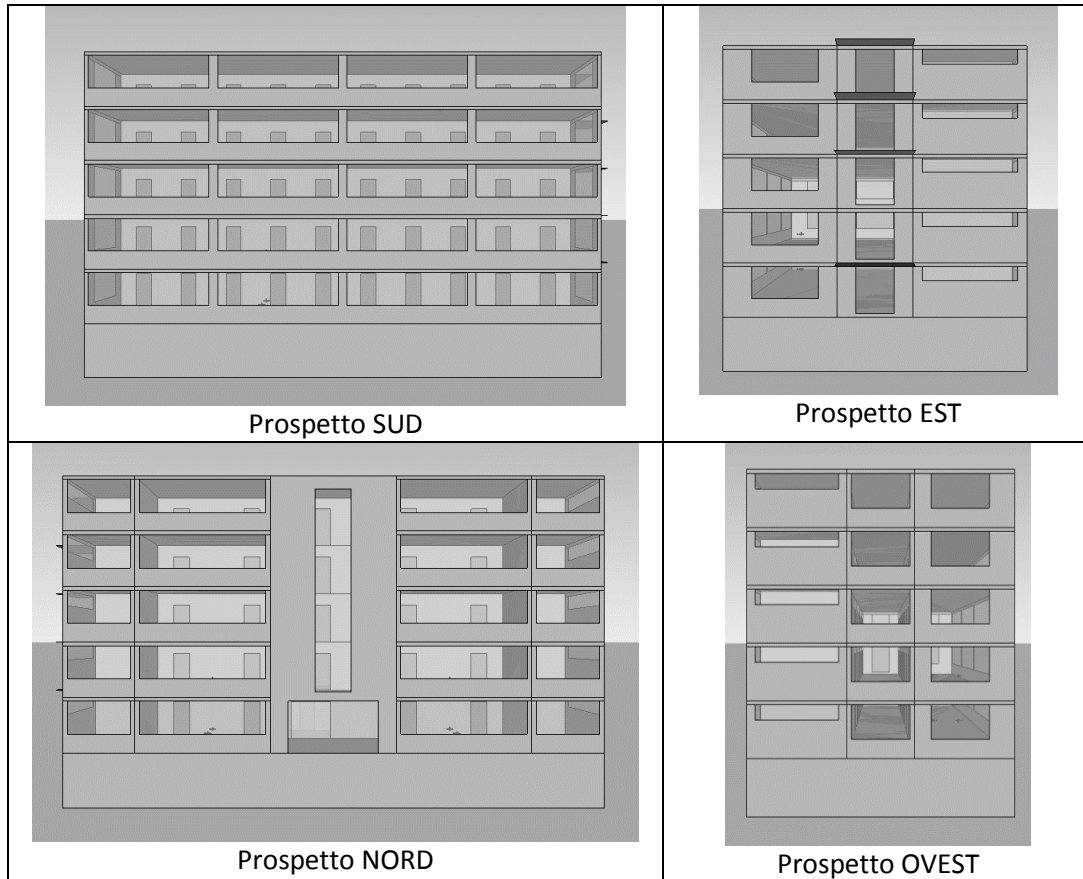


Figura 7. Edificio per uffici: prospetti

Tabella 1. Caratteristiche edificio per uffici

	Parameter	Value
Building geometry	N° of heated floor =	5
	A/V ratio =	0,33 m ² /m ³
	Orientation:	S/N
	Net dimensions of heated volume =	30 x 16 x 15 m
	Net floor area of heated zones =	2400 m ²
	Area of S façade =	450 m ²
	Area of E façade =	240 m ²
	Area of N façade =	450 m ²
	Area of W façade =	240 m ²
	Area of Roof =	480 m ²
	Area of Basement =	480 m ²
	Window area on S façade =	56%
	Window area on E façade =	32%
	Window area on N façade =	50%
Window area on W façade =	35%	
Internal gains	People design level =	18 m ² /people
	Lighting design level =	14 W/m ²
	Appliances design level =	9 W/m ²

3.2 Scuola

L'edificio scolastico si sviluppa su due piani fuori terra ed un semi-interrato non riscaldato. L'altezza interna netta degli ambienti è stata fissata a 3,5 m. La superficie netta climatizzata, comprensiva di tutti i piani, è di 3500 m². La copertura è di tipo inclinata a falde ed è separata dagli ambienti mantenuti a temperatura controllata da uno sottotetto non riscaldato. Il rapporto tra superficie disperdente e volume riscaldato (S/V) è pari a 0,46. In Figura 8 sono riportati i prospetti per ogni esposizione e in Tabella 2 alcune caratteristiche geometriche e parametriche utilizzate per la costruzione del modello.

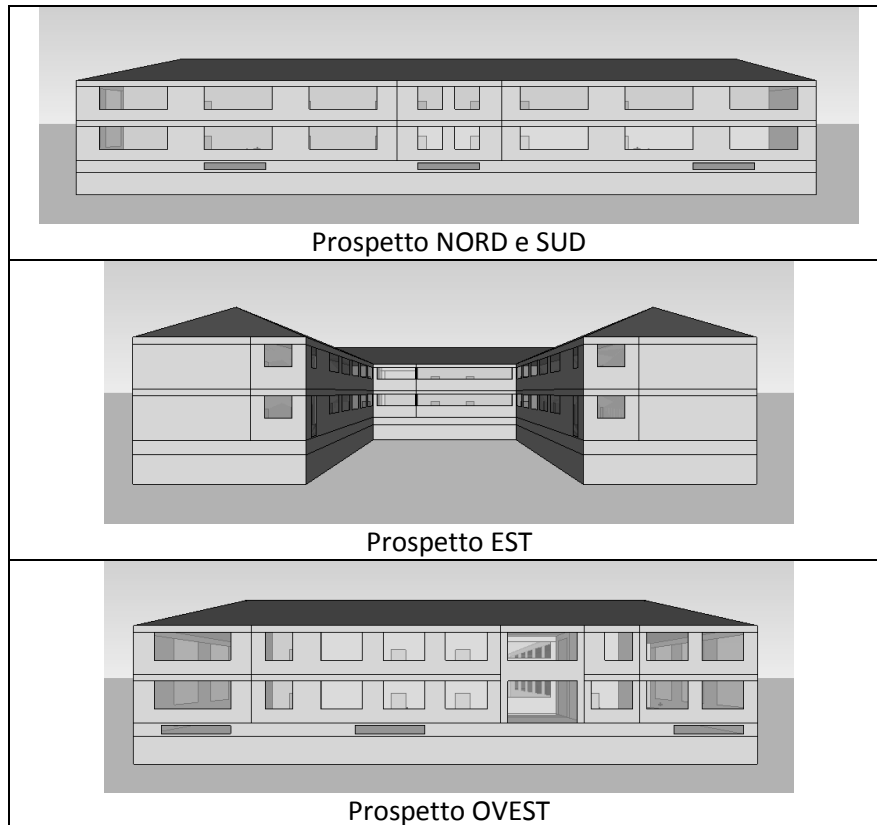


Figura 8. Edificio scolastico: prospetti

Tabella 2. Caratteristiche edificio scolastico

		All Countries
Building geometry	N° of heated floor =	2
	A/V ratio =	0,46 m ² /m ³
	Orientation:	S/N
	Net dimensions of heated volume =	45 x 60 x 7 m (U shape)
	Net floor area of heated zones =	3500 m ²
	Area of S façade =	752,5 m ²
	Area of E façade =	315 m ²
	Area of N façade =	752,5 m ²
	Area of W façade =	315 m ²
	Area of Roof =	1750 m ²
	Area of Basement =	1750 m ²
	Window area on S façade =	32%
	Window area on E façade =	22%
	Window area on N façade =	29%
Window area on W façade =	40%	
Internal gains	People design level =	5,6 m ² /people
	Lighting design level =	12 W/m ²
	Appliances design level =	1,75 W/m ²

4 Input di calcolo

La metodologia di calcolo comparativa richiede uno sforzo iniziale per la corretta definizione dei dati di input necessari ad effettuare i calcoli in termini di costi/energia. Questi possono essere diretti o derivati da calcoli e quindi dipendenti da quelli diretti. Di seguito un elenco degli input diretti necessari all'attuazione della metodologia comparativa:

- Definizione della geometria degli edifici di riferimento.
- Definizione dei parametri climatici.
- Caratterizzazione, mediante una parametrizzazione fisica, dell'edificio base oggetto di ristrutturazione.
- Definizione delle misure di efficienza e caratterizzazione delle loro prestazioni (ad esempio: trasmittanze termiche, fattori di trasmissione solare, tenuta all'aria ecc.).
- Definizione e caratterizzazione dei sistemi impiantisti e dei loro componenti in termini di potenza, consumi e di efficienza.
- Definizione dei ponti termici delle strutture, determinati per ogni variante (combinazione di più pacchetti di intervento).
- Definizione dei profili di utilizzo dell'edificio (schedule).
- Quantificazione economica delle misure di efficienza e degli impianti sul lungo periodo (30 anni).
- Stima della vita utile di delle misure di efficienza e dei sistemi impiantistici.
- Evoluzione dei prezzi dell'energia nel tempo.
- Definizione dei parametri economici che caratterizzano una prospettiva finanziaria (privata): tassi di interesse, tassi di inflazione.

In figura Figura 9 è riportato lo schema di calcolo con tutti gli input necessari richiesti dal calcolo.

Al fine di ottenere una migliore comprensione dei risultati, alcuni dei dati di input indicati in Figura 9 sono stati descritti in maniera più approfondita nei paragrafi che seguono. Schema di calcolo: input e collegamenti.

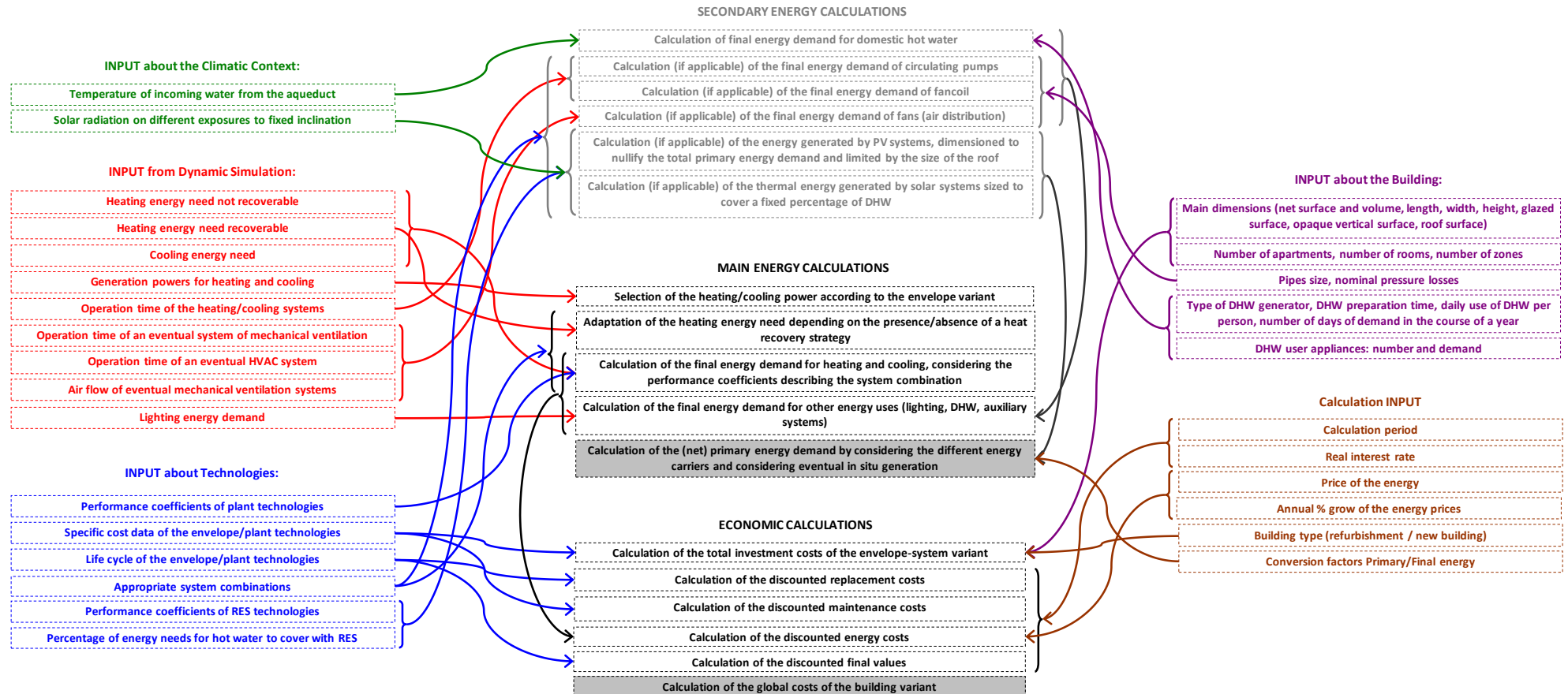


Figura 9. Schema di calcolo: input e collegamenti.

4.1 Misure di efficienza applicate

Le misure di efficienza considerate nel presente studio sono relative ad un interventi di ristrutturazione edilizia su edifici virtualmente esistenti (edificio per uffici e edificio scolastico). A tal proposito è stato ritenuto utile definire un livello di ristrutturazione base di riferimento (BRL); questo permette di osservare le distanze tra il BRL e la zona ottimale dal punto di vista dei costi (*area cost optimal*), nonché dalla zona caratterizzata da quegli edifici con un minor consumo di energia primaria netta definibile come “area nZEB”.

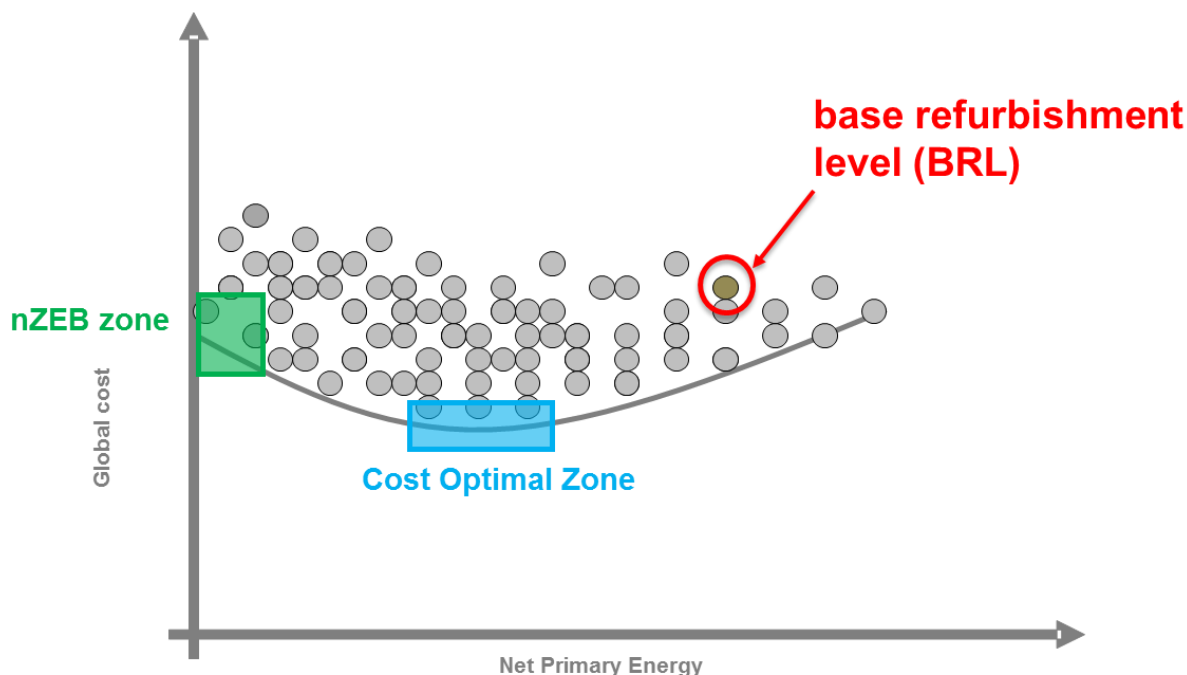


Figura 10. Nuvola Costi/Energia

Il livello di ristrutturazione base (base refurbishment level) (**BRL**), è basato sull’adozione di una serie di opere edili di ristrutturazione volte a ripristinare (con le stesse tecnologie dell’edificio esistente) gli elementi tecnici dell’involucro edilizio per motivi estetici, di perdita di funzionalità o di sicurezza. Lo stesso approccio è applicato ai componenti del sistema impiantistico, sostituiti con pari tecnologia ma con caratteristiche ed efficienze proprie delle tecnologie presenti sul mercato odierno.

La definizione delle misure di efficienza (pacchetti) considerate e combinate in diverso modo (in varianti e modelli) con lo scopo di simulare differenti gradi di efficienza negli interventi di ristrutturazione possono essere raggruppati nei seguenti gruppi:

Involucro edilizio.

All’interno di questo gruppo sono ricomprese principalmente tutte le misure in grado di ridurre la trasmissione del calore e migliorare la tenuta all’aria dell’involucro edilizio con lo scopo di ridurre le perdite per trasmissione, durante il periodo di riscaldamento, e le perdite per ventilazione non controllabili dall’occupante o da un sistema di ventilazione meccanica forzata.

Sistemi di climatizzazione degli ambienti.

Sono tutti i sistemi attivi necessari alla climatizzazione invernale degli ambienti interni. Questo servizio può essere svolto da sistemi più o meno efficienti integrabili con sistemi alimentati da fonti di energia rinnovabile. Ad esempio: caldaie a condensazione, pompe di calore, pannelli solari termici, ecc. combinati con sistemi di distribuzione del fluido termovettore, collegati a terminali di emissione e regolati da un sistema di controllo. In alcuni casi, nell'architettura impiantistica, sono integrati sistemi di accumulo di energia. Analogo discorso vale per gli impianti dedicati al raffrescamento degli ambienti.

Produzione di acqua calda sanitaria (ACS).

L'acqua calda sanitaria è spesso prodotta con il generatore dedicato al riscaldamento degli ambienti, ma può essere fornita da un generatore dedicato e/o integrata con un impianto alimentato ad energia rinnovabile connesso ad un sistema di accumulo termico. Nel presente studio è stato considerato un sistema centralizzato combinato con il riscaldamento degli ambienti che in alcuni casi viene integrato con collettori solari termici in grado di garantire una copertura di progetto minima pari al 50% del fabbisogno di energia primaria per la produzione di ACS.

Sistemi di ventilazione meccanica controllata.

La ventilazione meccanica forzata permette di avere un controllo sulla qualità dell'aria degli ambienti interni, limitando le perdite di calore qualora integrate con un sistema di recupero del calore. Questi sistemi possono avere, all'interno dell'edificio, un layout impiantistico centralizzato o dedicato a singole o più zone. Quest'ultimo a volte può risultare di più facile applicazione negli interventi di ristrutturazione edilizia.

Sistemi di raffrescamento passivo.

In questo gruppo vengono incluse tutte le tecniche e le tecnologie che possono aiutare a ridurre, o in alcuni casi ad evitare, il raffreddamento attivo degli edifici. Rientrano in questa categoria le schermature solari e le strategie di ventilazione notturna con apertura delle finestre.

Illuminazione.

In combinazione con le strategie di raffrescamento passivo adottate, sono stati modellati anche interventi di efficienza energetica sui corpi illuminanti. In particolare si prevede la sostituzione dei corpi esistenti con quelli a minor consumo di energia (con conseguente riduzione degli apporti interni), accoppiati in alcuni casi con sistemi di controllo automatico in grado di garantire condizioni di confort visivo ottimali.

Gli interventi edili di efficienza applicati agli edifici di riferimento sono stati ripartiti in cinque macro categorie che definiscono i pacchetti tecnologici:

- **(e)**: involucro opaco (interventi su pareti, sul solaio del piano terra verso ambienti non riscaldati, sulla copertura o in alternativa sul solaio verso il sottotetto). All'interno del volume climatizzato non sono presenti ambienti non mantenuti a temperatura controllata.
- **(w)**: involucro trasparente (sostituzione di finestre comprensive di vetro e telaio).
- **(c)**: strategie di raffrescamento passivo (attuazione di sistemi di ventilazione notturna, installazione schermature solari).
- **(L)**: riduzione degli apporti interni dovuti all'illuminazione degli ambienti con sostituzione dei corpi illuminanti ed eventuale integrazione con un sistema di controllo automatico.
- **(HR)**: in caso di presenza di un sistema di ventilazione forzata può essere contestualmente installato anche un sistema di recupero di calore dell'aria in espulsione (Y) oppure evitato (N)

Ad ogni combinazione di più pacchetti (variante) è associato un simbolo che identifica qualitativamente il livello di efficienza: (-): basso ; (o-): medio basso ; (o): medio ; (o+) medio alto ; (+) alto.

Tabella 3. Pacchetti e Varianti considerati nei calcoli. Edificio per uffici

OFFICE				ROME		MILAN	
PACKAGES	BUILDING TECHNOLOGY	PARAMETERS	UNIT	VARIANT	VALUE	VARIANT	VALUE
OPAQUE ENVELOPE	External Wall	U	W/m ² K		1,17		1,17
	Roof	U	W/m ² K	e:-	1,28	e:-	1,28
	Basement	U	W/m ² K		1,74		1,74
	External Wall	U	W/m ² K		0,44		0,44
	Roof	U	W/m ² K	e:o-	0,45	e:o-	0,45
	Basement	U	W/m ² K		0,50		0,50
	External Wall	U	W/m ² K		0,27		0,27
	Roof	U	W/m ² K	e:o	0,20	e:o	0,20
	Basement	U	W/m ² K		0,29		0,29
	External Wall	U	W/m ² K		0,15		0,13
	Roof	U	W/m ² K	e:o+	0,13	e:o+	0,13
	Basement	U	W/m ² K		0,21		0,21
WINDOWS	Window Air permeability	U *	W/m ² K		5,78		3,47
		Solar Trasm.	-	w:-	0,85	w:o	0,73
		Visible Trasm.	-		0,90		0,81
		air infiltration	1/h		1,15		1,15
	Window Air permeability	U *	W/m ² K		2,72		2,11
		Solar Trasm.	-	w:o	0,73	w:o+	0,52
		Visible Trasm.	-		0,81		0,76
		air infiltration	1/h		0,61		0,23
	Window Air permeability	U *	W/m ² K		2,11		0,77
		Solar Trasm.	-	w:o+	0,52	w:+	0,33
		Visible Trasm.	-		0,76		0,65
		air infiltration	1/h		0,23		0,08
COOLING STRATEGIES	Solar shading	-	-		-		-
	Night-Cooling	h ⁻¹	1/h		0		0
	Lighting Load	power **	W/m ²	c:o- L: o	18-8-18	c:o- L: o	18-8-18
	Lighting Control	-	-		-		-
	Solar shading	-	-		-		-
	Night-Cooling	h ⁻¹	1/h		2,5		2,5
	Lighting Load	power **	W/m ²	c:o+ L: o+	12-5-12	c:o+ L: o+	12-5-12
	Lighting Control	-	-		-		-
	Solar shading	-	-		-		-
	Night-Cooling	h ⁻¹	1/h		5,0		5,0
	Lighting Load	power **	W/m ²	c:+ L:+	6-2-6	c:+ L:+	6-2-6
	Lighting Control	-	-		-		-

Tabella 4. Pacchetti e Varianti considerati nei calcoli. Edificio scolastico

SCHOOL				ROME		MILAN	
PACKAGES	BUILDING TECHNOLOGY	PARAMETERS	UNIT	VARIANT	VALUE	VARIANT	VALUE
OPAQUE ENVELOPE	External Wall	U	W/m ² K		1,17		1,17
	Roof	U	W/m ² K	e:-	1,57	e:-	1,57
	Basement	U	W/m ² K		1,74		1,74
	External Wall	U	W/m ² K		0,44		0,44
	Roof	U	W/m ² K	e:0-	0,48	e:0-	0,48
	Basement	U	W/m ² K		0,50		0,50
	External Wall	U	W/m ² K		0,27		0,27
	Roof	U	W/m ² K	e:0	0,20	e:0	0,20
	Basement	U	W/m ² K		0,29		0,29
	External Wall	U	W/m ² K		0,15		0,13
	Roof	U	W/m ² K	e:0+	0,13	e:0+	0,13
	Basement	U	W/m ² K		0,21		0,21
WINDOWS	Window Air permeability	U *	W/m ² K		5,77		3,47
		Solar Trasm.	-	w:-	0,85	w:0	0,73
		Visible Trasm	-		0,90		0,81
		air infiltration	1/h		0,75		0,75
	Window Air permeability	U *	W/m ² K		2,71		2,10
		Solar Trasm.	-	w:0	0,77	w:0+	0,52
		Visible Trasm	-		0,81		0,76
		air infiltration	1/h		0,40		0,15
	Window Air permeability	U *	W/m ² K		2,10		0,77
		Solar Trasm.	-	w:0+	0,52	w:+	0,33
		Visible Trasm	-		0,76		0,65
		air infiltration	1/h		0,15		0,05
COOLING STRATEGIES	Solar shading	-	-		-		-
	Night-Cooling	h ⁻¹	1/h	c:0-	0	c:0-	0
	Lighting Load	power **	W/m ²	L: 0	18-15-8	L: 0	18-15-8
	Lighting Control	-	-		-		-
	Solar shading	-	-		-		-
	Night-Cooling	h ⁻¹	1/h	c:0+	2,5	c:0+	2,5
	Lighting Load	power **	W/m ²	L: 0+	12-10-5	L: 0+	12-10-5
	Lighting Control	-	-		-		-
	Solar shading	-	-		-		-
	Night-Cooling	h ⁻¹	1/h	c:+	5,0	c:+	5,0
	Lighting Load	power **	W/m ²	L:+	6-5-2	L:+	6-5-2
	Lighting Control	-	-		-		-

Note sulle Tabella 3 e Tabella 4:

* Il valore di trasmittanza U [W/m^2K] espresso per le superfici trasparenti è indicativo. Ogni finestra, in funzione delle sue dimensioni e del rapporto tra vetro e telaio, è caratterizzata da un proprio valore di trasmittanza termica.

** I valori di potenza installata per l'illuminazione degli ambienti interni, espressi in W/m^2 , sono attribuiti a:

- per l'edificio per uffici, i valori indicati in tabella si riferiscono rispettivamente a uffici, ambienti di servizio e sala riunioni.
- per l'edificio scolastico, i valori indicati in tabella si riferiscono rispettivamente ad aule, uffici e locali di servizio.

Le diverse varianti sono state combinate tra di loro con lo scopo di creare delle famiglie di intervento da applicare alla geometria dell'edificio e quindi di calcolare i fabbisogni di energia utile attraverso la simulazione dinamica con il software Energy Plus. Nella creazione delle famiglie si è evitato di accoppiare varianti di interventi particolarmente efficienti con altre di scarso livello, mantenendo così una certa coerenza dell'intervento. Non sono modellati interventi parziali di ristrutturazione.

Tabella 5. Composizione delle famiglie di intervento come combinazioni di varianti. HR:N significa che presente un sistema di ventilazione meccanica con recupero di calore è assente ; mentre HR:Y se c'è presenza di un sistema di ventilazione meccanica con recupero del calore. Per la descrizione delle altre sigle vedere la Tabella 3 e la Tabella 4. Edificio per uffici e scuola.

famiglia	Roma	Milano
1	e:- w:- c:o- L:o HR:N	e:- w:o c:o- L:o HR:N
2	e:- w:- c:o+ L:o+ HR:N	e:- w:o c:o+ L:o+ HR:N
3	e:- w:o c:o- L:o HR:N	e:- w:o+ c:o- L:o HR:N
4	e:- w:o c:o+ L:o+ HR:N	e:- w:o+ c:o+ L:o+ HR:N
5	e:o- w:- c:o- L:o HR:N	e:o- w:o c:o- L:o HR:N
6	e:o- w:- c:o+ L:o+ HR:N	e:o- w:o c:o+ L:o+ HR:N
7	e:o- w:o c:o+ L:o+ HR:N	e:o- w:o+ c:o+ L:o+ HR:N
8	e:o- w:o c:+ L:+ HR:N	e:o- w:o+ c:+ L:+ HR:N
9	e:o- w:o+ c:o+ L:o+ HR:N	e:o- w:+ c:o+ L:o+ HR:N
10	e:o- w:o+ c:+ L:+ HR:N	e:o- w:+ c:+ L:+ HR:N
11	e:o w:o c:o+ L:o+ HR:N	e:o w:o+ c:o+ L:o+ HR:N
12	e:o w:o c:+ L:+ HR:N	e:o w:o+ c:+ L:+ HR:N
13	e:o w:o+ c:o+ L:o+ HR:N	e:o w:+ c:o+ L:o+ HR:N
14	e:o w:o+ c:+ L:+ HR:N	e:o w:+ c:+ L:+ HR:N
15	e:o+ w:o c:o+ L:o+ HR:N	e:o+ w:o+ c:o+ L:o+ HR:N
16	e:o+ w:o c:+ L:+ HR:N	e:o+ w:o+ c:+ L:+ HR:N
17	e:o+ w:o+ c:o+ L:o+ HR:N	e:o+ w:+ c:o+ L:o+ HR:N
18	e:o+ w:o+ c:+ L:+ HR:N	e:o+ w:+ c:+ L:+ HR:N
19	e:- w:- c:o- L:o HR:Y	e:- w:o c:o- L:o HR:Y
20	e:- w:- c:o+ L:o+ HR:Y	e:- w:o c:o+ L:o+ HR:Y
21	e:- w:o c:o- L:o HR:Y	e:- w:o+ c:o- L:o HR:Y
22	e:- w:o c:o+ L:o+ HR:Y	e:- w:o+ c:o+ L:o+ HR:Y
23	e:o- w:- c:o- L:o HR:Y	e:o- w:o c:o- L:o HR:Y
24	e:o- w:- c:o+ L:o+ HR:Y	e:o- w:o c:o+ L:o+ HR:Y
25	e:o- w:o c:o+ L:o+ HR:Y	e:o- w:o+ c:o+ L:o+ HR:Y
26	e:o- w:o c:+ L:+ HR:Y	e:o- w:o+ c:+ L:+ HR:Y
27	e:o- w:o+ c:o+ L:o+ HR:Y	e:o- w:+ c:o+ L:o+ HR:Y
28	e:o- w:o+ c:+ L:+ HR:Y	e:o- w:+ c:+ L:+ HR:Y
29	e:o w:o c:o+ L:o+ HR:Y	e:o w:o+ c:o+ L:o+ HR:Y
30	e:o w:o c:+ L:+ HR:Y	e:o w:o+ c:+ L:+ HR:Y
31	e:o w:o+ c:o+ L:o+ HR:Y	e:o w:+ c:o+ L:o+ HR:Y
32	e:o w:o+ c:+ L:+ HR:Y	e:o w:+ c:+ L:+ HR:Y
33	e:o+ w:o c:o+ L:o+ HR:Y	e:o+ w:o+ c:o+ L:o+ HR:Y
34	e:o+ w:o c:+ L:+ HR:Y	e:o+ w:o+ c:+ L:+ HR:Y
35	e:o+ w:o+ c:o+ L:o+ HR:Y	e:o+ w:+ c:o+ L:o+ HR:Y
36	e:o+ w:o+ c:+ L:+ HR:Y	e:o+ w:+ c:+ L:+ HR:Y

4.2 Sistemi impiantistici

Ogni famiglia di intervento di ristrutturazione, successivamente al calcolo del fabbisogno di energia utile, è stato assegnato un set di combinazioni impiantistiche al fine di creare dei modelli di edifici che siano univocamente riconoscibili tra di loro.

Per ogni edificio viene sempre assegnato un sistema di climatizzazione invernale. Al contrario, nei casi in cui a seguito della simulazione dinamica, si verificano condizioni di comfort tali per cui non è giustificabile l'installazione di un impianto di climatizzazione estiva, tale sistema impiantistico non viene considerato e pertanto non è stato inserito nella quantificazione del costo globale.

In Tabella 6 è riportato l'elenco dei sistemi impiantistici considerati e combinati tra di loro per la generazione dei modelli.

Le prestazioni e le efficienze dei diversi sistemi impiantistici e dei loro ausiliari sono derivati da standard di riferimento nazionali e regionali, nonché da bibliografia specialistica.

Nel caso dei generatori a gas a condensazione i rendimenti possono variare in funzione del sistema di emissione associato poiché le temperature di ritorno del fluido termovettore si differenziano da sistema a sistema, con conseguenti ripercussioni sul funzionamento a condensazione di questa tipologia di caldaie.

Diverso invece è il calcolo delle prestazioni delle pompe di calore. Queste sono state determinate per ogni famiglia di edificio e per ogni contesto climatico conformemente alla EN 14825 (2012) (Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling - Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance).

In alcuni casi, anche i sistemi di emissione possono variare il proprio rendimento di emissione in funzione della potenza di emissione richiesta al terminale.

In Tabella 7 sono riportati i rendimenti e i loro intervalli di prestazione per i singoli componenti dei sistemi impiantistici considerati.

Tabella 6. Sistemi impiantistici considerati

System plants considered in the generation of cost energy cloud
<p>HEATING GENERATION:</p> <p>remove the old heating generation system and install a new system of the same type</p> <ul style="list-style-type: none"> standard gas boiler condensig gas boiler reversible heat pump ground source heat pump connection to a district heating biomass boiler
<p>COOLING GENERATION:</p> <p>remove the old cooling generation system and install a new system of the same type</p> <ul style="list-style-type: none"> no cooling system * reversible heat pump ground source heat pump chiller with high SEER
<p>HEATING EMISSION:</p> <ul style="list-style-type: none"> insulated radiant floor radiator fan coil / split air diffuser
<p>COOLING EMISSION:</p> <ul style="list-style-type: none"> no cooling emission system * insulated radiant floor + local dehumidifier fan coil / split air diffuser
<p>HEATING DISTRIBUTION:</p> <ul style="list-style-type: none"> no insulation insulated pipe
<p>COOLING DISTRIBUTION:</p> <ul style="list-style-type: none"> no cooling distribution system * insulated pipe
<p>HEATING CONTROL:</p> <ul style="list-style-type: none"> climatic control system climatic + room indoor control system
<p>COOLING CONTROL:</p> <ul style="list-style-type: none"> no cooling control system * climatic control system climatic + room indoor control system
<p>MECHANICAL VENTILATION:</p> <ul style="list-style-type: none"> no mechanical ventilation (open the window with conscientious user behavior) mechanical ventilation for IAQ (install a plants only for indoor air quality) mechanical ventilation HVAC (indoor air quality +conditioning)
<p>SOLAR PANELS - PHOTOVOLTAIC:</p> <ul style="list-style-type: none"> photovoltaic absent photovoltaic present
<p>SOLAR PANELS - THERMAL:</p> <ul style="list-style-type: none"> solar thermal panels absent solar thermal panels present only for DHW
<p>HEAT RECOVERY:</p> <ul style="list-style-type: none"> heat recovery absent heat recovery present with higt efficiency (thermal exchange)

Tabella 7. Rendimenti dei componenti del sistema impiantistico

System type:	Efficiency coefficient in heating	Efficiency coefficient in cooling
Generation systems		
gas boiler	80%	-
condensing gas boiler	95% -104%	-
air to water reversible heat pump (high SCOP - SEER)	different for each building model of use and climate (see below)	
ground source reversible heat pump (high SCOP - SEER)	different for each building model of use and climate (see below)	
district heating connection	100%	-
biomass boiler	90%	-
Emission systems		
insulated radiant floor	97%-99%	97%
radiator	92%-95%	-
fan coil / split	94% - 96%	98%
air diffuser	90% - 94%	97%
Distribution systems		
not insulated pipes	92% - 95%	92% - 95%
insulated pipes	99%	99%
Control systems		
climatic control system	86% - 80%	90%
climatic + room indoor control system	98%-95%	98%

I sistemi solari fotovoltaici considerati sono costituiti da pannelli in silicio monocristallino con un fattore di potenza di picco pari a 150 W/m² e dai collettori solari termici con una efficienza pari a 72% dedicati alla produzione di acqua calda sanitaria.

Per entrambi i sistemi viene considerata una perdita di efficienza per invecchiamento e degrado pari all'1% annuo.

In merito al dimensionamento dell'impianto fotovoltaico sono stati applicati i seguenti vincoli:

- Superficie disponibile per l'installazione: 50% della copertura a disposizione, escludendo le falde inclinate esposte a Nord, al netto della superficie occupata dai collettori solari termici (questi ultimi, quando presenti, godono di priorità di installazione).
- Impianto fotovoltaico dimensionato per coprire al massimo la domanda di energia primaria dell'edificio.
- L'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico viene valutata come auto-consumata per una quota del 50%. La restante parte è considerata come immessa in rete e remunerata con un prezzo di vendita pari ad un terzo del prezzo di acquisto.

Il sistema di recupero del calore in un sistema di ventilazione è stato considerato all'interno delle simulazioni dinamiche, ipotizzando uno scambiatore di calore con una efficienza pari all'80%. In questi casi, rispetto allo stesso edificio che non prevede l'installazione di un recuperatore, viene considerata una perdita di pressione aggiuntiva del sistema dovuta proprio alla presenza del recuperatore, con conseguente aumento della potenza del ventilatore e dei consumi di energia elettrica per il suo funzionamento. Altre tecnologie che al momento non sono considerate nel presente studio, perché non competitive sul mercato o tecnologicamente non ancora mature, potrebbero essere inserite in sviluppi futuri.

4.3 Voci di costo degli interventi

I costi degli interventi e delle tecnologie impiantistiche sono stati determinati sulla base dell'elenco prezzi delle camere di commercio provinciali disponibili per l'anno 2011 (anno zero di calcolo). La voce di costo è comprensiva del costo del materiale, del costo della manodopera, dell'utile d'impresa, delle spese generali, della quota parte di spese professionali associate alla specifica lavorazione e delle tasse. Trattandosi di interventi di ristrutturazione edilizia, quando necessario, sono stati quantificati separatamente i costi necessari per le rimozioni e gli oneri di smaltimento in discarica (confinamento e trasporto inclusi). Durante questa fase sono stati coinvolti esperti del settore, appartenenti al mondo professionale e aziendale, che hanno contribuito alla creazione del database dei costi, quantificando le voci di costo non presenti nei listini della camera di commercio e revisionando le voci di costo ritenute anomale. Al fine di evitare errate valutazioni nella quantificazione dei costi (dovute a mal interpretazione della procedura di calcolo) è stato deciso di considerare tutte le lavorazioni necessarie a fornire l'opera compiuta, includendo anche i costi da sostenere per la realizzazione di opere provvisorie per la sicurezza dei lavoratori (quando necessarie).

I costi necessari per le manutenzioni sono definiti come percentuale rispetto al costo iniziale di realizzazione del singolo intervento, (Standard EN 15459: "Energy performance of buildings – Economic evaluation procedure for energy systems in buildings")

I costi delle sostituzioni e delle rimozioni previste durante ed al termine del periodo di calcolo sono calcolati applicando i tassi di sviluppo dei prezzi degli interventi definiti nel report "Towards nearly zero-energy buildings- Definition of common principles under the EPBD" (Ecofys, eERG, University of Wuppertal) [Ecofys et al. 2013].

4.4 Prezzi dell'energia

I prezzi dei vettori energetici sono tratti dalle proiezioni del modello Poles [ENERDATA 2007].

I prezzi del teleriscaldamento e dell'energia elettrica esportata (tratteggiati nelle Figura 11 e Figura 12) non sono forniti dal modello a lungo termine, ma derivati dalle proiezioni riferite ai vettori energetici principali. In particolare il prezzo del teleriscaldamento assume un trend simile a quello del gas ed un valore derivato dal mix di prezzi relativi al gas metano ed al petrolio. Il grado di incertezza introdotto merita qualche considerazione aggiuntiva nei risultati di calcolo, considerando il fatto che il più delle volte il prezzo dell'energia da teleriscaldamento è frutto di una pura contrattazione economica tra le parti.

Le proiezioni di lungo termine del modello Poles utilizzate sono riferite ad uno scenario di riferimento ed ad uno scenario definito ambizioso. In quest'ultimo, i prezzi dell'energia acquistata subiscono un incremento annuale maggiore rispetto a quanto atteso nello scenario di riferimento.

Le tasse applicate sui vettori energetici sono incluse nei prezzi dell'energia considerati e mostrati in Figura 11 e in Figura 12.

Per lo scopo del presente studio, i costi operativi legati ai consumi di energia di ogni modello di edificio è ottenuto moltiplicando i kWh di consumo calcolati per ogni sistema impiantistico, per il corrispondente prezzo di acquisto del vettore energetico €/kWh, che varia anno con anno all'interno del periodo di calcolo. La stessa procedura è applicata per la quantificazione del credito generato dall'immissione di energia elettrica prodotta da fotovoltaico e non auto-consumata.

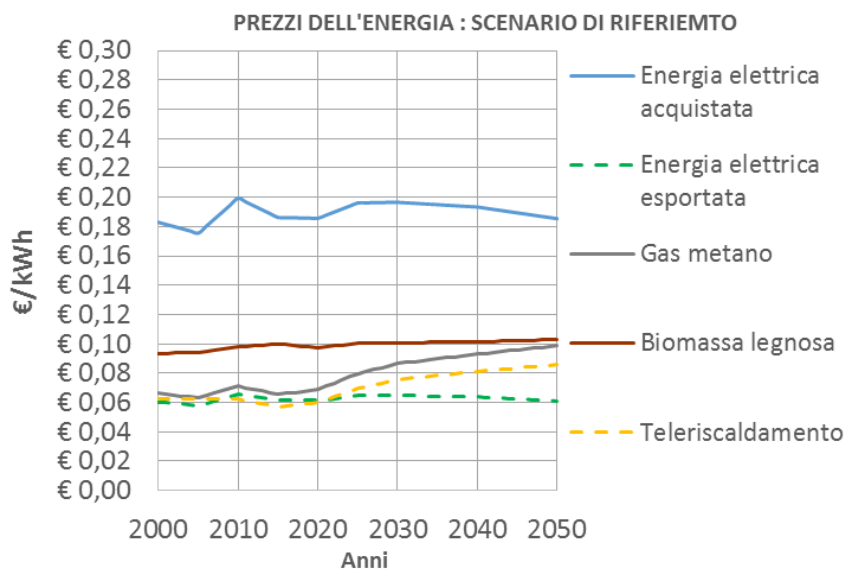


Figura 11. Proiezioni POLES. Prezzi dell'energia, scenario di riferimento

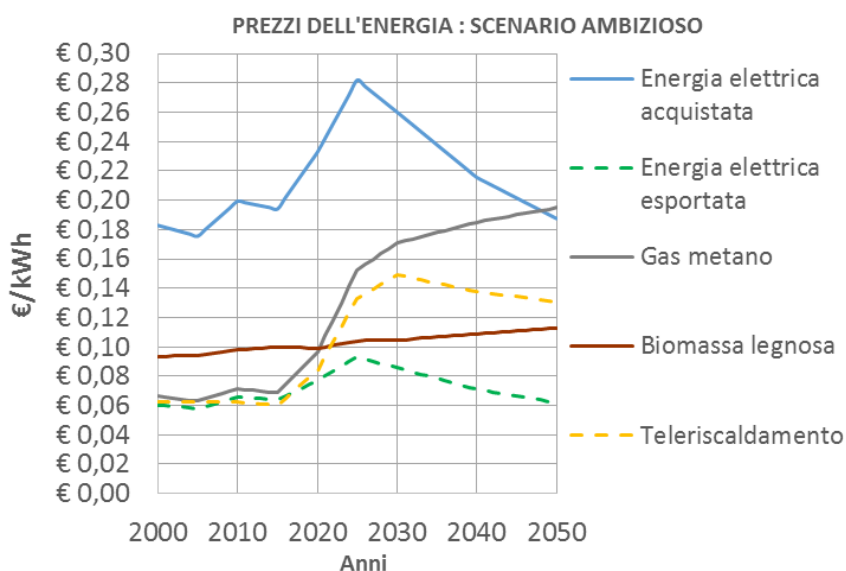


Figura 12. Proiezioni POLES. Prezzi dell'energia, scenario ambizioso.

4.5 Prospettiva economica

La prospettiva economica considerata è quella dell'investitore privato che decide di investire il proprio capitale per la ristrutturazione dell'edificio. Nella prospettiva privata, definita anche prospettiva finanziaria, sono considerati tutti i costi al lordo di tasse e IVA. Il tasso di interesse ed il tasso di inflazione sono determinati come media dei valori assunti negli anni ricompresi nel periodo 2008-2011, fonte EUROSTAT. Il tasso di interesse considerato nei calcoli è pari al 4,61%, mentre il tasso di inflazione si attesta al 2,20%. Non sono considerati il costo delle esternalità (€/tCO₂) e i meccanismi di incentivazione o sussidio riconosciuti agli interventi di ristrutturazione edilizia o di riqualificazione energetica degli edifici. Benefici positivi diversi dai risparmi energetici non sono stati considerati, anche se questi potrebbero risultare rilevanti; ad esempio in un edificio con un involucro ad alte prestazioni dove le temperature sono distribuite in maniera uniforme, con una maggiore disponibilità di luce naturale ed una migliore qualità dell'aria, la produttività degli occupati, a fronte di una miglior condizione di confort, potrebbe aumentare, come dimostrato da alcune campagne di indagine svolte nel passato.

5 Simulazioni dinamiche degli edifici di riferimento

Gli strumenti utilizzati nel presente studio per il calcolo costo/energia di tutti i modelli di edifici simulati sono due: Energy Plus e un foglio di calcolo sviluppato per lo scopo dal gruppo eERG del Politecnico di Milano. Il primo, Energy Plus (versione 7.0 -7.2), è stato utilizzato per effettuare i calcoli in regime dinamico dei fabbisogni di energia utile dell'edificio e dell'energia necessaria per mantenere livelli di illuminazione adeguati all'interno degli ambienti, al variare della tecnologia considerata.

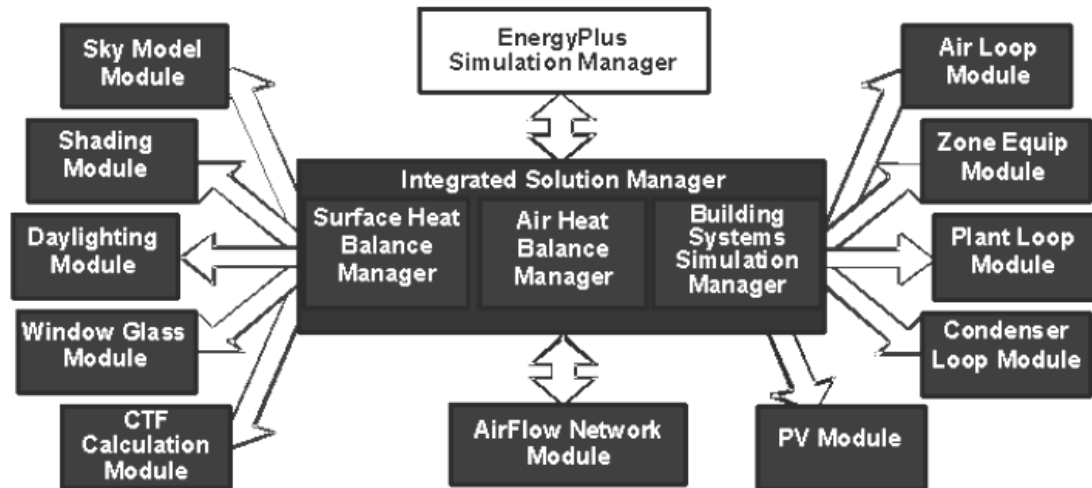


Figura 13. Schema del programma Energy Plus

Le condizioni di comfort sono fissate per tutti i modelli di edificio, così come i ricambi d'aria necessari a garantire le condizioni di salubrità dell'aria degli ambienti interni e a mantenere livelli di qualità dell'aria consoni alla destinazione d'uso. I setpoint di simulazione sono di seguito riassunti:

- In entrambe le destinazioni d'uso (uffici e scuola) i parametri controllati che garantiscono le condizioni di comfort sono la temperatura operativa (fissata a 20 °C durante il periodo di riscaldamento e 26 °C durante il periodo di raffrescamento) e l'umidità relativa che non può scendere al di sotto della soglia del 25% nella stagione fredda e non superare un valore del 60% nella stagione calda.
- I ricambi d'aria impostati nel simulatore corrispondono a 0.8 h⁻¹ nell'edificio per uffici ed a 1.6 h⁻¹ nell'edificio scolastico.

Di seguito i risultati ottenuti dalla simulazione dinamica degli edifici, espressi in kWh/m²anno, suddivisi per destinazione d'uso e per regione climatica.

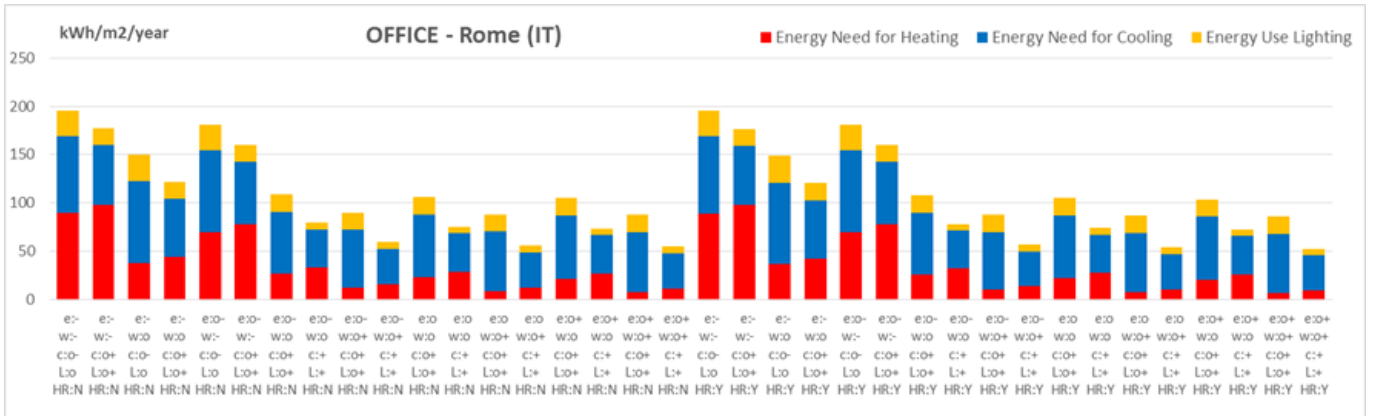


Figura 14. Risultati della simulazione dinamica espressi in kWh/m²anno. Edificio per uffici a Roma

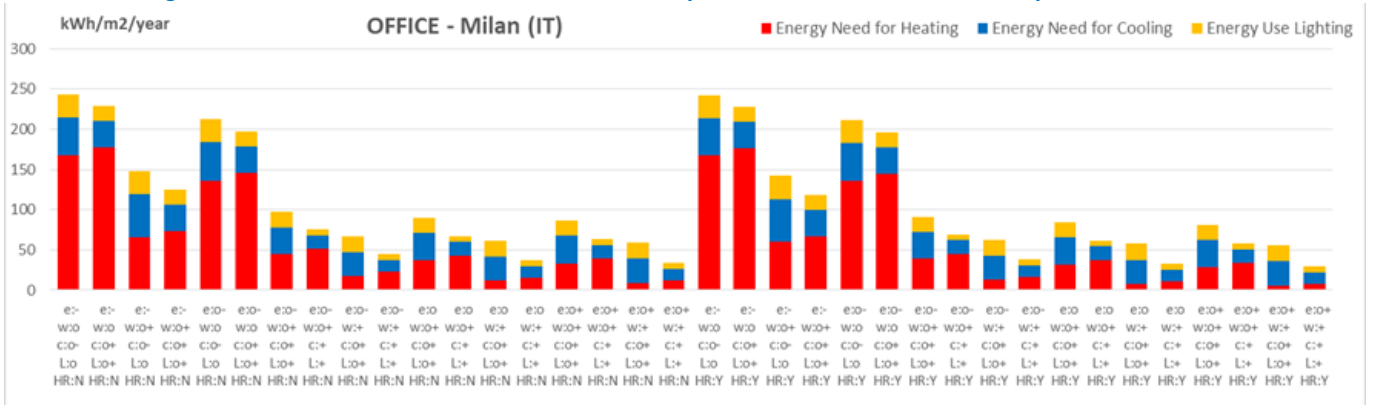


Figura 15. Risultati della simulazione dinamica espressi in kWh/m²anno. Edificio per uffici a Milano

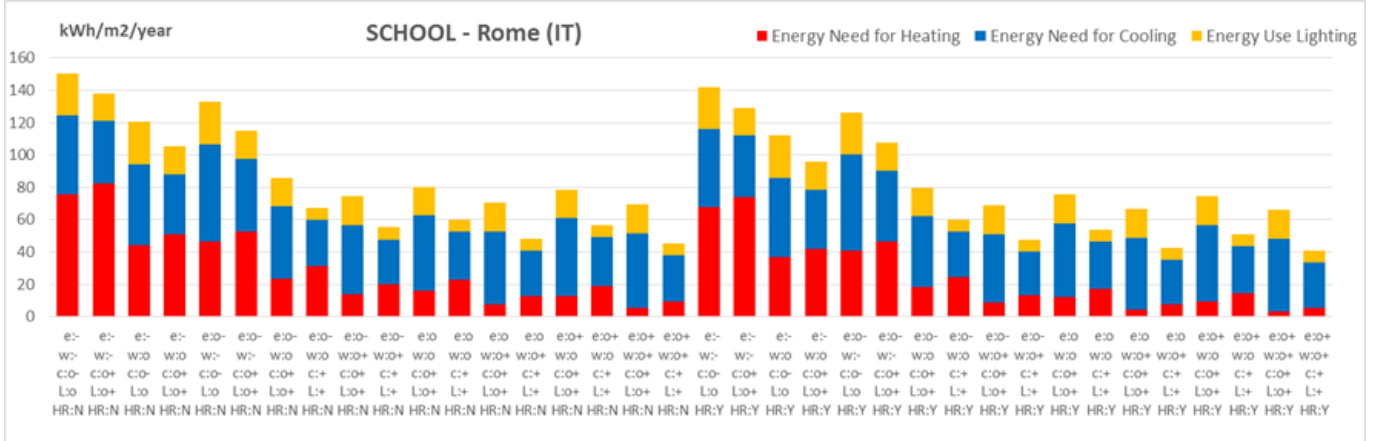


Figura 16. Risultati della simulazione dinamica espressi in kWh/m²anno. Edificio scolastico a Roma

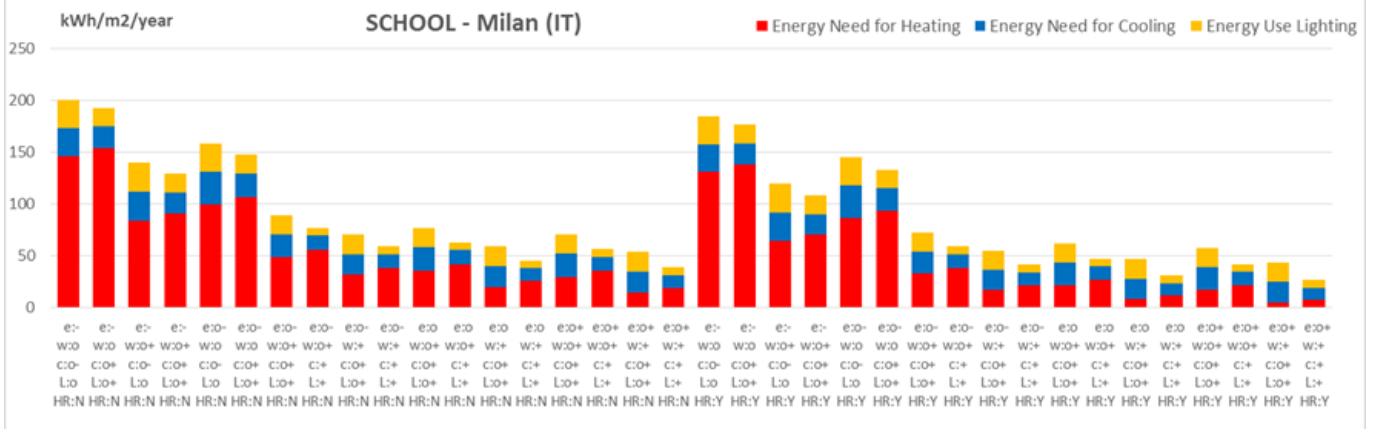


Figura 17. Risultati della simulazione dinamica espressi in kWh/m²anno. Edificio scolastico a Milano

Il secondo strumento utilizzato trattasi di un foglio di calcolo sviluppato e realizzato dal Gruppo eERG che riceve tutti gli input necessari ed è in grado di calcolare l'energia primaria netta e il costo globale di ogni modello di edificio. Oltre ai risultati numerici, il foglio di calcolo genera un grafico con raffigurata la nuvola di punti (ogni punto rappresenta un modello di edificio) con indicato il livello base di ristrutturazione ed il livello ottimale dal punto di vista dei costi (Figura 18).

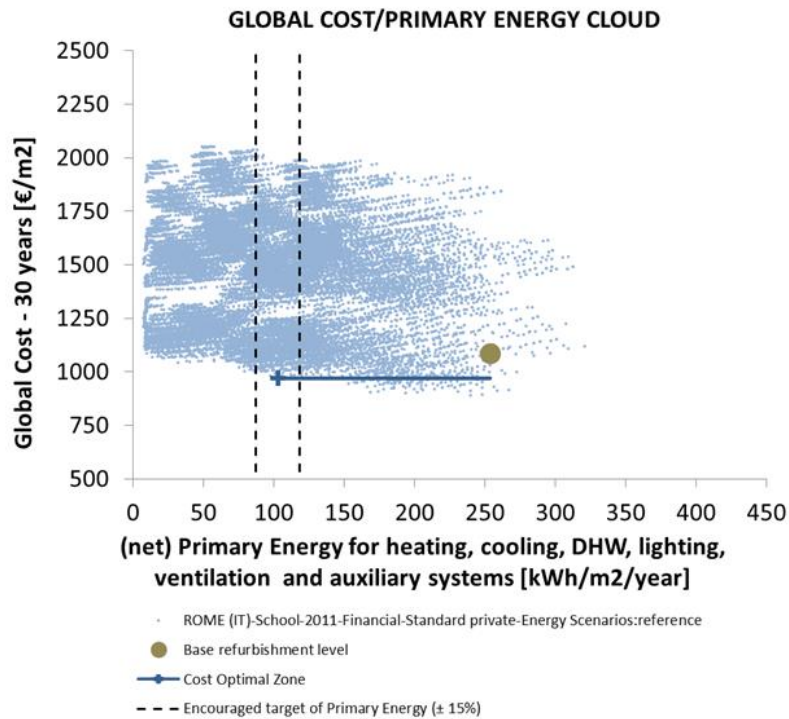


Figura 18. Nuvola di punti Costo Globale/ Energia Primaria netta

6 Risultati

In questo capitolo vengono presentati i risultati dei calcoli ottenuti con l'applicazione della metodologia comparativa alle diverse tipologie edilizie nelle regioni climatiche prese come riferimento (Roma e Milano). I risultati sono espressi con due livelli di dettaglio: il primo mirato alla selezione di edifici target, il secondo che mira ad analizzare in un complesso più generale l'intera nuvola di punti.

Il primo livello di analisi dettaglia una possibile combinazione di strategie di intervento sull'edificio da ristrutturare, mostrando quali sono le caratteristiche degli elementi tecnici dell'involucro edilizio e quali sono le componenti impiantistiche installate che consentono di raggiungere la zona ottimale dal punto di vista dei costi (*cost-optimal*) e la zona a minor fabbisogno di energia primaria netta (*nZEB*). La selezione viene ripetuta per ogni tipologia di edificio, in ogni regione climatica considerata secondo i seguenti criteri:

- 1) Considerando la nuvola di punti costo/energia nella sua totalità si individuano i valori di fabbisogno di energia primaria netta di riferimento che caratterizzano l'edificio cost optimal e l'edificio nZEB.
- 2) Si definisce un'area di osservazione del campione di dati nell'intorno del punto selezionato di cui al punto 1), comprendendo i modelli di edificio che stanno all'interno di un intervallo di $\pm 5 \text{ kWh/m}^2$ in termini di energia primaria netta e +10% rispetto al costo globale dell'edificio economicamente più vantaggioso. Questo passo viene applicato ad entrambe le aree di interesse (cost optimal e nZEB)
- 3) I modelli di edificio ricompresi nell'area di cui al punto 2) vengono ulteriormente filtrati imponendo una soglia di fabbisogno di energia utile non superiore di 10 kWh/m^2 rispetto all'edificio caratterizzato dal minor fabbisogno di energia utile.
- 4) Infine, per ogni area, viene selezionato l'edificio che meglio risponde ai seguenti principi di selezione: miglior prestazione energetica, minimizzazione del contributo di rinnovabili, minor costo globale e minor costo iniziale di investimento.

La procedura di selezione adottata rispetta le intenzioni della Direttiva di incentivare le misure di efficienza energetica sull'edificio, riducendo pertanto l'energia utile (di conseguenza anche quella finale) della costruzione coprendo la restante parte della domanda di energia con sistemi alimentati da fonti ad energia rinnovabile.

Oltre alle aree di interesse cost optimal e nZEB, la selezione è applicata a due livelli intermedi di ristrutturazione. Questi ulteriori livelli sono stati espressi come percentuale di riduzione della domanda di energia primaria netta rispetto al livello base di ristrutturazione. Nel dettaglio:

- 50% di riduzione in termini di energia primaria netta con soglia massima ammissibile di $100 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$.
- 75% di riduzione in termini di energia primaria netta con soglia massima ammissibile di $50 \text{ kWh/(m}^2\text{anno)}$.

Di seguito sono riportate le tabelle di sintesi della selezione puntuale effettuata, per ognuna delle quattro aree valutate all'interno della nuvola di punti. Nel dettaglio sono riportate le caratteristiche dell'involucro opaco e trasparente, le strategie di illuminamento degli ambienti interni e di raffrescamento passivo implementate, tutte le componenti di impianto e i fabbisogni energetici.

Tabella 8. Risultati della selezione puntuale. Edifici per uffici a Roma

Rome OFFICE	BUILDING N. 1 Target of (net) PE at min Global Cost		BUILDING N. 2 50% of (net) PE reduction respect to Base Refurbishment level + threshold		BUILDING N. 3 75% of (net) PE reduction respect to Base Refurbishment level + threshold		BUILDING N. 4 Min (net) Primary Energy	
BUILDING VARIANT:	14		10		32		18	
OPAQUE ENVELOPE-Package:	++		+		++		+++	
OPAQUE ENVELOPE-Variant:	description:	U-value [W/m ² K]	description:	U-value [W/m ² K]	description:	U-value [W/m ² K]	description:	U-value [W/m ² K]
Wall thermal insulation	External insulation (EIFS System): 10 cm	0,27	External insulation (EIFS System): 5 cm	0,44	External insulation (EIFS System): 10 cm	0,27	External insulation (EIFS System): 20 cm	0,15
Roof thermal insulation	Remove roof and refit adding a new layer of insulation: 15 cm of insulation layer	0,2	Remove roof and refit adding a new layer of insulation: 5 cm of insulation layer	0,45	Remove roof and refit adding a new layer of insulation: 15 cm of insulation layer	0,2	Remove roof and refit adding a new layer of insulation: 25 cm of insulation layer	0,13
Basement thermal insulation	Install 10 cm insulation in the outer of the floor slabs or frameworks	0,29	Install 5 cm insulation in the outer of the floor slabs or frameworks	0,5	Install 10 cm insulation in the outer of the floor slabs or frameworks	0,29	Install 15 cm insulation in the outer of the floor slabs or frameworks	0,21
WINDOW PACKAGE:	++		++		++		++	
WINDOW Variant (1):	description:		description:		description:		description:	
Type of window	Double glass with air cavity (8mm); low-e glass Ug= 2,0 W/m ² K; Uf=1,4 W/m ² K; air permeability: 3rd class EN 12207.	2,11	Double glass with air cavity (8mm); low-e glass Ug= 2,0 W/m ² K; Uf=1,4 W/m ² K; air permeability: 3rd class EN 12207.	2,11	Double glass with air cavity (8mm); low-e glass Ug= 2,0 W/m ² K; Uf=1,4 W/m ² K; air permeability: 3rd class EN 12207.	2,11	Double glass with air cavity (8mm); low-e glass Ug= 2,0 W/m ² K; Uf=1,4 W/m ² K; air permeability: 3rd class EN 12207.	2,11
	Solar Transmittance (-)	0,52	Solar Transmittance (-)	0,52	Solar Transmittance (-)	0,52	Solar Transmittance (-)	0,52
	Visible Transmittance (-)	0,76	Visible Transmittance (-)	0,76	Visible Transmittance (-)	0,76	Visible Transmittance (-)	0,76
	(airtightness) (1/h)	0,23	(airtightness) (1/h)	0,23	(airtightness) (1/h)	0,23	(airtightness) (1/h)	0,23
COOLING STRATEGIES PACKAGE:	++		++		++		++	
Solar shading	External window blinds - block beam solar - automation control	-	External window blinds - block beam solar - automation control	-	External window blinds - block beam solar - automation control	-	External window blinds - block beam solar - automation control	-
Night Ventilation for Cooling	Natural ventilation (automatic control to open windows through differential temperature) - high flow rate	h ⁻¹	Natural ventilation (automatic control to open windows through differential temperature) - high flow rate	h ⁻¹	Natural ventilation (automatic control to open windows through differential temperature) - high flow rate	h ⁻¹	Natural ventilation (automatic control to open windows through differential temperature) - high flow rate	h ⁻¹
		5		5		5		5
LIGHTING STRATEGIES:	++		++		++		++	
Lighting Loads	Luminaire with LED lamp high efficiency	power [W/m ²] (2)	Luminaire with LED lamp high efficiency	power [W/m ²] (2)	Luminaire with LED lamp high efficiency	power [W/m ²] (2)	Luminaire with LED lamp high efficiency	power [W/m ²] (2)
		6-2-6		6-2-6		6-2-6		6-2-6
Lighting Control	Automatic continuous daylight dimming in illuminated areas + occupancy sensors	-	Automatic continuous daylight dimming in illuminated areas + occupancy sensors	-	Automatic continuous daylight dimming in illuminated areas + occupancy sensors	-	Automatic continuous daylight dimming in illuminated areas + occupancy sensors	-
PLANT SYSTEMS		POWER [W/m ²] Flow Rate [m ³ /s]		POWER [W/m ²] Flow Rate [m ³ /s]		POWER [W/m ²] Flow Rate [m ³ /s]		POWER [W/m ²] Flow Rate [m ³ /s]
Heating Generation	reversible heat pump	43	gas boiler	48	connection to a district heating	43	reversible ground source heat pump	41
Cooling Generation	reversible heat pump	58	chiller whit high performance	57	chiller whit high performance	58	reversible ground source heat pump	60
Heating Emission	fan coil / split	-	air diffuser	-	air diffuser	-	fan coil / split	-
Cooling Emission	fan coil / split	-	air diffuser	-	air diffuser	-	fan coil / split	-
Heating Distribution	insulated pipes	-	insulated pipes	-	insulated pipes	-	insulated pipes	-
Cooling Distribution	insulated pipes	-	insulated pipes	-	insulated pipes	-	insulated pipes	-
Heating Control	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-
Cooling Control	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-
Mechanical Ventilation	no mechanical ventilation (open window by user)	-	mechanical ventilation HVAC (IAQ+ conditioning)	4,89	mechanical ventilation HVAC (IAQ+ conditioning)	4,87	no mechanical ventilation (open window by user)	-
Heat Recovery	absent	-	absent	4,82	present	4,96	absent	-
Thermal Solar Panels	present	-	absent	-	absent	-	present	-
Photovoltaic Solar Panel	absent	-	absent	-	present	-	present	-
Energy Need for Heating [kWh/m ² y]	12,3		16,1		10,4		10,7	
Energy Need for Cooling [kWh/m ² y]	36,6		36,1		36,2		37,0	
Energy Need for DHW [kWh/m ² y]	7,3		7,3		7,3		7,3	
Energy Use for Lighting [kWh/m ² y]	7,0		7,0		7,0		7,0	
(net) Primary Energy demand [kWh/m ² y]	71,9		99,0		48,5		19,1	
RES contribution [kWh/m ² y]	3,3		0,0		36,5		69,5	
Global Cost [€/m ²]	1153,2		1117,5		1159,0		1262,8	
BASE REFURBISHMENT LEVEL								
Energy Need for Heating [kWh/m ² y]				89,3				
Energy Need for Cooling [kWh/m ² y]				79,7				
Energy Need for DHW [kWh/m ² y]				7,3				
Energy Use for Lighting [kWh/m ² y]				27,0				
(net) Primary Energy demand [kWh/m ² y]				295,9				
RES contribution [kWh/m ² y]				0,0				
Global Cost [€/m ²]				1206,6				

(1) It is an average value of thermal transmittance of the all windows with different dimensions in the considered building

(2) For office buildings the lighting load is indicated for every use of rooms (office room - service - meeting room)

For school buildings the lighting load is indicated for every use of rooms (classroom-meeting room-office room-service)

Tabella 9. Risultati della selezione puntuale. Edifici per uffici a Milano

Milan OFFICE	BUILDING N. 1 Target of (net) PE at min Global Cost		BUILDING N. 2 50% of (net) PE reduction respect to Base Refurbishment level + threshold		BUILDING N. 3 75% of (net) PE reduction respect to Base Refurbishment level + threshold		BUILDING N. 4 Min (net) Primary Energy	
BUILDING VARIANT:	14		31		36		36	
OPAQUE ENVELOPE-Package:	++		++		+++		+++	
OPAQUE ENVELOPE-Variant:	description:	U-value [W/m²K]	description:	U-value [W/m²K]	description:	U-value [W/m²K]	description:	U-value [W/m²K]
Wall thermal insulation	External insulation (EIFS System): 10 cm	0,27	External insulation (EIFS System): 10 cm	0,27	External insulation (EIFS System): 25 cm	0,13	External insulation (EIFS System): 25 cm	0,13
Roof thermal insulation	Remove roof and refit adding a new layer of insulation: 15 cm of insulation layer	0,2	Remove roof and refit adding a new layer of insulation: 15 cm of insulation layer	0,2	Remove roof and refit adding a new layer of insulation: 25 cm of insulation layer	0,13	Remove roof and refit adding a new layer of insulation: 25 cm of insulation layer	0,13
Basement thermal insulation	Install 10 cm insulation in the outer of the floor slabs or frameworks	0,29	Install 10 cm insulation in the outer of the floor slabs or frameworks	0,29	Install 15 cm insulation in the outer of the floor slabs or frameworks	0,21	Install 15 cm insulation in the outer of the floor slabs or frameworks	0,21
WINDOW PACKAGE:	++		++		++		++	
WINDOW Variant (1):	description:		description:		description:		description:	
Type of window	Triple glass with argon cavity (16mm); low-e glass Ug= 1,0 W/m²K; Uf=1,0 W/m²K; air permeability: 4th class EN 12207.	0,77	Triple glass with argon cavity (16mm); low-e glass Ug= 1,0 W/m²K; Uf=1,0 W/m²K; air permeability: 4th class EN 12207.	0,77	Triple glass with argon cavity (16mm); low-e glass Ug= 1,0 W/m²K; Uf=1,0 W/m²K; air permeability: 4th class EN 12207.	0,77	Triple glass with argon cavity (16mm); low-e glass Ug= 1,0 W/m²K; Uf=1,0 W/m²K; air permeability: 4th class EN 12207.	0,77
	Solar Transmittance (-)	0,33	Solar Transmittance (-)	0,33	Solar Transmittance (-)	0,33	Solar Transmittance (-)	0,33
	Visible Transmittance (-)	0,646	Visible Transmittance (-)	0,646	Visible Transmittance (-)	0,646	Visible Transmittance (-)	0,646
	(airtightness) (1/h)	0,08	(airtightness) (1/h)	0,08	(airtightness) (1/h)	0,08	(airtightness) (1/h)	0,08
COOLING STRATEGIES PACKAGE:	++		+		++		++	
Solar shading	description: External window blinds - block beam solar - automation control	-	description: External/internal window blinds - fixed slat angle - automation control	-	description: External window blinds - block beam solar - automation control	-	description: External window blinds - block beam solar - automation control	-
Night Ventilation for Cooling	description: Natural ventilation (automatic control to open windows through differential temperature) - high flow rate	h ⁻¹	description: Natural ventilation (automatic control to open windows through differential temperature) - medium flow rate	h ⁻¹	description: Natural ventilation (automatic control to open windows through differential temperature) - high flow rate	h ⁻¹	description: Natural ventilation (automatic control to open windows through differential temperature) - high flow rate	h ⁻¹
		5		2,5		5		5
LIGHTING STRATEGIES :	++		+		++		++	
Lighting Loads	description: Luminaire with LED lamp high efficiency	power [W/m2] (2) 6-2-6	description: Luminaire with fluorescent lamp high efficiency	power [W/m2] (2) 12-5-12	description: Luminaire with LED lamp high efficiency	power [W/m2] (2) 6-2-6	description: Luminaire with LED lamp high efficiency	power [W/m2] (2) 6-2-6
Lighting Control	description: Automatic continuous daylight dimming in illuminated areas + occupancy sensors	-	description: Manual switch off	-	description: Automatic continuous daylight dimming in illuminated areas + occupancy sensors	-	description: Automatic continuous daylight dimming in illuminated areas + occupancy sensors	-
PLANT SYSTEMS		POWER [W/m2] Flow Rate [m³/s]		POWER [W/m2] Flow Rate [m³/s]		POWER [W/m2] Flow Rate [m³/s]		POWER [W/m2] Flow Rate [m³/s]
Heating Generation	gas boiler	39	condensig gas boiler	36	condensig gas boiler	28	reversible ground source heat pump	28
Cooling Generation	chiller whit high performance	47	chiller whit high performance	52	chiller whit high performance	47	reversible ground source heat pump	47
Heating Emission	air diffuser	-	air diffuser	-	air diffuser	-	air diffuser	-
Cooling Emission	air diffuser	-	air diffuser	-	air diffuser	-	air diffuser	-
Heating Distribution	insulated pipes	-	insulated pipes	-	insulated pipes	-	insulated pipes	-
Cooling Distribution	insulated pipes	-	insulated pipes	-	insulated pipes	-	insulated pipes	-
Heating Control	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-
Cooling Control	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-
Mechanical Ventilation	mechanical ventilation HVAC (IAQ+ conditioning)	4,76	mechanical ventilation HVAC (IAQ+ conditioning)	4,98	mechanical ventilation HVAC (IAQ+ conditioning)	4,76	mechanical ventilation HVAC (IAQ+ conditioning)	4,76
Heat Recovery	absent	4,86	present	5,08	present	4,86	present	4,86
Thermal Solar Panels	absent	-	present	-	present	-	present	-
Photovoltaic Solar Panel	absent	-	absent	-	absent	-	present	-
Energy Need for Heating [kWh/m²y]	15,6		8,1		8,1		8,1	
Energy Need for Cooling [kWh/m²y]	14,5		29,6		14,1		14,1	
Energy Need for DHW [kWh/m²y]	7,9		7,9		7,9		7,9	
Energy Use for Lighting [kWh/m²y]	7,4		19,9		7,4		7,4	
(net) Primary Energy demand [kWh/m²y]	75,7		99,5		53,6		8,9	
RES contribution [kWh/m²y]	0,0		4,2		4,2		60,8	
Global Cost [€/m²]	1119,7		1188,0		1145,0		1179,1	
BASE REFURBISHMENT LEVEL								
Energy Need for Heating [kWh/m²y]					167,8			
Energy Need for Cooling [kWh/m²y]					46,5			
Energy Need for DHW [kWh/m²y]					7,9			
Energy Use for Lighting [kWh/m²y]					28,5			
(net) Primary Energy demand [kWh/m²y]					400,1			
RES contribution [kWh/m²y]					0,0			
Global Cost [€/m²]					1368,9			

(1) It is an average value of thermal trasmittance of the all windows with different dimensions in the considered building

(2) For office buildings the lighting load is indicated for every use of rooms (office room - service - meeting room)

For school buildings the lighting load is indicated for every use of rooms (classroom-meeting room-office room-service)



Tabella 10. Risultati della selezione puntuale. Edificio scolastico a Roma

Rome SCHOOL	BUILDING N. 1 Target of (net) PE at min Global Cost		BUILDING N. 2 50% of (net) PE reduction respect to Base Refurbishment level + threshold		BUILDING N. 3 75% of (net) PE reduction respect to Base Refurbishment level + threshold		BUILDING N. 4 Min (net) Primary Energy	
BUILDING VARIANT:	14		14		30		18	
OPAQUE ENVELOPE-Package:	++		++		++		+++	
OPAQUE ENVELOPE-Variant:	description:	U-value [W/m ² K]	description:	U-value [W/m ² K]	description:	U-value [W/m ² K]	description:	U-value [W/m ² K]
Wall thermal insulation	External insulation (EIFS System): 10 cm	0,27	External insulation (EIFS System): 10 cm	0,27	External insulation (EIFS System): 10 cm	0,27	External insulation (EIFS System): 20 cm	0,15
Roof thermal insulation	Add on a thermal insulation layer over the last slab in contact with unconditioned space: 15 cm of insulation layer	0,2	Add on a thermal insulation layer over the last slab in contact with unconditioned space: 15 cm of insulation layer	0,2	Add on a thermal insulation layer over the last slab in contact with unconditioned space: 15 cm of insulation layer	0,2	Add on a thermal insulation layer over the last slab in contact with unconditioned space: 25 cm of insulation layer	0,13
Basement thermal insulation	Install 10 cm insulation in the outer of the floor slabs or frameworks	0,29	Install 10 cm insulation in the outer of the floor slabs or frameworks	0,29	Install 10 cm insulation in the outer of the floor slabs or frameworks	0,29	Install 15 cm insulation in the outer of the floor slabs or frameworks	0,21
WINDOW PACKAGE:	++		++		+		++	
WINDOW Variant (1):	description:		description:		description:		description:	
Type of window	Double glass with air cavity (8mm); low-e glass Ug= 2,0 W/m ² K; Uf=1,4 W/m ² K; air permeability: 3rd class EN 12207.	2,10	Double glass with air cavity (8mm); low-e glass Ug= 2,0 W/m ² K; Uf=1,4 W/m ² K; air permeability: 3rd class EN 12207.	2,10	Double glass with air cavity (12mm); Ug= 2,7 W/m ² K; Uf=2,2 W/m ² K; air permeability: 2nd class EN 12207.	2,71	Double glass with air cavity (8mm); low-e glass Ug= 2,0 W/m ² K; Uf=1,4 W/m ² K; air permeability: 3rd class EN 12207.	2,10
	Solar Transmittance (-)	0,52	Solar Transmittance (-)	0,52	Solar Transmittance (-)	0,77	Solar Transmittance (-)	0,52
	Visible Transmittance (-)	0,76	Visible Transmittance (-)	0,76	Visible Transmittance (-)	0,812	Visible Transmittance (-)	0,76
	(airtightness) (1/h)	0,15	(airtightness) (1/h)	0,15	(airtightness) (1/h)	0,4	(airtightness) (1/h)	0,15
COOLING STRATEGIES PACKAGE:	++		++		++		++	
Solar shading	External window blinds - block beam solar - automation control	-	External window blinds - block beam solar - automation control	-	External window blinds - block beam solar - automation control	-	External window blinds - block beam solar - automation control	-
Night Ventilation for Cooling	Natural ventilation (automatic control to open windows through differential temperature) - high flow rate	h ⁻¹	Natural ventilation (automatic control to open windows through differential temperature) - high flow rate	h ⁻¹	Natural ventilation (automatic control to open windows through differential temperature) - high flow rate	h ⁻¹	Natural ventilation (automatic control to open windows through differential temperature) - high flow rate	h ⁻¹
		5		5		5		5
LIGHTING STRATEGIES :	++		++		++		++	
Lighting Loads	Luminaire with LED lamp high efficiency	power [W/m ²] (2)	Luminaire with LED lamp high efficiency	power [W/m ²] (2)	Luminaire with LED lamp high efficiency	power [W/m ²] (2)	Luminaire with LED lamp high efficiency	power [W/m ²] (2)
Lighting Control	Automatic continuous daylight dimming in illuminated areas + occupancy sensors	-	Automatic continuous daylight dimming in illuminated areas + occupancy sensors	-	Automatic continuous daylight dimming in illuminated areas + occupancy sensors	-	Automatic continuous daylight dimming in illuminated areas + occupancy sensors	-
PLANT SYSTEMS		POWER [W/m ²] Flow Rate [m ³ /s]		POWER [W/m ²] Flow Rate [m ³ /s]		POWER [W/m ²] Flow Rate [m ³ /s]		POWER [W/m ²] Flow Rate [m ³ /s]
Heating Generation	gas boiler	73	condensig gas boiler	73	condensig gas boiler	91	reversible heat pump	55
Cooling Generation	chiller whit high performance	76	chiller whit high performance	76	chiller whit high performance	74	reversible heat pump	76
Heating Emission	air diffuser	-	air diffuser	-	air diffuser	-	fan coil / split	-
Cooling Emission	air diffuser	-	air diffuser	-	air diffuser	-	fan coil / split	-
Heating Distribution	insulated pipes	-	insulated pipes	-	insulated pipes	-	insulated pipes	-
Cooling Distribution	insulated pipes	-	insulated pipes	-	insulated pipes	-	insulated pipes	-
Heating Control	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-
Cooling Control	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-
Mechanical Ventilation	mechanical ventilation HVAC (IAQ+ conditioning)	8,59	mechanical ventilation HVAC (IAQ+ conditioning)	8,59	mechanical ventilation HVAC (IAQ+ conditioning)	10,12	no mechanical ventilation (open window by user)	-
Heat Recovery	absent	-	absent	-	present	8,35	absent	-
Thermal Solar Panels	absent	-	absent	-	absent	-	present	-
Photovoltaic Solar Panel	absent	-	absent	-	present	-	present	-
Energy Need for Heating [kWh/m ² y]	12,6		12,6		17,4		9,4	
Energy Need for Cooling [kWh/m ² y]	28,1		28,1		28,9		28,5	
Energy Need for DHW [kWh/m ² y]	13,0		13,0		13,0		13,0	
Energy Use for Lighting [kWh/m ² y]	7,5		7,5		7,3		7,5	
(net) Primary Energy demand [kWh/m ² y]	101,3		97,5		46,2		8,0	
RES contribution [kWh/m ² y]	0,0		0,0		65,7		95,0	
Global Cost [€/m ²]	1026,7		1025,2		1124,9		1117,7	
BASE REFURBISHMENT LEVEL								
Energy Need for Heating [kWh/m ² y]					75,5			
Energy Need for Cooling [kWh/m ² y]					49,1			
Energy Need for DHW [kWh/m ² y]					13,0			
Energy Use for Lighting [kWh/m ² y]					26,0			
(net) Primary Energy demand [kWh/m ² y]					356,9			
RES contribution [kWh/m ² y]					0,0			
Global Cost [€/m ²]					1085,7			

(1) It is an average value of thermal trasmittance of the all windows with different dimensions in the considered building

(2) For office buildings the lighting load is indicated for every use of rooms (office room - service - meeting room)

For school buildings the lighting load is indicated for every use of rooms (classroom-meeting room-office room-service)

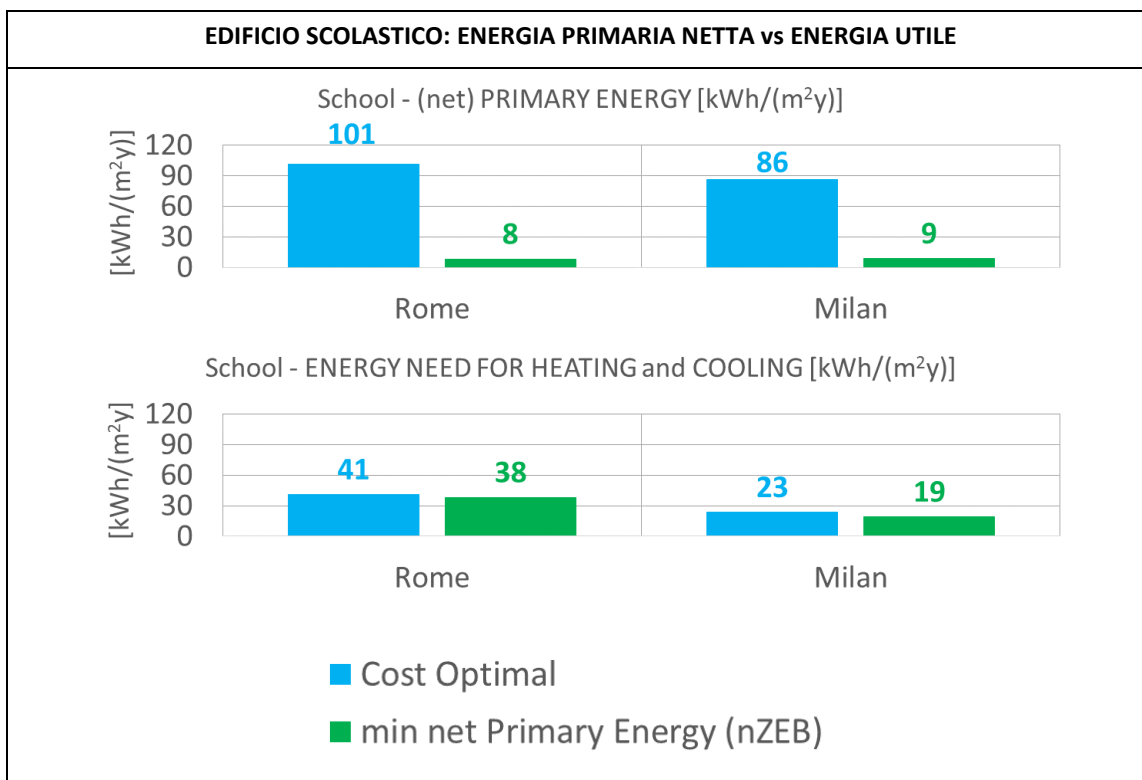
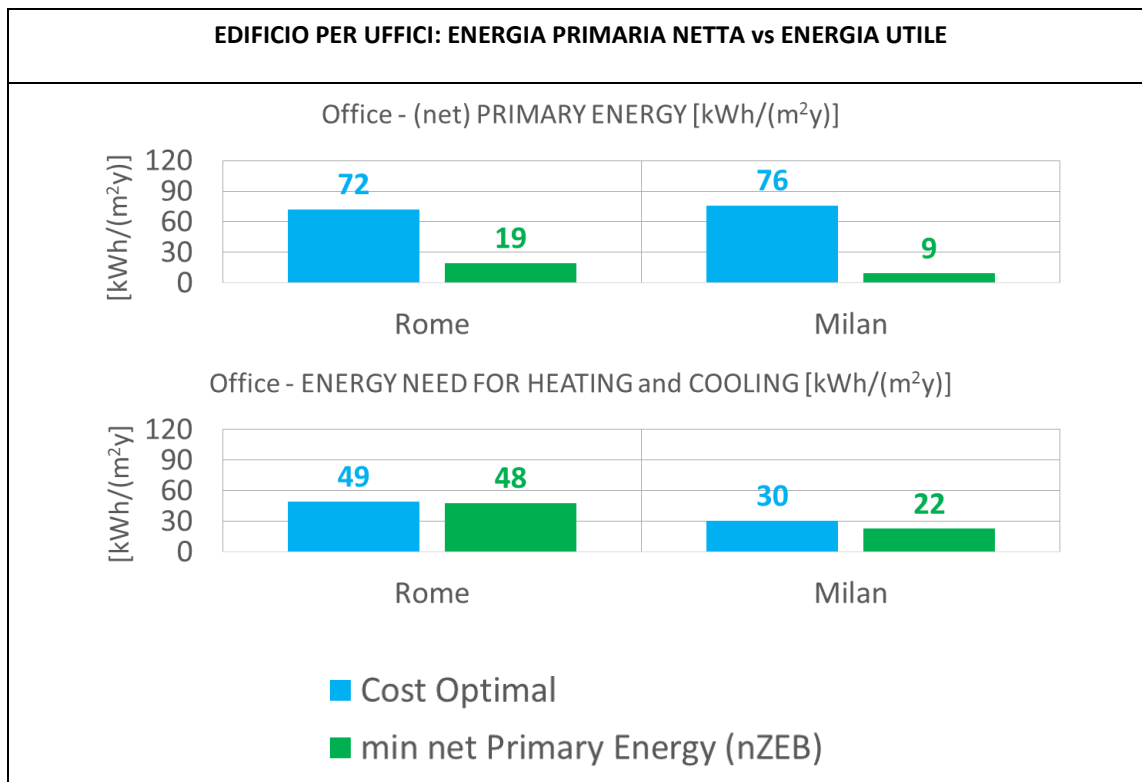
Tabella 11. Risultati della selezione puntuale. Edificio scolastico a Milano

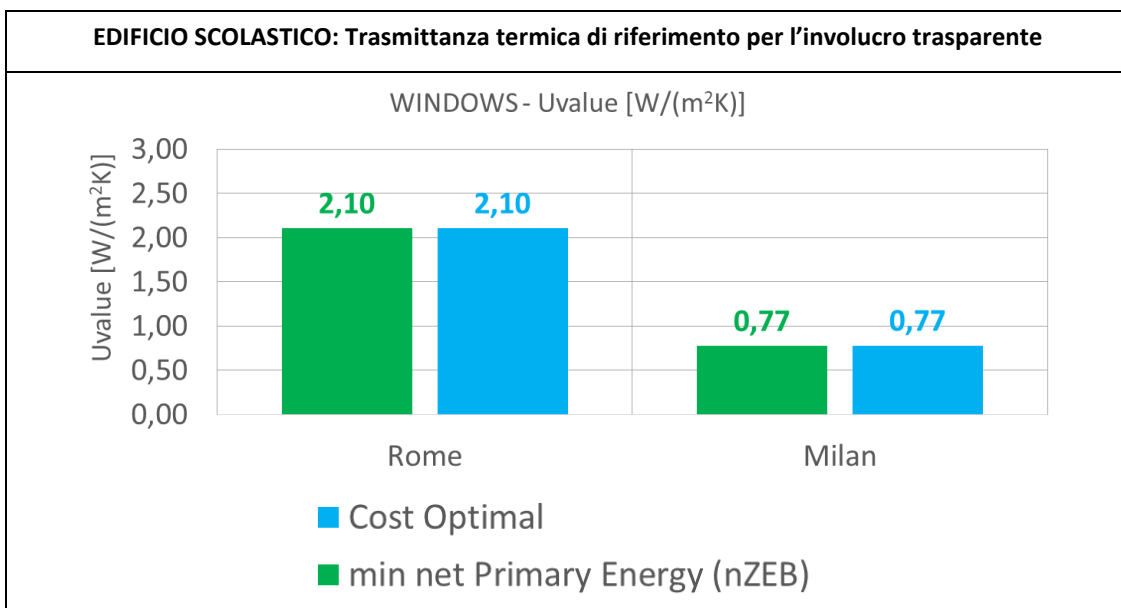
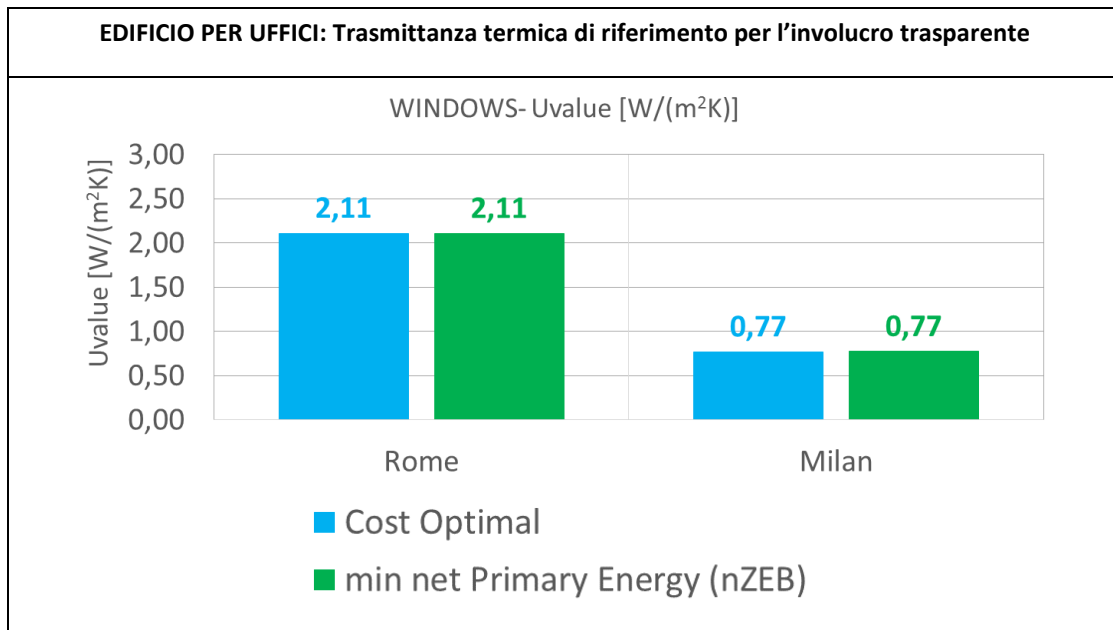
Milan SCHOOL	BUILDING N. 1		BUILDING N. 2		BUILDING N. 3		BUILDING N. 4	
	Target of (net) PE at min Global Cost		50% of (net) PE reduction respect to Base Refurbishment level + treshold		75% of (net) PE reduction respect to Base Refurbishment level + treshold		Min (net) Primary Energy	
BUILDING VARIANT:	32		31		35		36	
OPAQUE ENVELOPE-Package:	++		++		+++		+++	
OPAQUE ENVELOPE-Variant:	description:	U-value [W/m²K]	description:	U-value [W/m²K]	description:	U-value [W/m²K]	description:	U-value [W/m²K]
Wall thermal insulation	External insulation (EIFS System): 10 cm	0,27	External insulation (EIFS System): 10 cm	0,27	External insulation (EIFS System): 25 cm	0,13	External insulation (EIFS System): 25 cm	0,13
Roof thermal insulation	Add on a thermal insulation layer over the last slab in contact with unconditioned space: 15 cm of insulation layer	0,2	Add on a thermal insulation layer over the last slab in contact with unconditioned space: 15 cm of insulation layer	0,2	Add on a thermal insulation layer over the last slab in contact with unconditioned space: 25 cm of insulation layer	0,13	Add on a thermal insulation layer over the last slab in contact with unconditioned space: 25 cm of insulation layer	0,13
Basement thermal insulation	Install 10 cm insulation in the outer of the floor slabs or frameworks	0,29	Install 10 cm insulation in the outer of the floor slabs or frameworks	0,29	Install 15 cm insulation in the outer of the floor slabs or frameworks	0,21	Install 15 cm insulation in the outer of the floor slabs or frameworks	0,21
WINDOW PACKAGE:	++		++		++		++	
WINDOW Variant (1):	description:		description:		description:		description:	
Type of window	Triple glass with argon cavity (16mm); low-e glass Ug= 1,0 W/m²K; Uf=1,0 W/m2K; air permeability: 4th class EN 12207.	0,77	Triple glass with argon cavity (16mm); low-e glass Ug= 1,0 W/m²K; Uf=1,0 W/m2K; air permeability: 4th class EN 12207.	0,77	Triple glass with argon cavity (16mm); low-e glass Ug= 1,0 W/m²K; Uf=1,0 W/m2K; air permeability: 4th class EN 12207.	0,77	Triple glass with argon cavity (16mm); low-e glass Ug= 1,0 W/m²K; Uf=1,0 W/m2K; air permeability: 4th class EN 12207.	0,77
	Solar Transmittance (-)	0,33	Solar Transmittance (-)	0,33	Solar Transmittance (-)	0,33	Solar Transmittance (-)	0,33
	Visible Transmittance (-)	0,646	Visible Transmittance (-)	0,646	Visible Transmittance (-)	0,646	Visible Transmittance (-)	0,646
	(airtightness) (1/h)	0,05	(airtightness) (1/h)	0,05	(airtightness) (1/h)	0,05	(airtightness) (1/h)	0,05
COOLING STRATEGIES PACKAGE:	++		+		+		++	
Solar shading	External window blinds - block beam solar - automation control	-	External/internal window blinds - fixed slat angle - automation control	-	External/internal window blinds - fixed slat angle - automation control	-	External window blinds - block beam solar - automation control	-
Night Ventilation for Cooling	Natural ventilation (automatic control to open windows through differential temperature) - high flow rate	h ⁻¹	Natural ventilation (automatic control to open windows through differential temperature) - medium flow rate	h ⁻¹	Natural ventilation (automatic control to open windows through differential temperature) - medium flow rate	h ⁻¹	Natural ventilation (automatic control to open windows through differential temperature) - high flow rate	h ⁻¹
LIGHTING STRATEGIES:	++		+		+		++	
Lighting Loads	Luminaire with LED lamp high efficiency	power [W/m2] (2)	Luminaire with fluorescent lamp high efficiency	power [W/m2] (2)	Luminaire with fluorescent lamp high efficiency	power [W/m2] (2)	Luminaire with LED lamp high efficiency	power [W/m2] (2)
Lighting Control	Automatic continuous daylight dimming in illuminated areas + occupancy sensors	-	Manual switch off	-	Manual switch off	-	Automatic continuous daylight dimming in illuminated areas + occupancy sensors	-
PLANT SYSTEMS		POWER [W/m2] Flow Rate [m³/s]		POWER [W/m2] Flow Rate [m³/s]		POWER [W/m2] Flow Rate [m³/s]		POWER [W/m2] Flow Rate [m³/s]
Heating Generation	connection to a district heating	56	reversible heat pump	55	reversible heat pump	46	reversible heat pump	52
Cooling Generation	chiller whit high performance	67	reversible heat pump	78	reversible heat pump	79	reversible heat pump	68
Heating Emission	air diffuser	-	air diffuser	-	air diffuser	-	air diffuser	-
Cooling Emission	air diffuser	-	air diffuser	-	air diffuser	-	air diffuser	-
Heating Distribution	insulated pipes	-	insulated pipes	-	insulated pipes	-	insulated pipes	-
Cooling Distribution	insulated pipes	-	insulated pipes	-	insulated pipes	-	insulated pipes	-
Heating Control	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-
Cooling Control	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-	climatic with or without room indoor control system	-
Mechanical Ventilation	mechanical ventilation HVAC (IAQ+ conditioning)	8,64	mechanical ventilation HVAC (IAQ+ conditioning)	9,51	mechanical ventilation HVAC (IAQ+ conditioning)	9,67	mechanical ventilation HVAC (IAQ+ conditioning)	8,56
Heat Recovery	present	8,83	present	9,74	present	9,90	present	8,75
Thermal Solar Panels	absent	-	present	-	absent	-	present	-
Photovoltaic Solar Panel	absent	-	absent	-	present	-	present	-
Energy Need for Heating [kWh/m²y]	11,4		8,5		4,9		7,2	
Energy Need for Cooling [kWh/m²y]	11,9		19,4		19,7		11,7	
Energy Need for DHW [kWh/m²y]	14,1		14,1		14,1		14,1	
Energy Use for Lighting [kWh/m²y]	7,7		19,2		19,2		7,7	
(net) Primary Energy demand [kWh/m²y]	86,2		98,3		46,9		8,5	
RES contribution [kWh/m²y]	0,0		8,2		57,5		63,9	
Global Cost [€/m²]	1031,3		1067,7		1180,2		1135,9	
BASE REFURBISHMENT LEVEL								
Energy Need for Heating [kWh/m²y]				145,8				
Energy Need for Cooling [kWh/m²y]				27,4				
Energy Need for DHW [kWh/m²y]				14,1				
Energy Use for Lighting [kWh/m²y]				27,3				
(net) Primary Energy demand [kWh/m²y]				356,9				
RES contribution [kWh/m²y]				0,0				
Global Cost [€/m²]				1247,5				

(1) It is an average value of thermal transmittance of the all windows with different dimensions in the considered building
 (2) For office buildings the lighting load is indicated for every use of rooms (office room - service - meeting room)
 For school buildings the lighting load is indicated for every use of rooms (classroom-meeting room -office room-service)



Vengono ora riportate alcune rielaborazioni grafiche di diretto confronto tra i modelli di edificio selezionati come *cost-optimal* e *nZEB*.

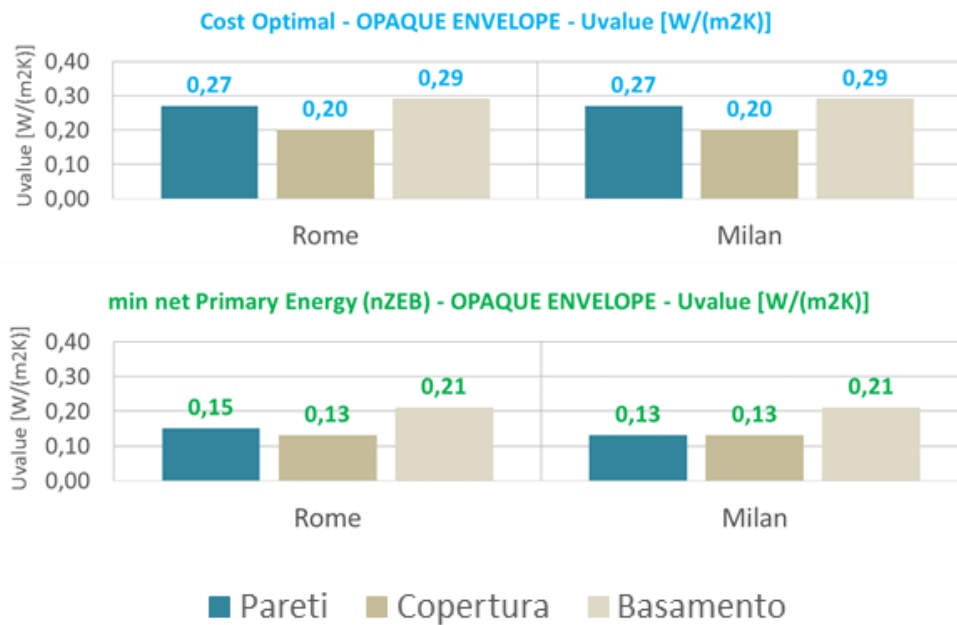




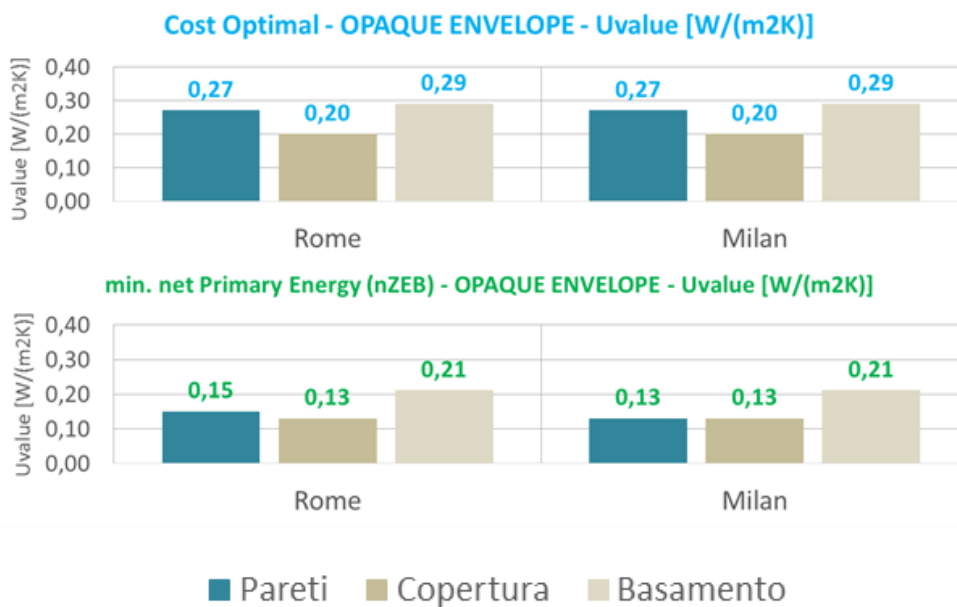
Step di misure di efficienza dell'involucro trasparente, utilizzati nella procedura di calcolo, espressi come trasmittanza termica di riferimento [U_w: W/m²K]

Livello di efficienza	+	++	+++
Roma	5,77	2,71	2,10
Milano	3,47	2,11	0,77

EDIFICIO PER UFFICI: Trasmittanza termica degli elementi tecnici appartenenti all'involucro opaco nella zona cost optimal e nella zona nZEB



EDIFICIO SCOLASTICO: Trasmittanza termica degli elementi tecnici appartenenti all'involucro opaco nella zona cost optimal e nella zona nZEB



Vengono qui messi a confronto i risparmi generabili, (valori espressi in negativo in Tabella 12 e Tabella 13 rispetto al livello base di ristrutturazione, BRL) di fabbisogno di energia utile, di domanda energia primaria netta, di costo globale (calcolato su un periodo trenta anni e attualizzato all'anno zero di calcolo, il 2011), di investimento iniziale richiesto per l'esecuzione degli interventi edilizi. Il confronto mostra come, nonostante lo sforzo richiesto all'investitore privato nel disporre di un capitale iniziale molto maggiore rispetto a quello necessario per opere di semplice ristrutturazione per ragioni di degrado, estetica e sicurezza (livello base di ristrutturazione, BRL), l'edificio *cost optimal*, come l'edificio *nZEB*, non abbiano un costo globale così maggiore del BRL, da non giustificare un intervento di ristrutturazione volto a migliorare l'efficienza dell'edificio oggetto di intervento. Anzi, in alcuni modelli questa differenza è a favore degli interventi più efficienti. In questi casi, nel lungo periodo, i risparmi della spesa energetica per l'esercizio dell'edificio ottenuti a seguito di interventi di efficienza consentono di ripagare l'investitore del maggior esborso iniziale necessario per sostenere gli interventi edilizi. Indiscutibili sono i vantaggi in termini di riduzione dei consumi e di immissione di agenti inquinanti nell'ambiente.

Tabella 12. Risparmi generabili rispetto al livello base di ristrutturazione (valori espressi in negativo). Edificio per uffici.

		CO	nZEB
Roma	domanda di energia primaria netta	-76%	-94%
	energia utile netta	-71%	-72%
	costo globale (30 anni)	-4%	+5%
	investimento iniziale	+60%	+91%
Milano	domanda di energia primaria netta	-81%	-98%
	energia utile netta	-86%	-90%
	costo globale (30 anni)	-12%	-14%
	investimento iniziale	+68%	+96%

Tabella 13. Risparmi generabili rispetto al livello base di ristrutturazione (valori espressi in negativo). Edificio scolastico.

		CO	nZEB
Roma	domanda di energia primaria netta	-72%	-98%
	energia utile netta	-67%	-70%
	costo globale (30 anni)	-5%	+9%
	investimento iniziale	+57%	+102%
Milano	domanda di energia primaria netta	-76%	-98%
	energia utile netta	-87%	-89%
	costo globale (30 anni)	-17%	-9%
	investimento iniziale	+67%	+94%

Nelle pagine seguenti la configurazione impiantistica degli edifici selezionati di cui sopra sono riportati in dettaglio le caratteristiche in termini di prestazione energetica. Per ogni destinazione d'uso e per ogni contesto climatico viene proposta una tabella di sintesi con la descrizione dei sistemi impiantistici associati alle famiglie di intervento selezionate. A seguire viene presentato un confronto tra le tecnologie impiantistiche selezionate e la distribuzione percentuale delle stesse selezionate attraverso l'analisi più generale che mira ad investigare l'intera nuvola di punti (la descrizione di questa analisi è affrontata successivamente).

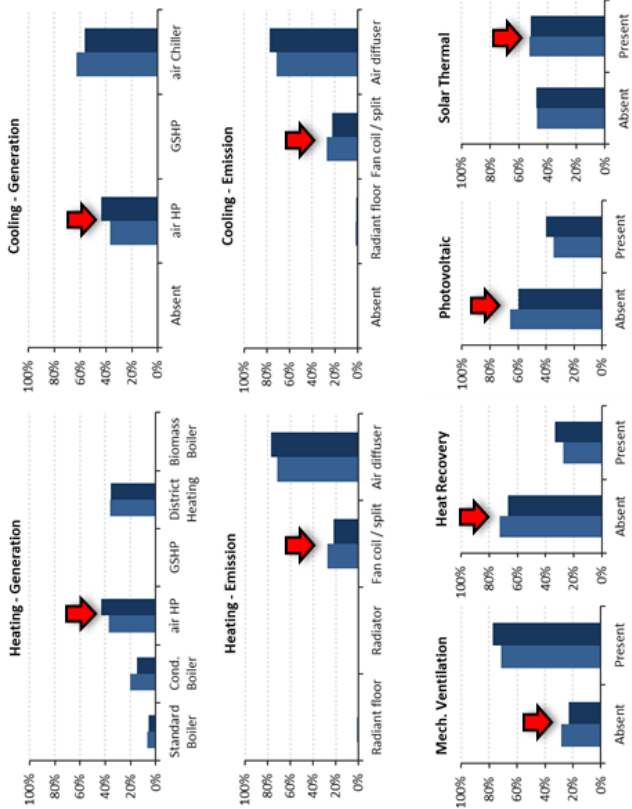
ROMA	UFFICI	Costo Globale Minimo (cost optimal)	Domanda di Energia Primaria minima (nZEB)
	Generatore (riscaldamento)	pompa di calore reversibile ad aria	pompa di calore reversibile geotermica
	Generatore (raffrescamento)	pompa di calore reversibile ad aria	pompa di calore reversibile geotermica
	Terminale Emissione (riscaldamento)	fan coil	fan coil
	Terminale Emissione (raffrescamento)	fan coil	fan coil
	Ventilazione Meccanica	assente	assente
	Recupero del calore	assente	assente
	Solare fotovoltaico	assente	presente
	Solare Termico (ACS)	presente	presente
Illuminazione artificiale	Illuminazione: LED + controlli automatizzati	Illuminazione: LED + controlli automatizzati	

MILANO	UFFICI	Costo Globale Minimo (cost optimal)	Domanda di Energia Primaria minima (nZEB)
	Generatore (riscaldamento)	Caldaia standard a gas	pompa di calore reversibile geotermica
	Generatore (raffrescamento)	Chiller ad aria	pompa di calore reversibile geotermica
	Terminale Emissione (riscaldamento)	impianto a tutt'aria	impianto a tutt'aria
	Terminale Emissione (raffrescamento)	impianto a tutt'aria	impianto a tutt'aria
	Ventilazione Meccanica	presente	presente
	Recupero del calore	assente	presente
	Solare fotovoltaico	assente	presente
	Solare Termico (ACS)	assente	presente
Illuminazione artificiale	Illuminazione: LED + controlli automatizzati	Illuminazione: LED + controlli automatizzati.	

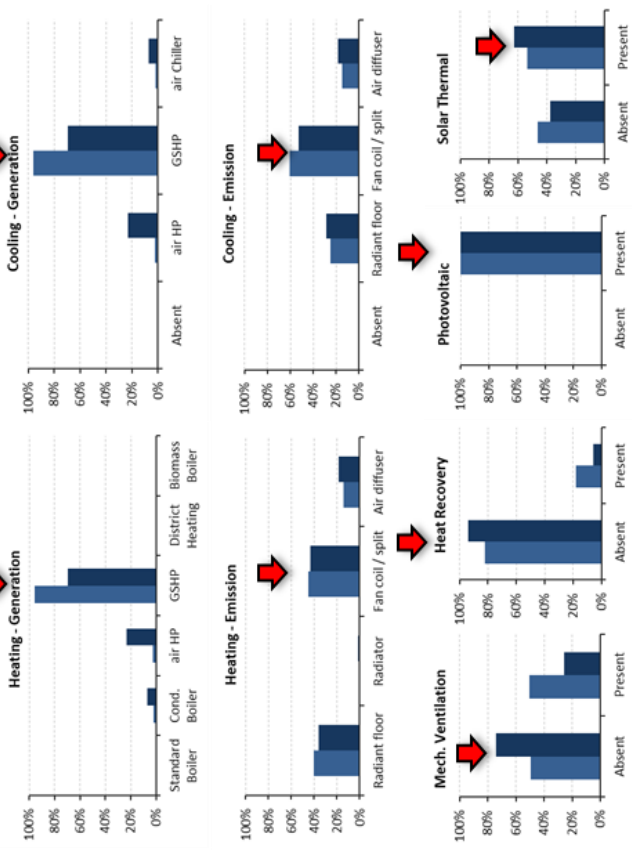
TECNOLOGIE IMPIANTISTICHE – UFFICI ROMA

Cost Optimal

nZEB



I grafici rappresentano la distribuzione percentuale delle tecnologie impiantistiche all'interno del campione di dati rappresentante la zona cost-optimal. Con una freccia rossa vengono indicati i sistemi impiantistici valutati applicando criteri di selezione più restrittivi.

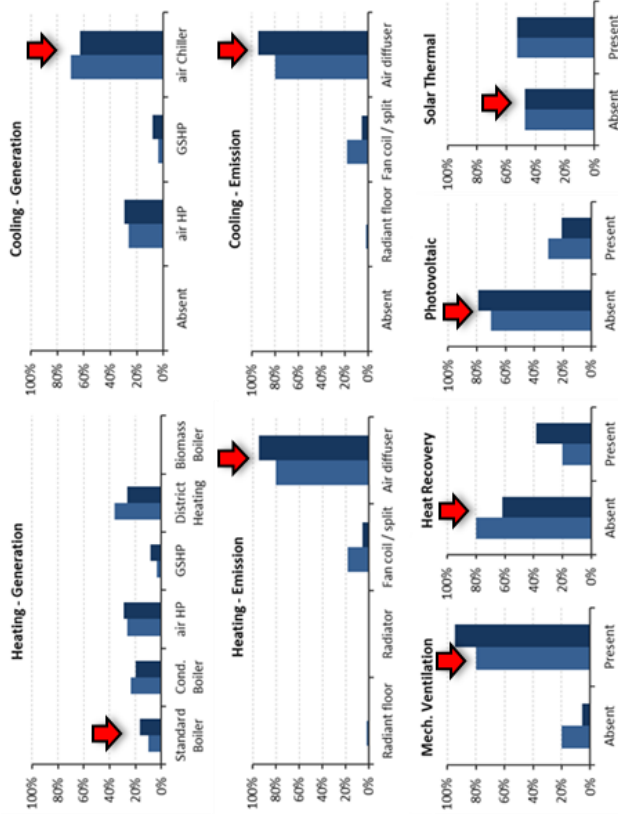


I grafici rappresentano la distribuzione percentuale delle tecnologie impiantistiche all'interno del campione di dati rappresentante la zona nZEB. Con una freccia rossa vengono indicati i sistemi impiantistici valutati applicando criteri di selezione più restrittivi.

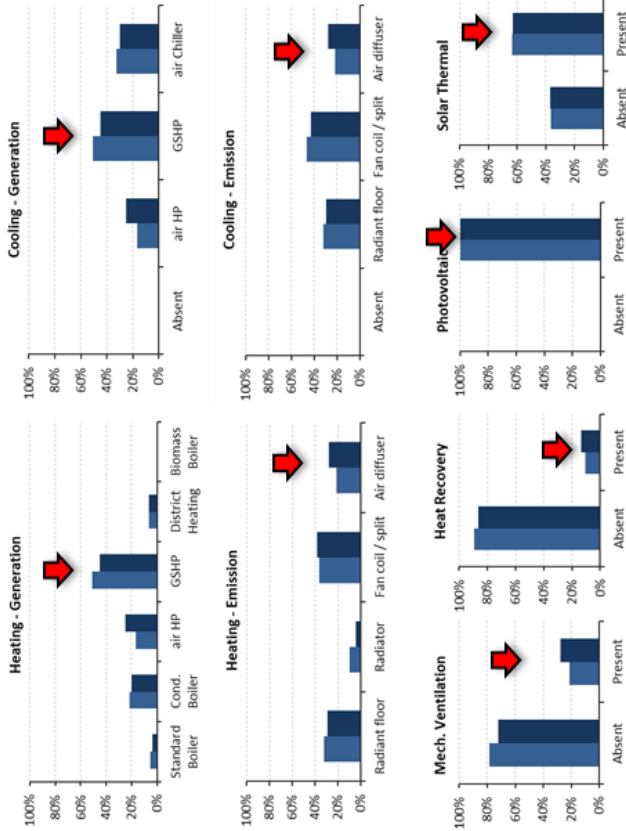
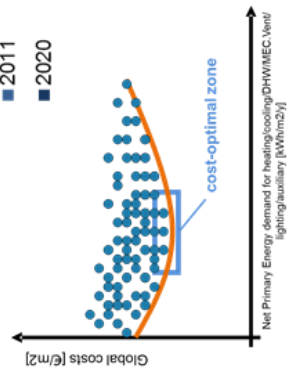
TECNOLOGIE IMPIANTISTICHE – UFFICI MILANO

Cost Optimal

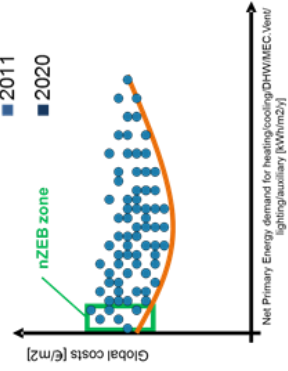
nZEB



I grafici rappresentano la distribuzione percentuale delle tecnologie impiantistiche all'interno del campione di dati rappresentante la zona cost-optimal. Con una freccia rossa vengono indicati i sistemi impiantistici valutati applicando criteri di selezione più restrittivi.



I grafici rappresentano la distribuzione percentuale delle tecnologie impiantistiche all'interno del campione di dati rappresentante la zona nZEB. Con una freccia rossa vengono indicati i sistemi impiantistici valutati applicando criteri di selezione più restrittivi.



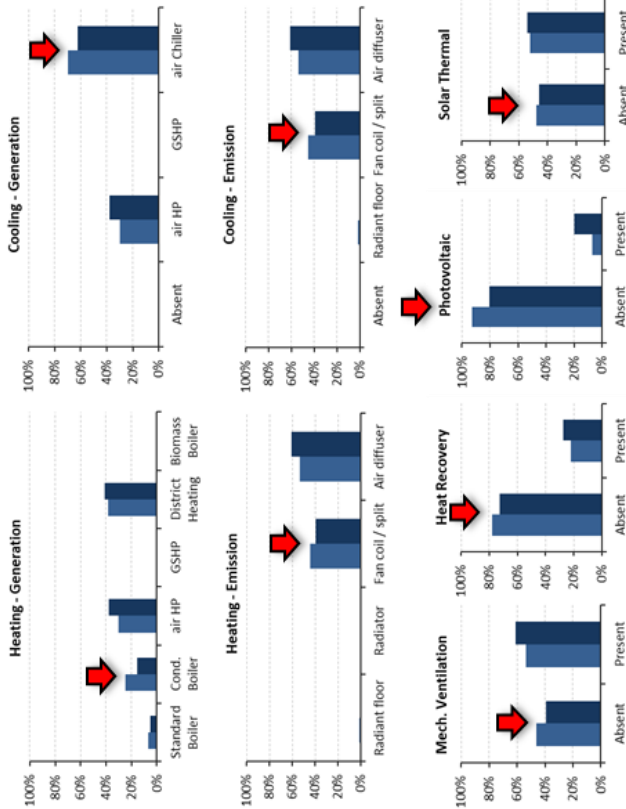
ROMA	SCUOLA	Costo Globale Minimo (cost optimal)	Domanda di Energia Primaria minima (nZEB)
	Generatore (riscaldamento)	caldaia a gas a condensazione	pompa di calore reversibile ad aria
	Generatore (raffrescamento)	chiller ad aria	pompa di calore reversibile ad aria
	Terminale Emissione (riscaldamento)	fan coil	fan coil
	Terminale Emissione (raffrescamento)	fan coil	fan coil
	Ventilazione Meccanica	presente	assente
	Recupero del calore	assente	assente
	Solare fotovoltaico	assente	presente
	Solare Termico (ACS)	assente	presente
Illuminazione artificiale	Illuminazione: LED + controlli automatizzati	Illuminazione: LED + controlli automatizzati.	

MILANO	SCUOLA	Costo Globale Minimo (cost optimal)	Domanda di Energia Primaria minima (nZEB)
	Generatore (riscaldamento)	teleriscaldamento	pompa di calore reversibile ad aria
	Generatore (raffrescamento)	chiller ad aria	pompa di calore reversibile ad aria
	Terminale Emissione (riscaldamento)	impianto a tutt'aria	impianto a tutt'aria
	Terminale Emissione (raffrescamento)	impianto a tutt'aria	impianto a tutt'aria
	Ventilazione Meccanica	presente	presente
	Recupero del calore	presente	presente
	Solare fotovoltaico	assente	presente
	Solare Termico (ACS)	assente	presente
Illuminazione artificiale	Illuminazione: LED + controlli automatizzati	Illuminazione: LED + controlli automatizzati.	

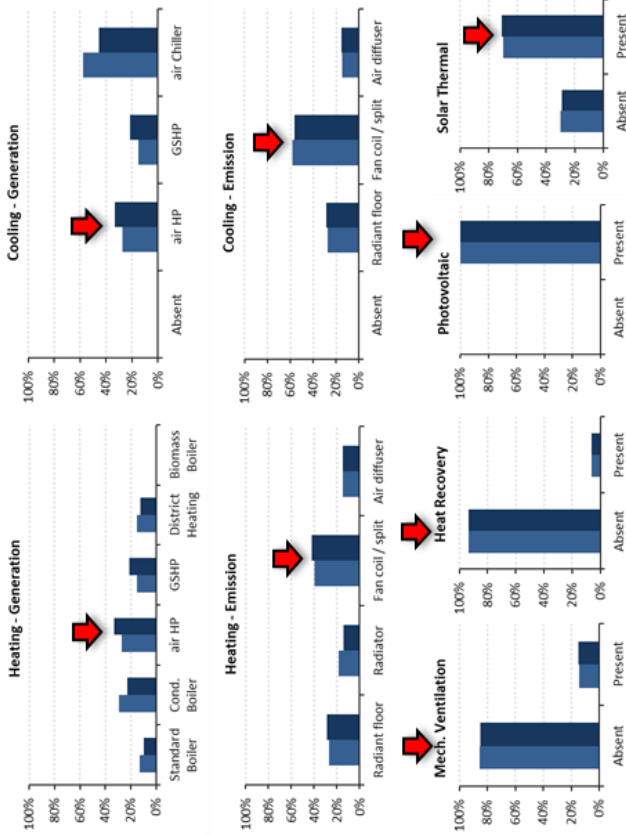
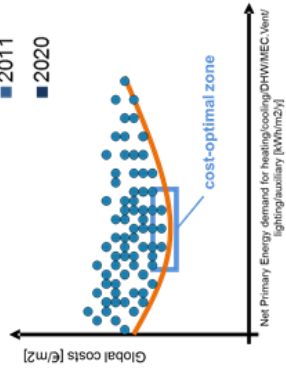
TECNOLOGIE IMPIANTISTICHE – SCUOLA ROMA

Cost Optimal

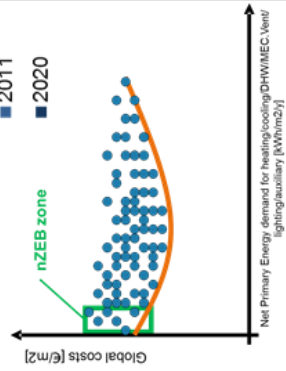
nZEB



I grafici rappresentano la distribuzione percentuale delle tecnologie impiantistiche all'interno del campione di dati rappresentante la zona cost-optimal. Con una freccia rossa vengono indicati i sistemi impiantistici valutati applicando criteri di selezione più restrittivi.



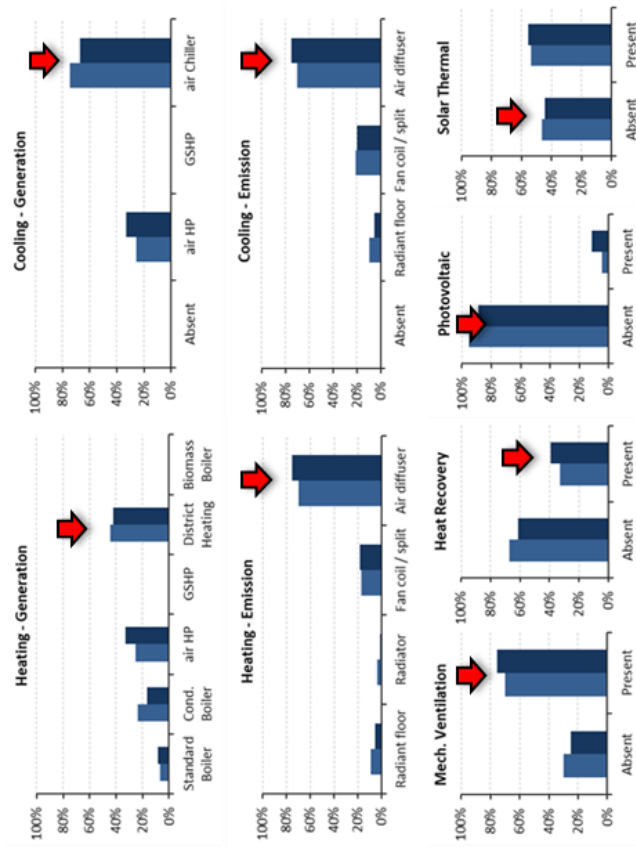
I grafici rappresentano la distribuzione percentuale delle tecnologie impiantistiche all'interno del campione di dati rappresentante la zona nZEB. Con una freccia rossa vengono indicati i sistemi impiantistici valutati applicando criteri di selezione più restrittivi.



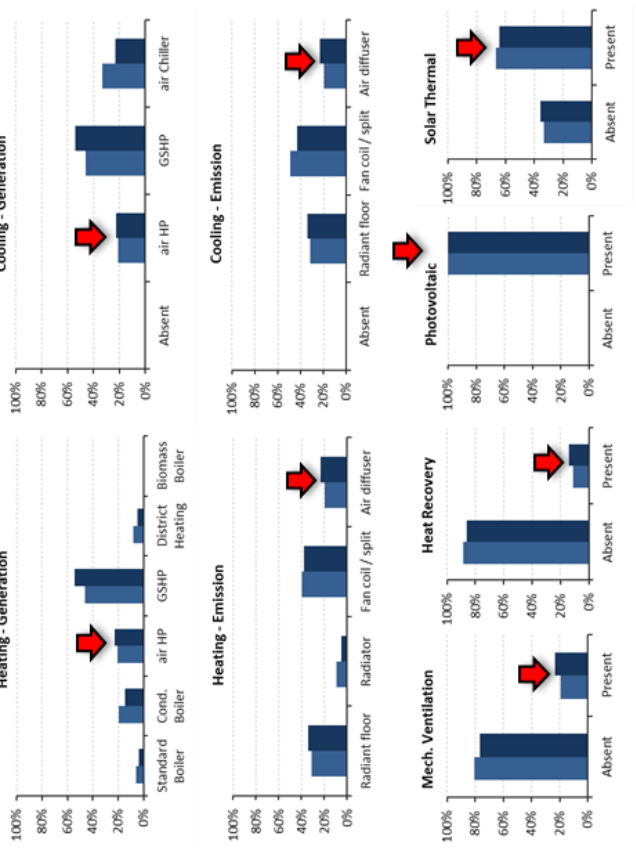
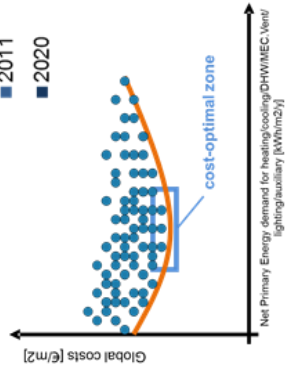
TECNOLOGIE IMPIANTISTICHE – SCUOLA MILANO

Cost Optimal

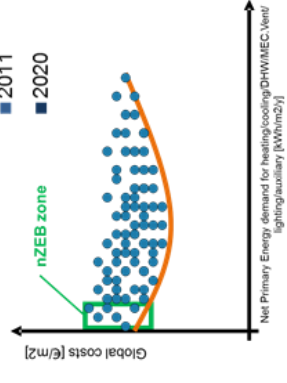
nZEB



I grafici rappresentano la distribuzione percentuale delle tecnologie impiantistiche all'interno del campione di dati rappresentante la zona cost-optimal. Con una freccia rossa vengono indicati i sistemi impiantistici valutati applicando criteri di selezione più restrittivi.



I grafici rappresentano la distribuzione percentuale delle tecnologie impiantistiche all'interno del campione di dati rappresentante la zona nZEB. Con una freccia rossa vengono indicati i sistemi impiantistici valutati applicando criteri di selezione più restrittivi.



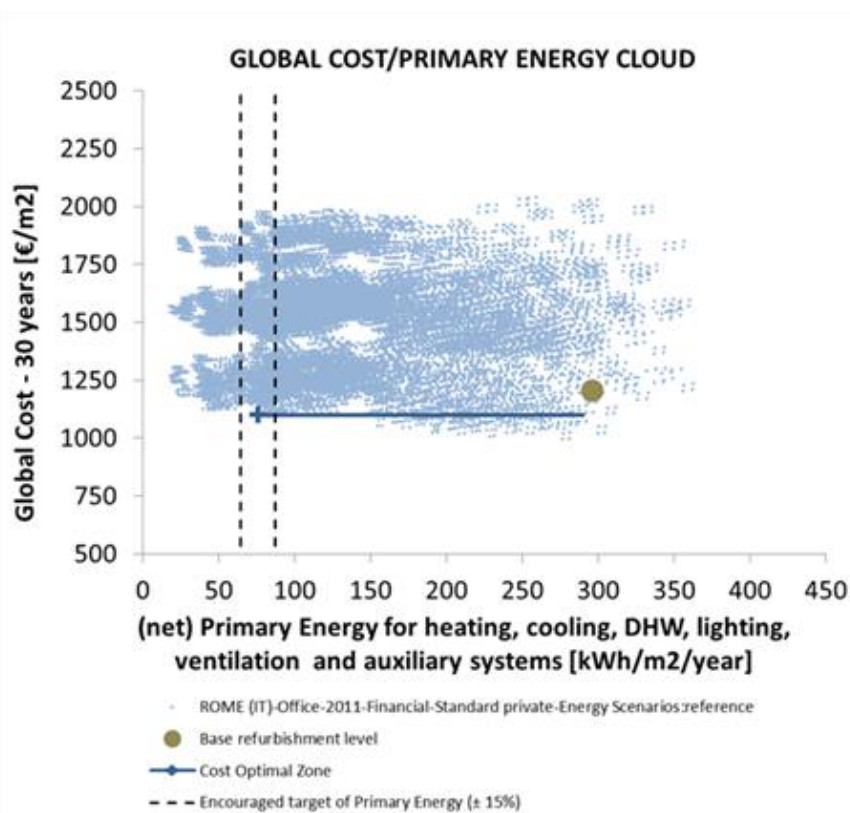
Il secondo livello di analisi ha lo scopo di analizzare l'intera nuvola di punti costo/energia al variare dell'anno zero iniziale (sono messi a confronto interventi edilizi attuati nel 2011 e nel 2020), dell'evoluzione dei prezzi di acquisto dell'energia nel tempo (scenario Poles di riferimento o ambizioso), applicando filtri di selezione sulle tecnologie.

Questo secondo livello di analisi è espresso con una serie di grafici per ogni destinazione d'uso e contesto climatico.

Descrizione delle rappresentazioni grafiche

Grafico di tipo A): Costi Globali vs Domanda di Energia Primaria Netta

L'analisi rappresenta la nuvola di punti caratterizzati da uno specifico valore di costo globale (asse Y) e di domanda di energia primaria netta (asse X).



Si ricorda che:

- i costi globali includono i costi di investimento iniziali, costi di manutenzione, costi di sostituzione, costi di smaltimento, i costi dell'energia spesa per il funzionamento dell'edificio, il valore finale che ha l'edificio al termine del periodo di calcoli. Il costo globale è stato attualizzato all'anno zero con un tasso di sconto di mercato mediato sugli anni 2008÷2011. Non sono considerati il costo delle esternalità (€/tCO₂) e meccanismi di incentivazione o sussidio riconosciuti agli interventi di ristrutturazione edilizia o di riqualificazione energetica degli edifici.
- L'energia primaria netta è l'energia primaria che verrebbe consumata in un anno dall'edificio (per il riscaldamento, il raffrescamento, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione meccanica, per l'illuminazione degli ambienti interni e il consumo degli ausiliari elettrici utilizzati dagli impianti meccanici e idraulici), alla quale viene detratta l'energia primaria generata "on site" da rinnovabile.

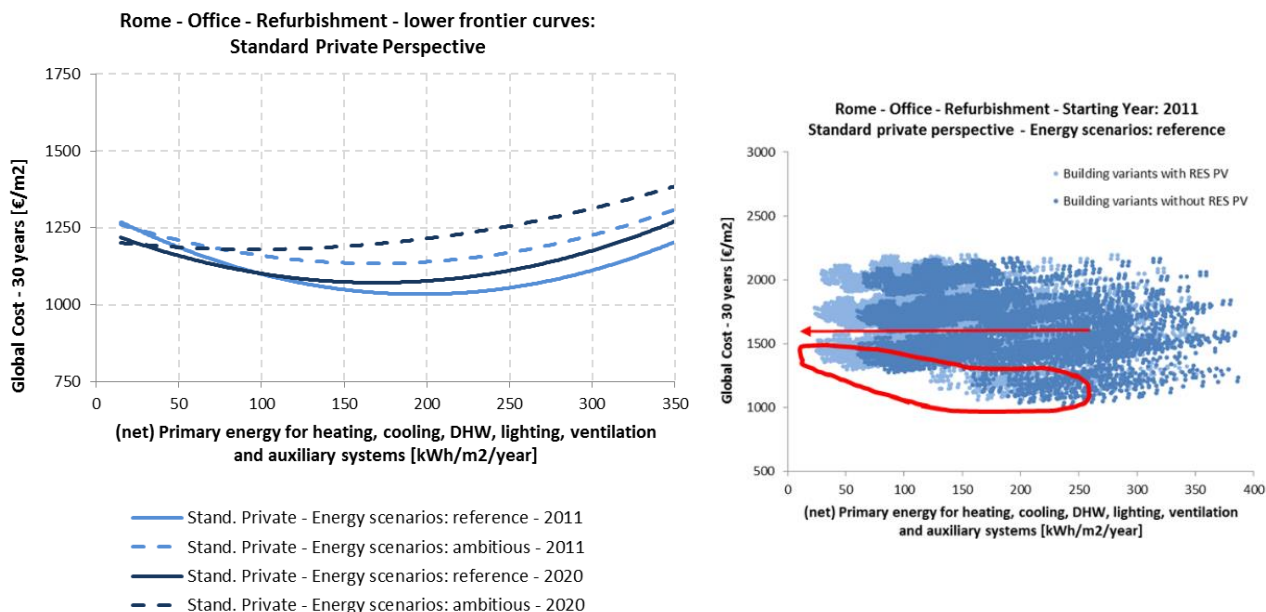
La nuvola è un utile strumento per identificare l'area dei livelli ottimali in funzione dei costi (area di cost optimal) e di minor domanda di energia primaria netta (area nZEB), per ogni destinazione d'uso e per regione climatica.

Sullo stesso grafico viene evidenziato il modello di edificio corrispondente al livello base di ristrutturazione e restituite graficamente le indicazioni metodologiche dell'EPBD e dalla "Cost Optima Regulation", ovvero:

- Nei casi in cui l'esito dei calcoli dell'ottimalità dei costi produca gli stessi costi globali per livelli diversi di prestazione energetica, si esortano gli Stati membri a impiegare i requisiti che risultino in un consumo minore di energia primaria come base di confronto con i requisiti minimi di prestazione energetica esistenti [European Commission 2012b]. Il suggerimento viene rappresentato dal segmento blu orizzontale che include tutti i modelli di edifici con lo stesso costo globale sul periodo di calcolo di trenta anni, identificando così un intervallo di energia primaria netta. Con una croce blu viene identificato il livello di prestazione che incontra l'esortazione proposta dalla regulation.
- rispetto al valore minimo di energia primaria della zona identificata come cost optimal, le linee tratteggiate mostrano un intervallo di energia primaria di $\pm 15\%$, per il quale l'EPDB recast 2010 dice: "in caso di significativa discrepanza, ossia superiore al 15 %, tra il risultato del calcolo dei livelli ottimali in funzione dei costi per i requisiti minimi di prestazione energetica e i requisiti minimi di prestazione energetica in vigore, gli Stati membri dovrebbero giustificare la differenza o pianificare misure adeguate per ridurre tale discrepanza.

Grafico di tipo B): analisi di sensitività

Questo tipo di analisi mostra lo scostamento del profilo basso della nuvola di punti, ottenuto attraverso una interpolazione polinomiale, al variare di alcuni parametri chiave: l'anno zero (2011 – 2020) e lo scenario di evoluzione dei prezzi dell'energia (scenario di riferimento e ambizioso). L'area di interesse rappresentata è la porzione di nuvola ricompresa tra la zona cost optimal e la zona nZEB (cerchiata in rosso nella figura sottostante di sinistra).



Rimane invariata la prospettiva economica di calcolo: finanziaria privata. Possibili sviluppi futuri di sicuro interesse sono l'analisi di sensitività al variare della prospettiva economica e dei costi di installazione delle tecnologie. Queste potrebbero garantire una maggiore robustezza ai risultati di calcolo.

Le curve rappresentate nel grafico tipo B) hanno il solo scopo di dare una visione qualitativa dell'influenza che hanno i parametri variati sul profilo basso della nuvola di punti. Questa valutazione non sarebbe possibile con la sovrapposizione di più nuvole di punti. Inoltre, trattandosi di interpolazione polinomiale (di secondo, terzo o ordini superiori), viene introdotto inevitabilmente un grado di incertezza; per questo motivo, i tracciati del profilo basso della nuvola così ottenuti non possono essere utilizzati nella discussione volta alla definizione della zona ottimale dei costi.

Grafico di tipo C): Costi Globali vs Domanda di Energia Primaria Netta con applicazione di filtri

Permette di affrontare discussioni su come sia possibile ridurre l'energia primaria netta, con o senza la possibilità di utilizzare l'energia solare prodotta in loco da sistemi solari fotovoltaici (grafico sotto a sinistra) oppure come si collocano, rispetto al profilo basso della curva i modelli di edificio che hanno implementato un sistema di ventilazione meccanica integrata con un recuperatore di calore (grafico sotto a destra).

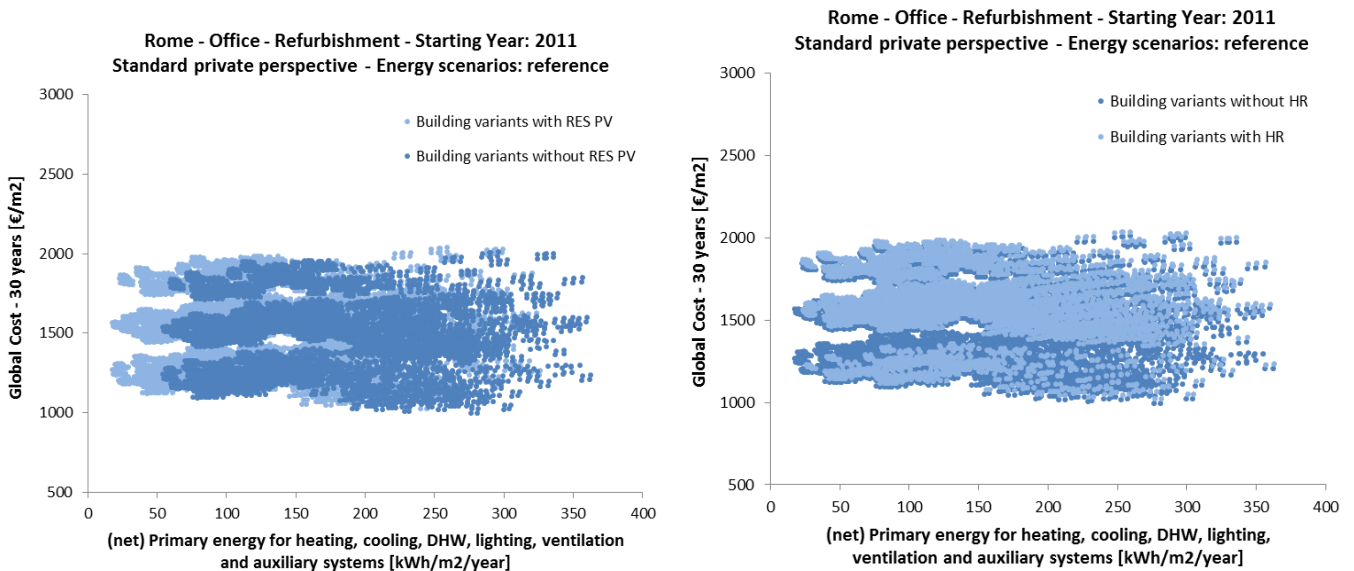


Grafico di tipo D): disaggregazione del costo globale in voci di costo

Permette di osservare, per alcuni edifici disposti sulla frontiera bassa della nuvola con differente domanda di energia primaria netta il peso che ha l'investimento iniziale, rispetto a tutte le altre voci di costo considerate nel presente studio. Si ricorda che tutte le voci legate alle lavorazioni che non hanno alcuna influenza sul comportamento energetico dell'edificio (strutture, rifacimento della distribuzione interna, rifacimento degli aree esterne, ecc.) non sono considerati nel calcolo del costo globale. Non sono inoltre considerati meccanismi di incentivazione o sussidi, pertanto il credito generato dalla vendita dell'energia elettrica prodotta in sito dall'impianto fotovoltaico è calcolato considerando solamente il prezzo di mercato del kWh venduto ed immesso in rete.

Tutti le voci di costo rappresentante sono calcolate sul lungo periodo ed attualizzate all'anno zero (2011).

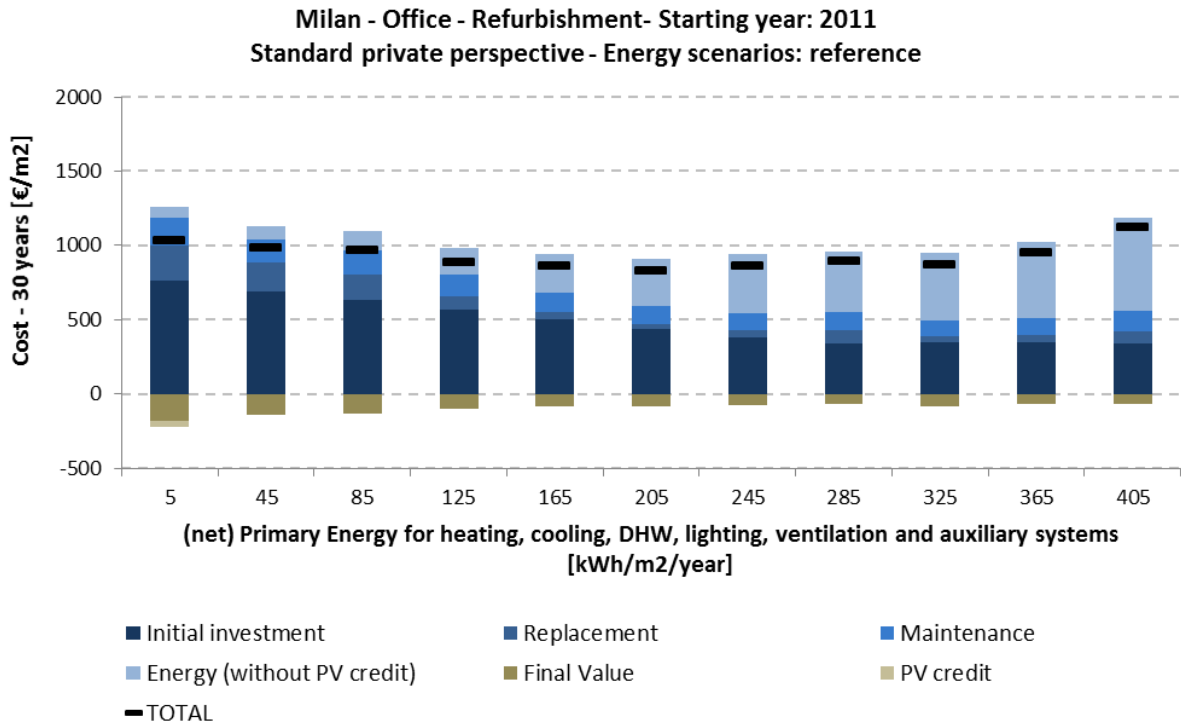


Grafico di tipo E): analisi economica

Permette di visualizzare l’intervallo di costo globale sull’intera nuvola di punti esprimendo il valore minimo, quello massimo e la media per differenti classi di fabbisogno di energia utile per il riscaldamento e il raffrescamento.

Questo grafico può aiutare i decisori politici a comprendere quanto le misure di efficienza volte a ridurre la domanda di energia utile di un edificio, possano incidere, in termini di costo globale sul lungo periodo.

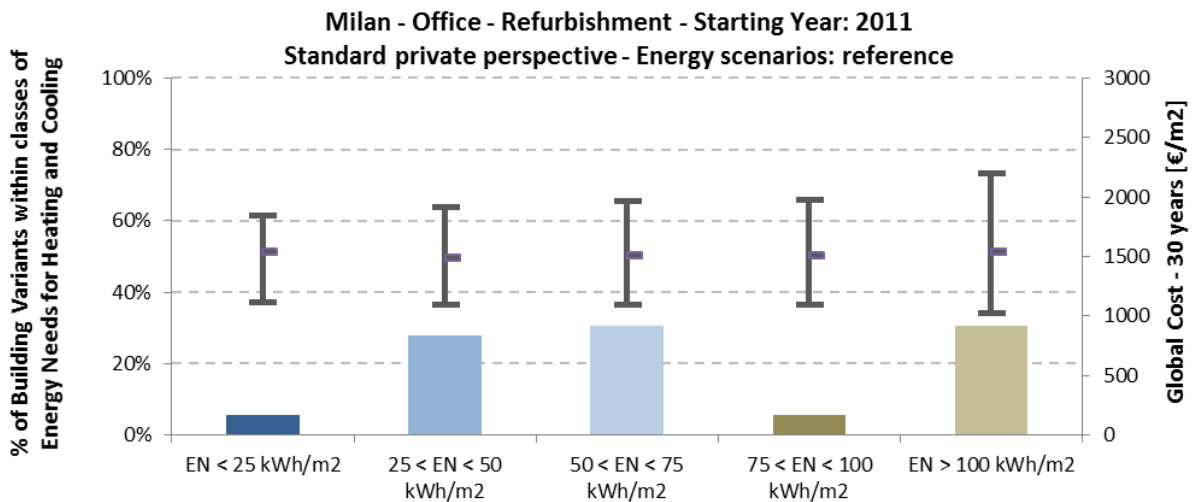


Grafico di tipo F): distribuzione percentuale delle tecnologie ricomprese nelle aree di cost optimal o nZEB

Questa analisi permette di riconoscere le potenzialità che ha una tecnologia o una famiglia di interventi di raggiungere l'area appartenente agli edifici cost optimal o nZEB, sotto determinate ipotesi di prospettiva economica, andamento dei prezzi dell'energia, di anno zero di calcolo. La rappresentazione ad istogrammi rappresenta la ricorrenza, espressa come percentuale, della specifica tecnologia impiantistica o della combinazione di interventi sull'edificio nel presentarsi all'interno dell'area di interesse. Nella Figura 19 è rappresentata la logica di selezione dell'area nZEB. Le percentuali espresse sono indicative e possono variare al fine di ricomprendere all'interno dell'area un campione di almeno 150-200 modelli di edificio.

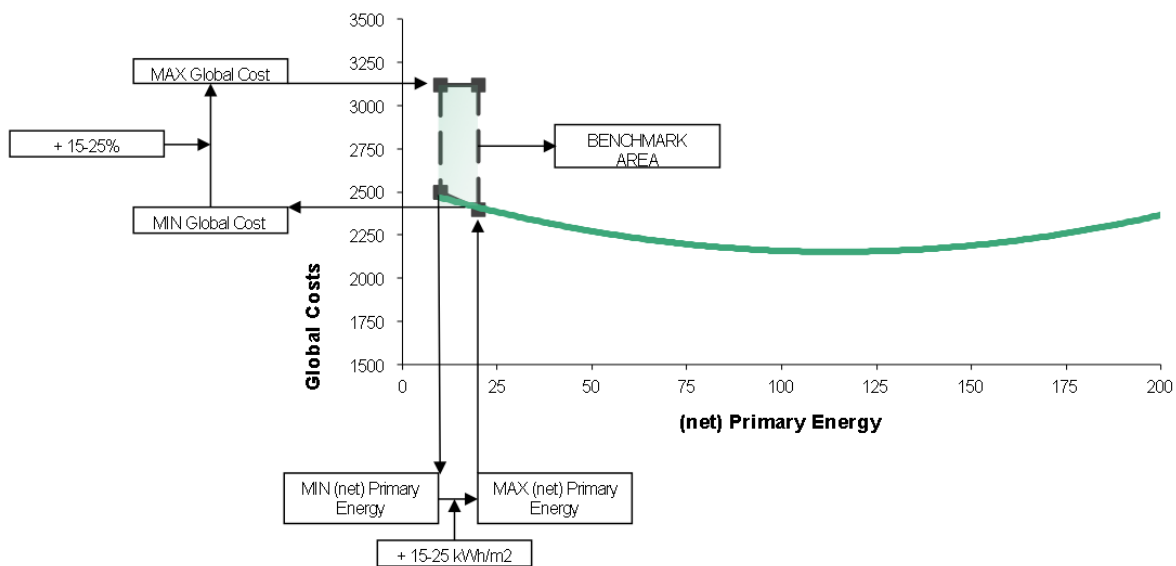
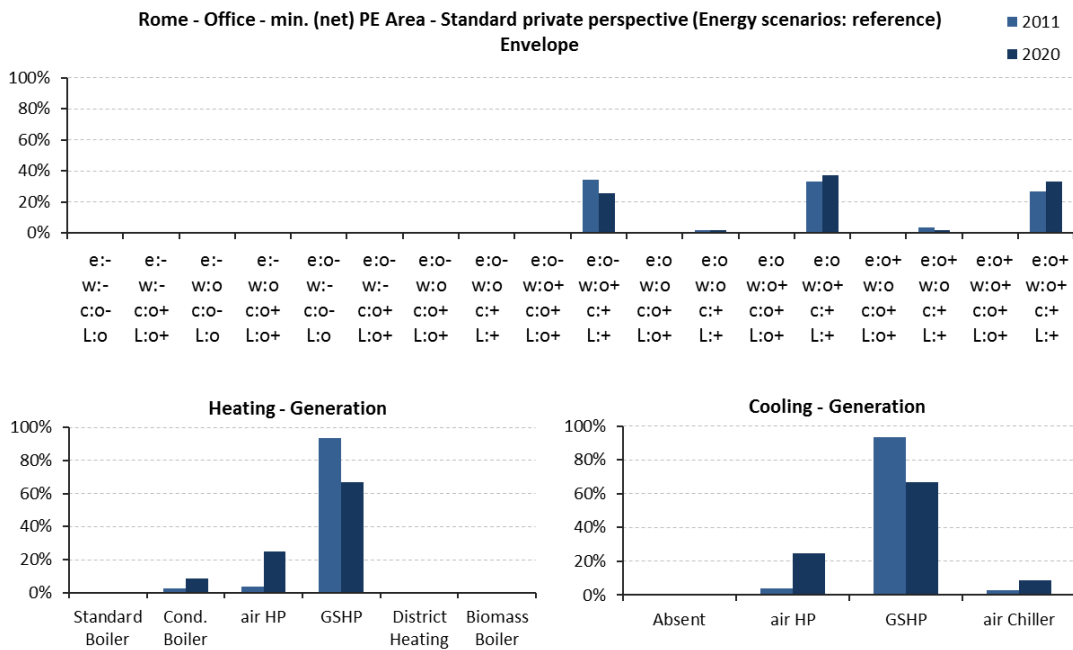


Figura 19. Criterio di selezione della zona nZEB

La stessa logica di selezione è stata utilizzata per definire il campione statistico dell'area cost optimal. In questo caso la forma del riquadro di selezione sarà un rettangolo con il lato lungo a definire l'intervallo di energia primaria netta considerato e con il lato corto a limitare lo scostamento dei costi globali.

In testa al grafico ad istogrammi è sempre riportato un riquadro di sintesi contenente i limiti di definizione dell'area interrogata e il numero di modelli considerati.

Lo studio e la valutazione della ricorrenza delle tecnologie è effettuata sia per la zona cost optimal che per la zona nZEB, per due differenti anni zero di calcolo (2011 e 2020).



Il grafico non dà alcuna informazione sulla fattibilità o meno della realizzazione dell'intervento in quanto il contesto all'interno al quale è collocato l'edificio da ristrutturare non è attualmente preso in considerazione; si pensi ad esempio all'installazione di una pompa di calore geotermica in un contesto cittadino densamente urbanizzato, o a vincoli architettonici che impediscono l'integrazione con sistemi solari. In questi casi la priorità ricade nel cercare di ridurre il più possibile la domanda di energia utile dell'edificio, per far fronte all'impossibilità, durante un'opera di ristrutturazione, di installare sistemi attivi particolarmente efficienti o alimentati da fonte rinnovabile.

Grafico di tipo G): distribuzione percentuale dei fabbisogni di energia dei modelli di edifici ricompresi nelle aree di indagine cost optimal e nZEB

Restituisce l'informazione della distribuzione percentuale per classi di consumo, espresse in kWh/m², all'interno delle aree di interesse definite per la creazione dell'analisi rappresentata con il grafico F), del fabbisogno di energia utile (componente sensibile + componente latente) per riscaldamento, per raffrescamento, ed il consumo specifico di energia per l'illuminazione degli ambienti interni.

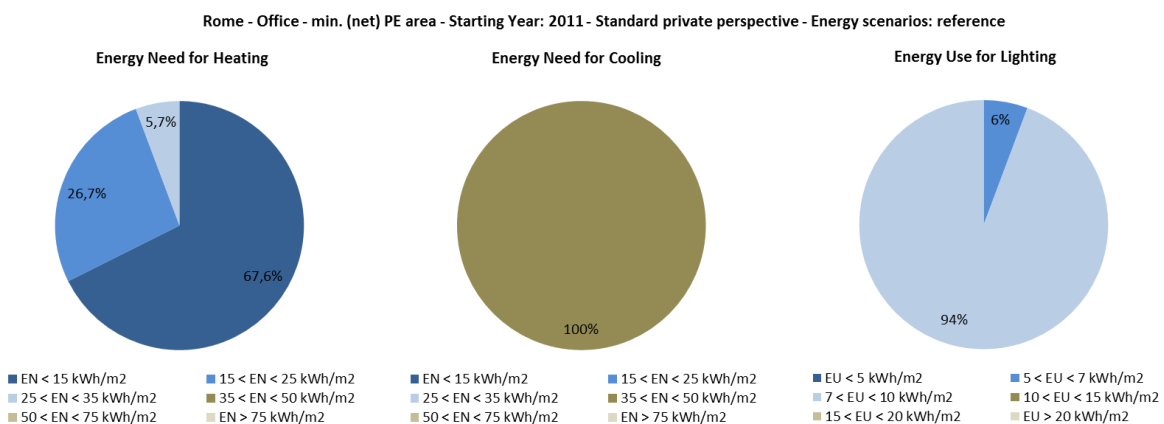
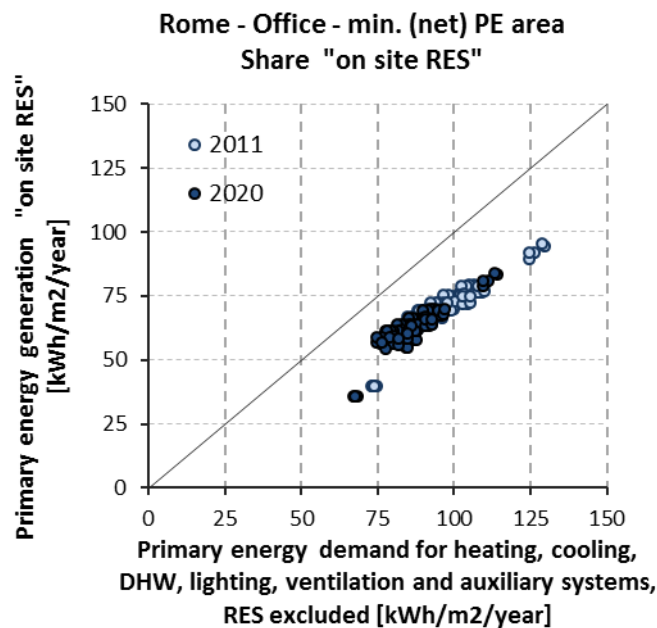


Grafico di tipo H): share di rinnovabili

Indicazione della domanda di energia primaria coperta da fonte rinnovabile rispetto alla medesima domanda richiesta per i modelli di edificio all'interno della zona nZEB.

Sull'asse orizzontale è riportata la domanda di energia primaria annuale dell'edificio senza il contributo di rinnovabili. Sull'asse verticale è invece riportato l'energia generata durante l'anno solare, opportunamente convertita in primaria, da fonte rinnovabile. All'interno del presente studio è considerata energia rinnovabile prodotta in sito, l'energia generata da collettori solari termici, da pannelli solari fotovoltaici, da pompe di calore quando sono rispettate le prestazioni minime richieste contenute nella Decisione della Commissione Europea 2013/114/UE del 01 Marzo 2013.

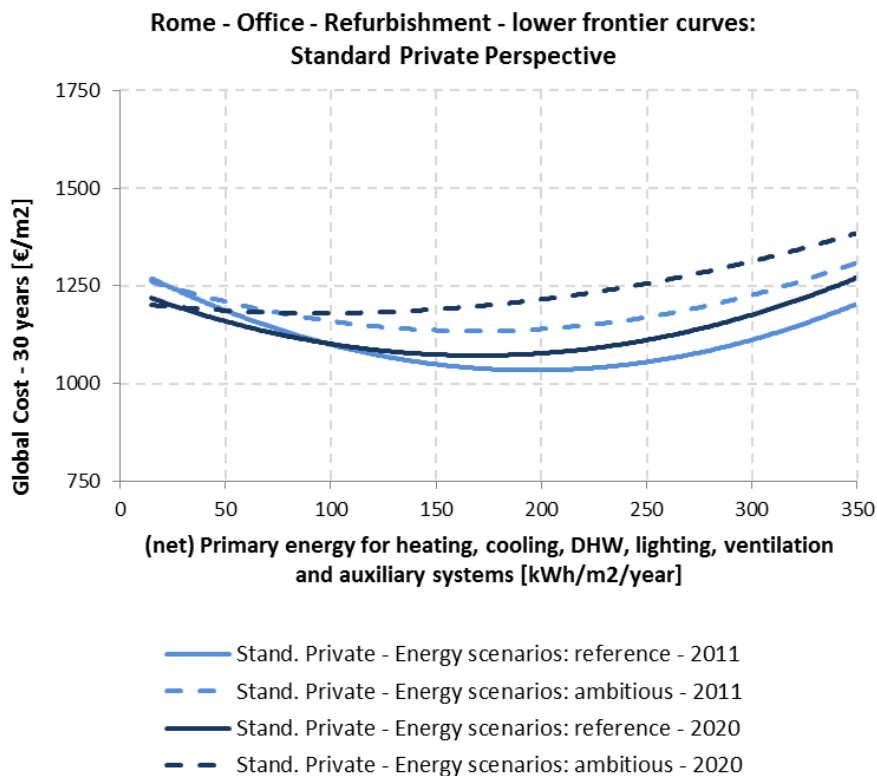
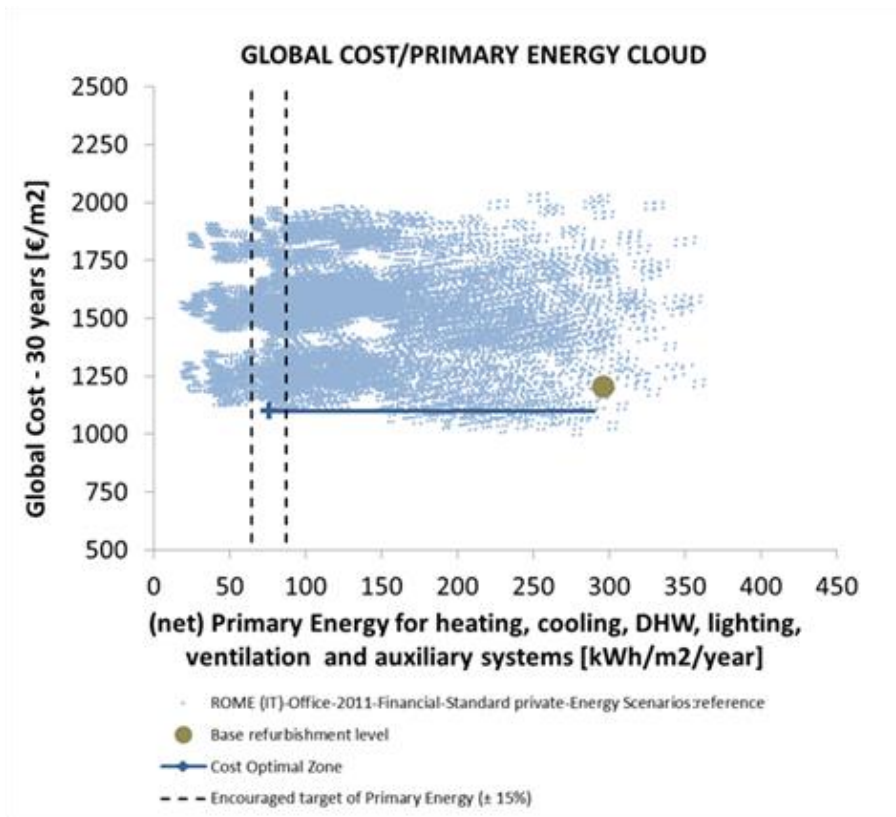


Nella definizione di edificio a quasi zero energia utilizzato nel presente studio si ricorda che l'energia elettrica prodotta in eccesso ed immessa in rete viene considerata come credito e utilizzata a compensazione dell'energia primaria consumata in momenti in cui la generazione non è sufficiente a coprire la domanda. Gli scostamenti dei picchi potrebbero generare grandi consumi di energia fossile in alcuni periodi dell'anno, per questo, anche in questa occasione risulta utile rimarcare l'importanza di ridurre il fabbisogno di energia utile dell'edificio attraverso interventi mirati (isolamento dell'involucro, attuazione di strategie passive di raffrescamento e protezione solare, ecc.).

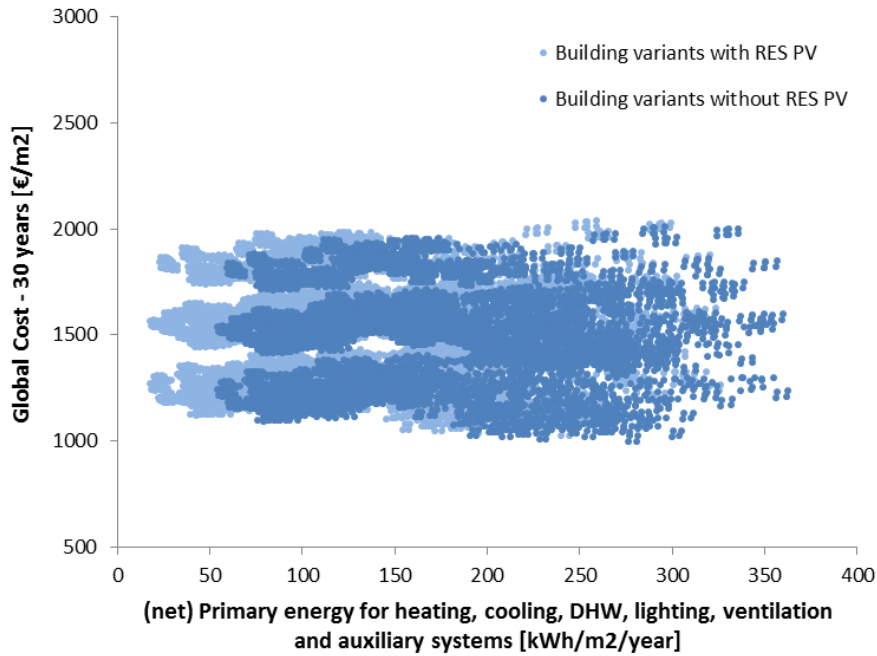
Di seguito sono riportati nello stesso ordine con il quale sono stati presentati tutti i grafici dei risultati ottenuti con il livello di dettaglio meno puntuale rispetto a quello utilizzato per l'identificazione degli edifici utilizzato e spiegato all'inizio del presente capitolo.

I risultati sono suddivisi per destinazione d'uso e regione climatica.

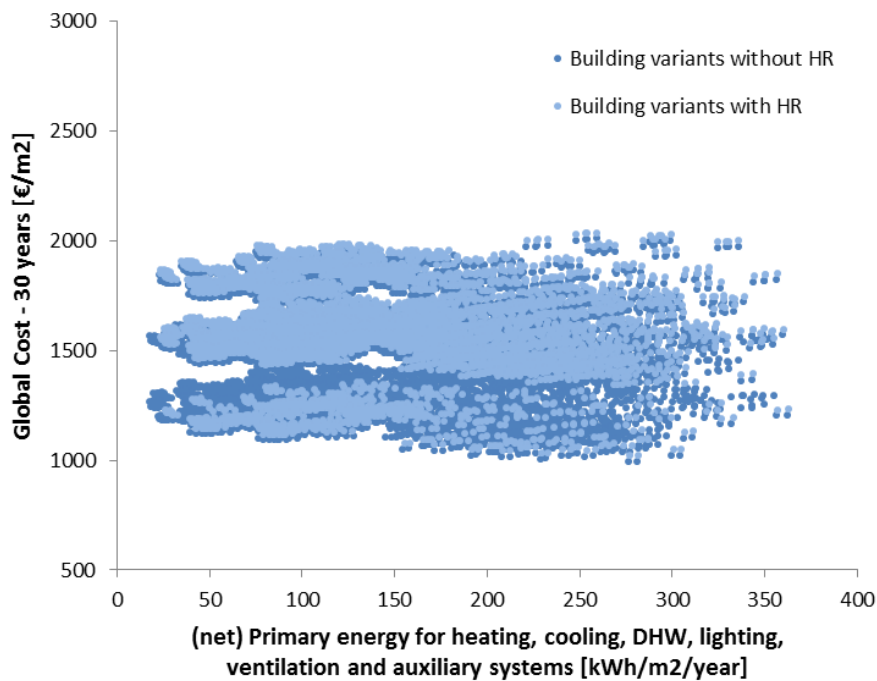
6.1 Uffici - Roma



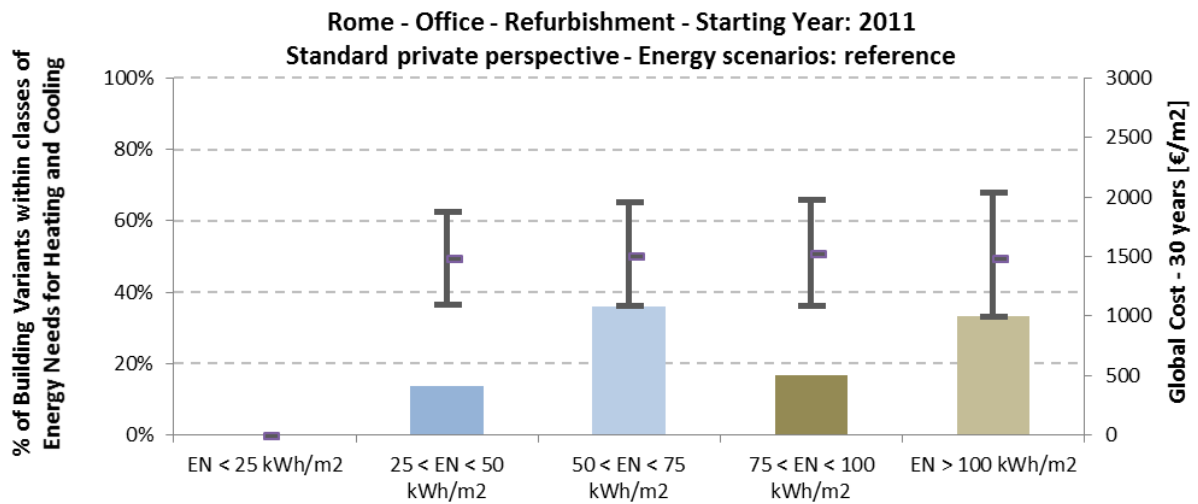
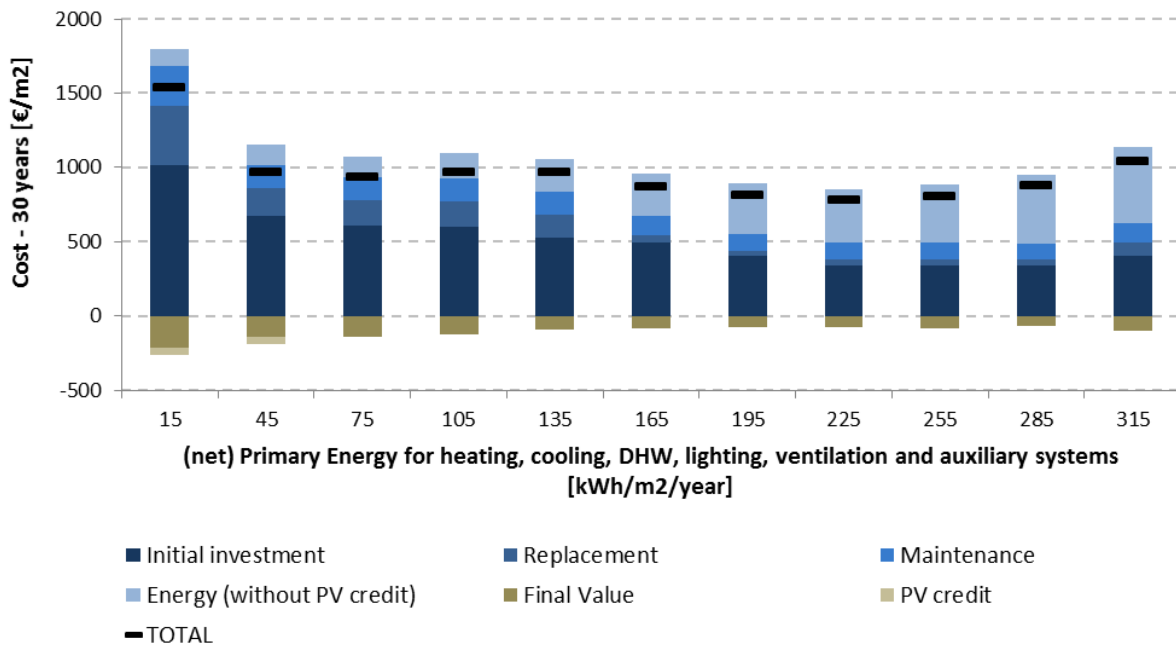
Rome - Office - Refurbishment - Starting Year: 2011
Standard private perspective - Energy scenarios: reference



Rome - Office - Refurbishment - Starting Year: 2011
Standard private perspective - Energy scenarios: reference

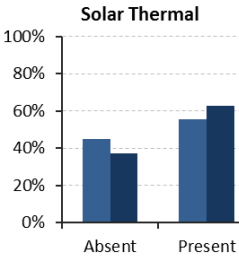
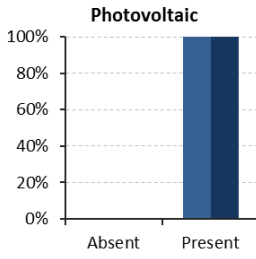
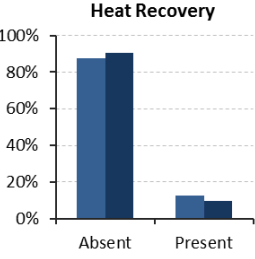
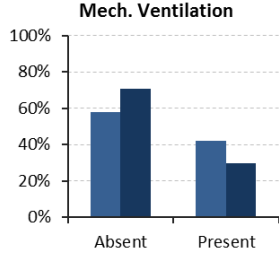
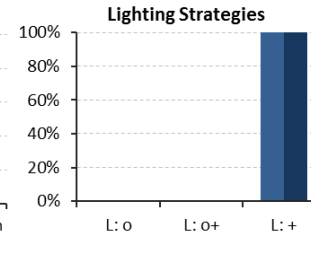
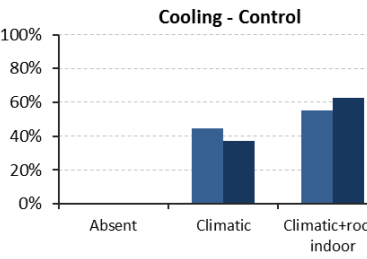
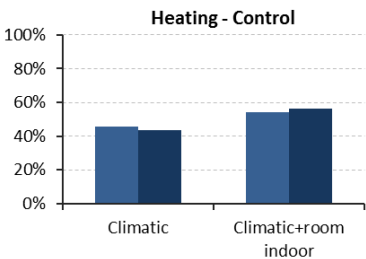
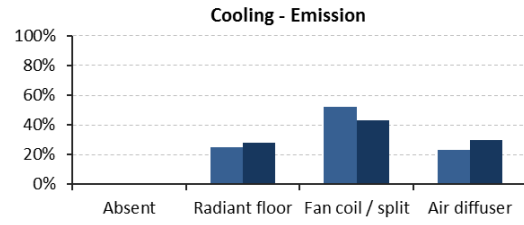
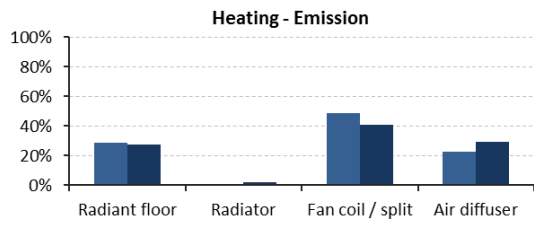
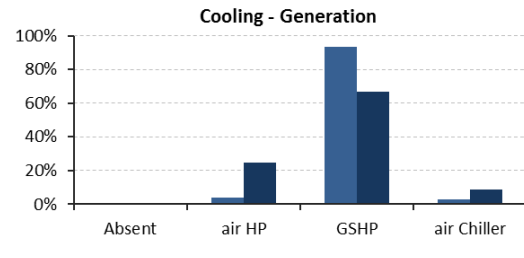
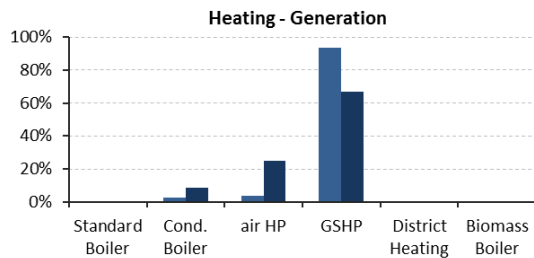
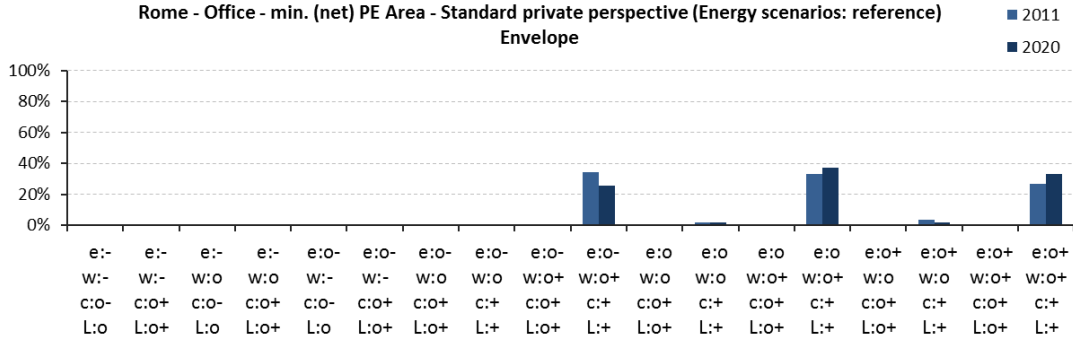


Rome - Office - Refurbishment- Starting year: 2011
Standard private perspective - Energy scenarios: reference

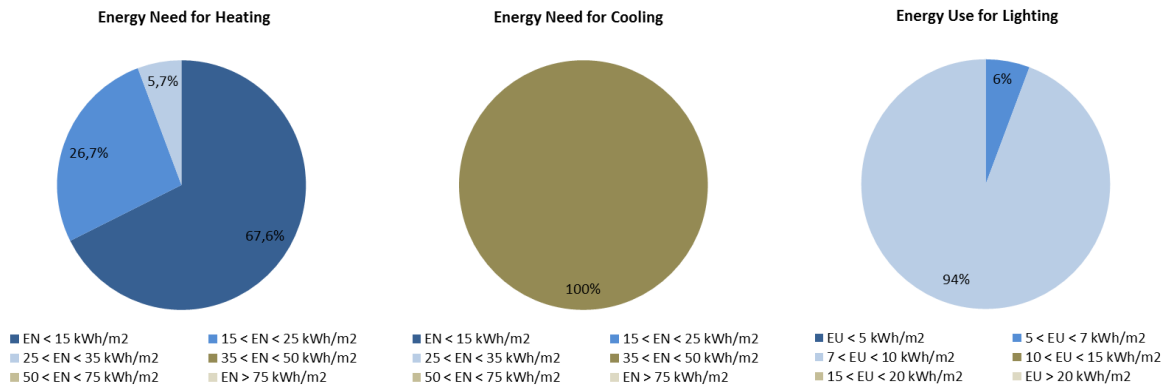


min. (net) Primary Energy Area	2011		2020	
	Min	Max	Min	Max
Range of (net) Primary Energy [kWh/m ² /y]:	17	35	15	35
Range of Global Costs [€/m ²]:	1180	1534	1133	1309
Number of Building Variants:	105		105	

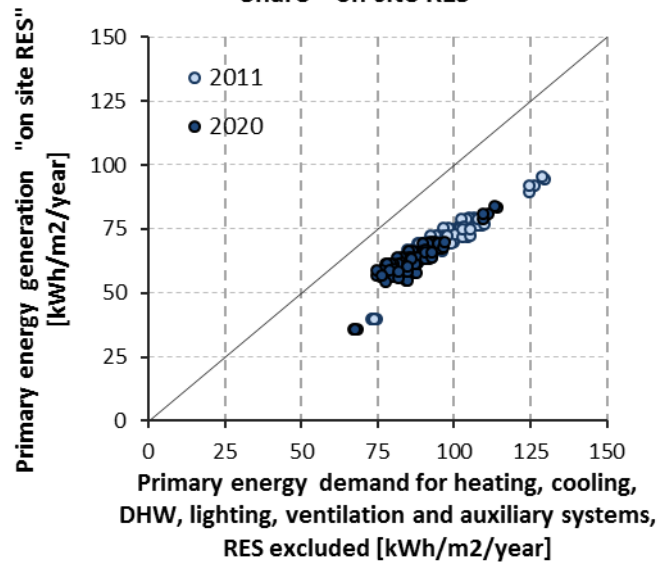
Rome - Office - min. (net) PE Area - Standard private perspective (Energy scenarios: reference)
Envelope



Rome - Office - min. (net) PE area - Starting Year: 2011 - Standard private perspective - Energy scenarios: reference

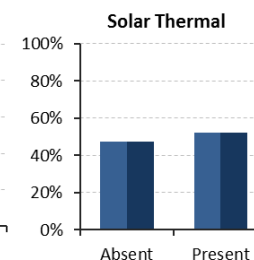
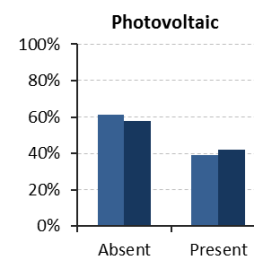
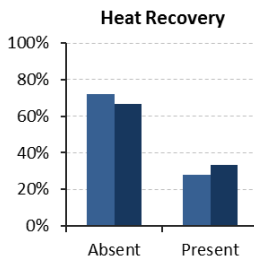
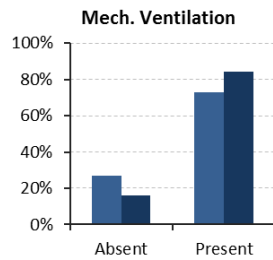
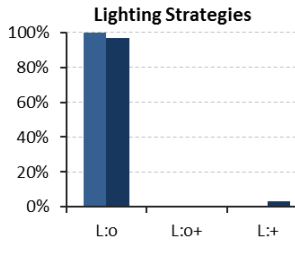
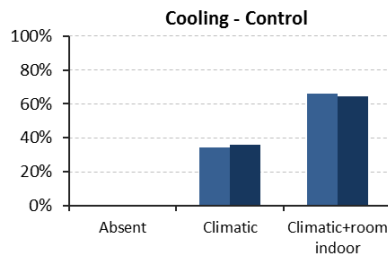
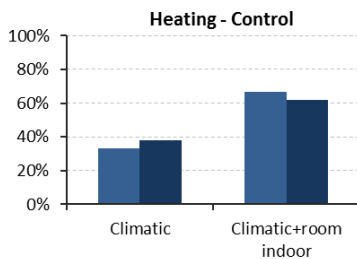
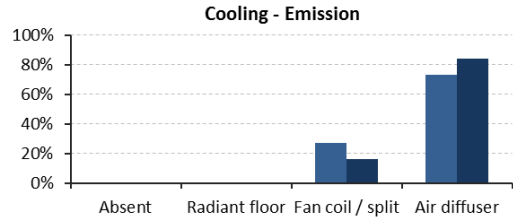
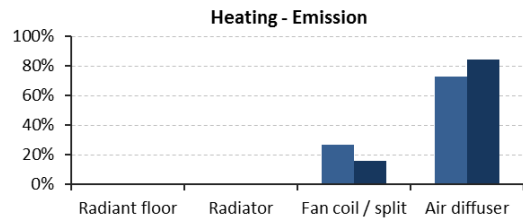
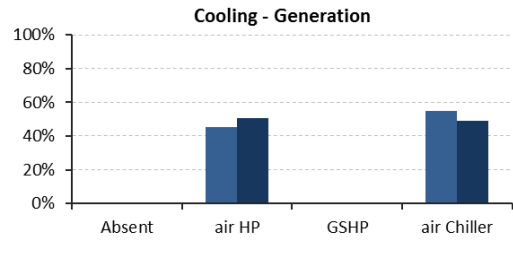
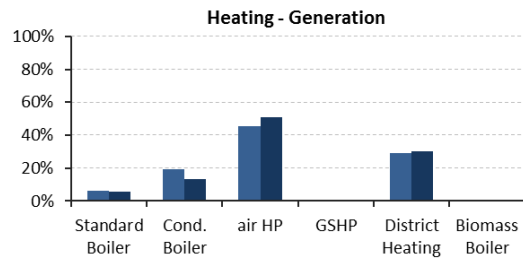
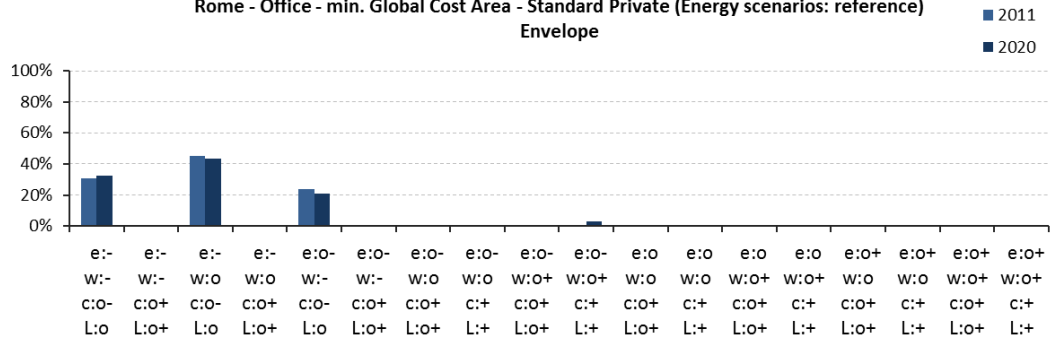


Rome - Office - min. (net) PE area
Share "on site RES"

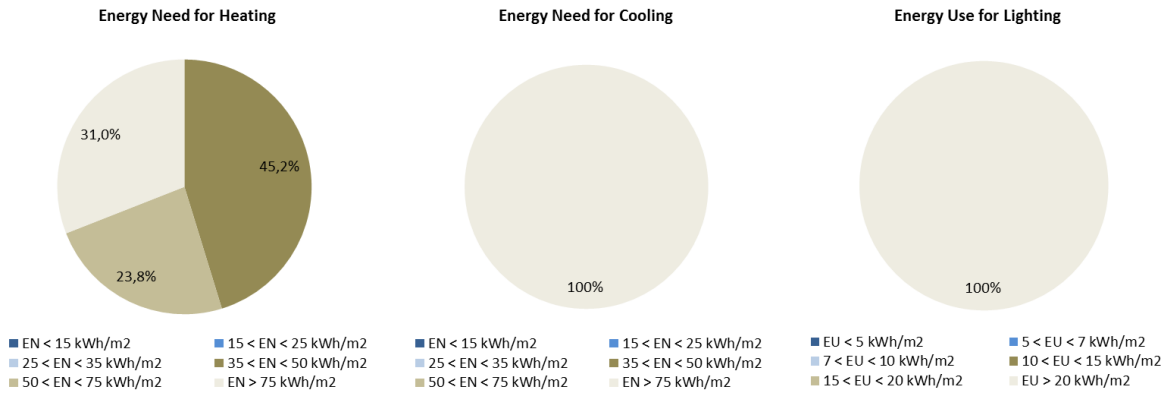


min. Global Cost Area	2011		2020	
	Min	Max	Min	Max
Range of (net) Primary Energy [kWh/m ² /y]:	50	250	50	250
Range of Global Costs [€/m ²]:	997	1086	1034	1114
Number of Building Variants:	126		126	

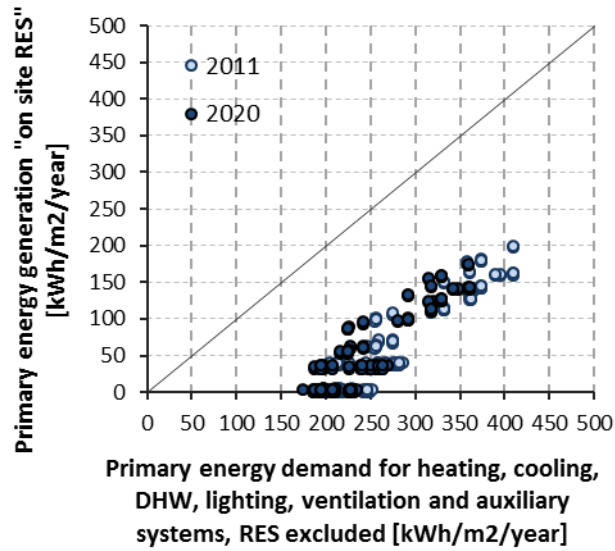
Rome - Office - min. Global Cost Area - Standard Private (Energy scenarios: reference) Envelope



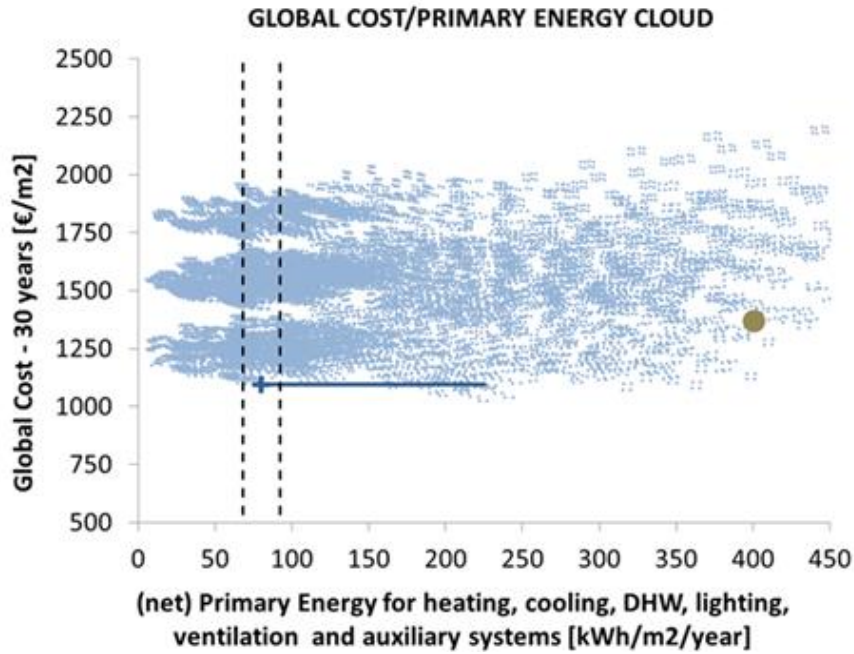
Rome - Office - min. Global Cost Area - Starting Year: 2011 - Standard private perspective - Energy scenarios: reference



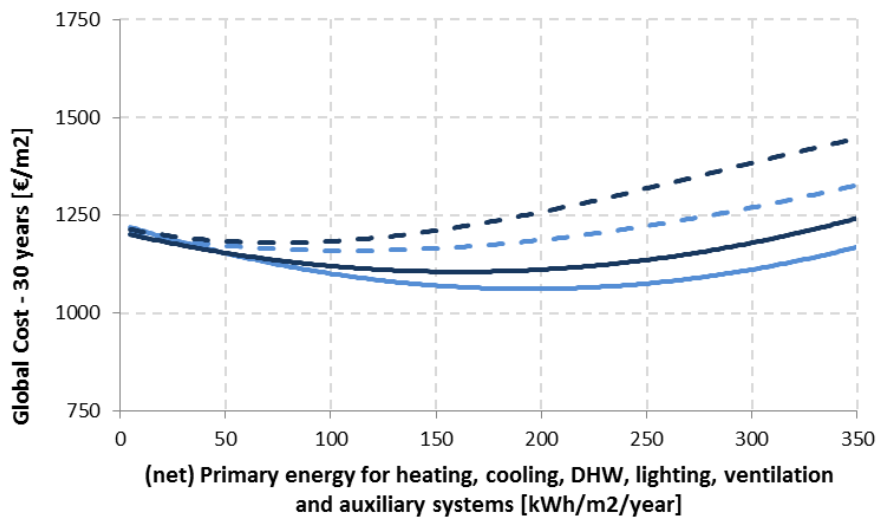
Rome - Office - min. Global Cost Area
Share "on site RES"



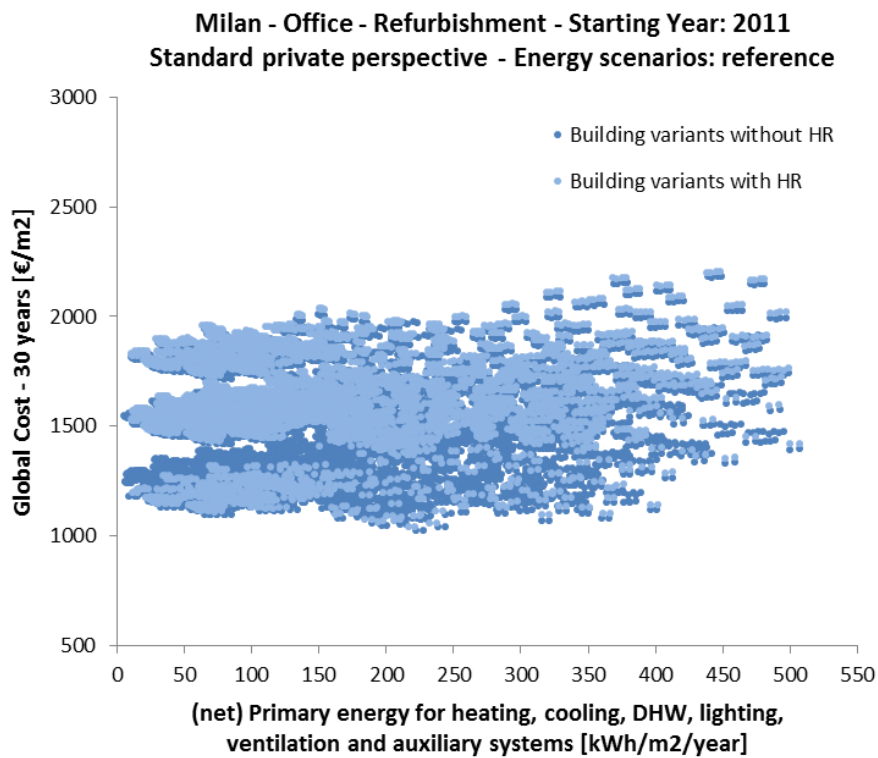
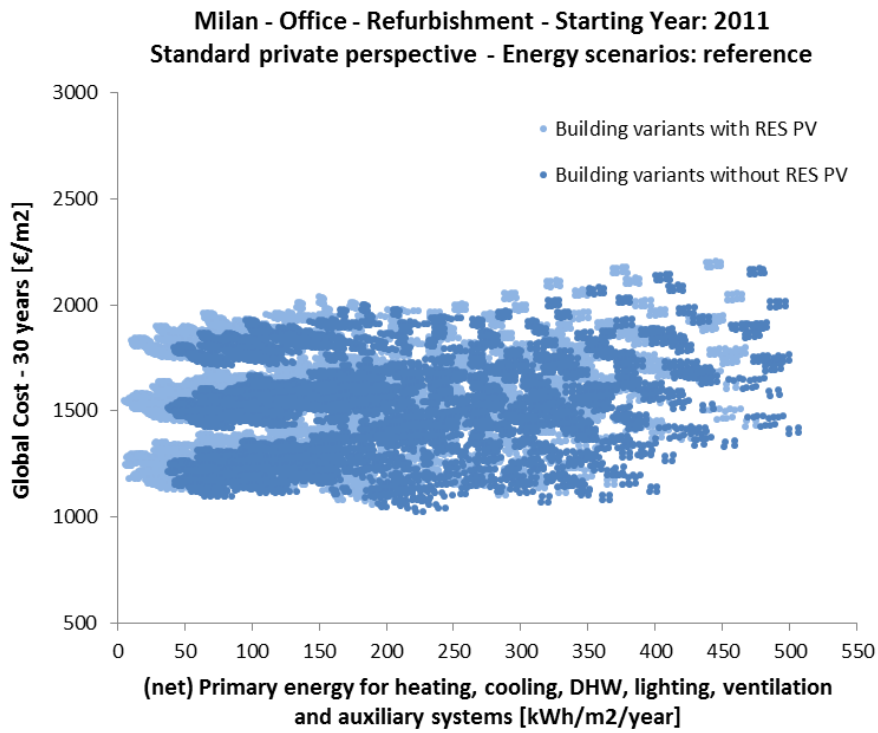
6.2 Uffici - Milano



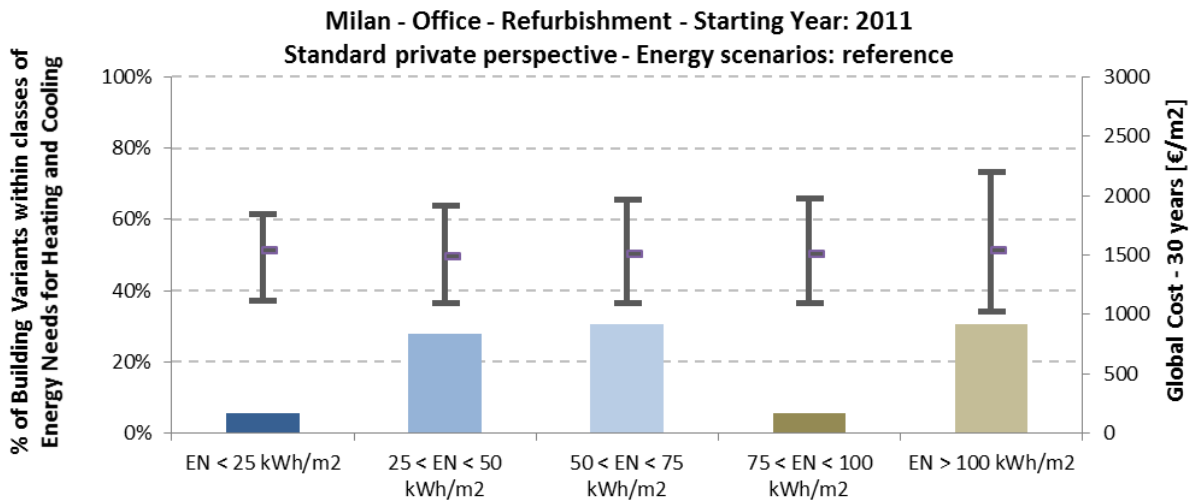
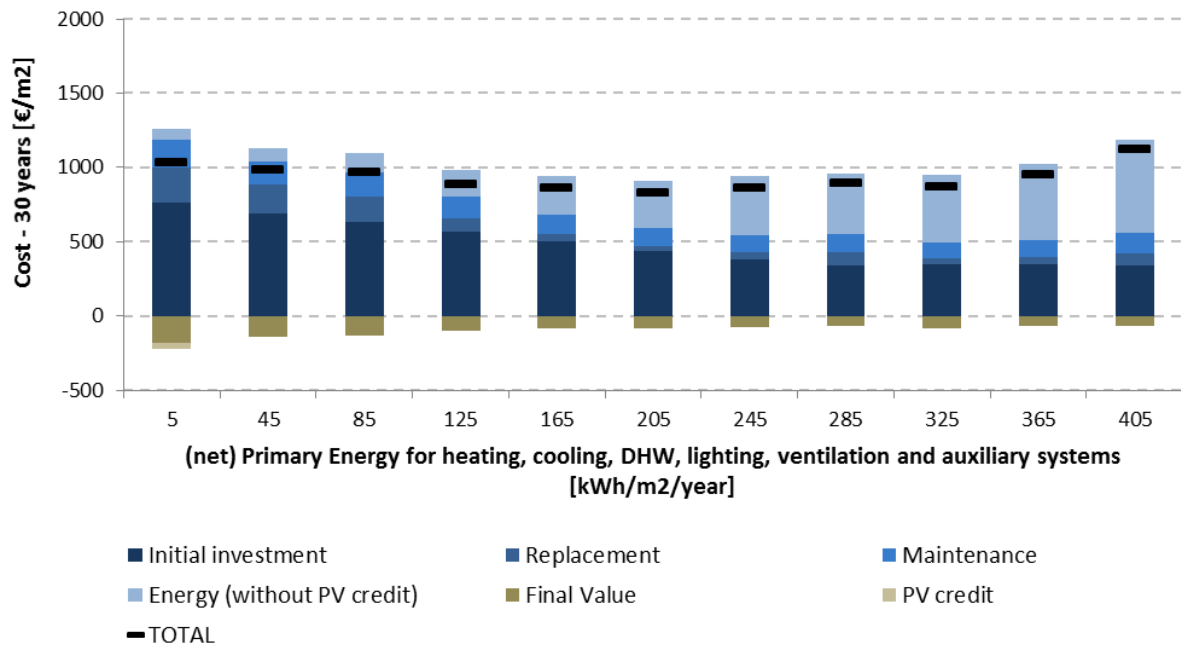
Milan - Office - Refurbishment - lower frontier curves:
Standard Private Perspective



- Stand. Private - Energy scenarios: reference - 2011
- - Stand. Private - Energy scenarios: ambitious - 2011
- Stand. Private - Energy scenarios: reference - 2020
- - Stand. Private - Energy scenarios: ambitious - 2020

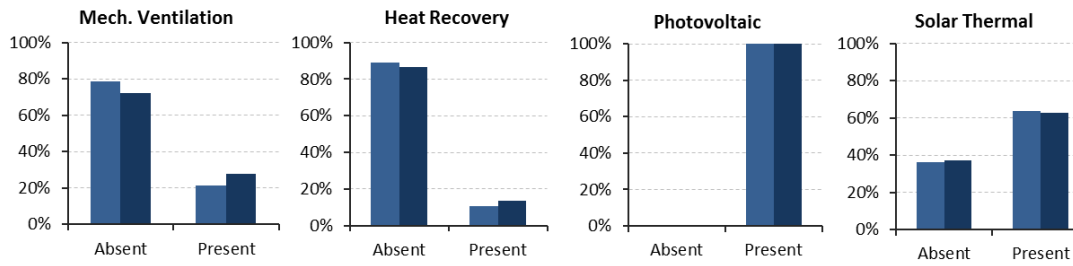
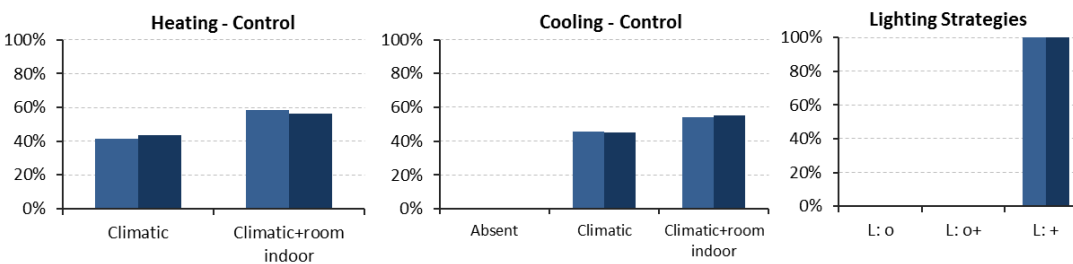
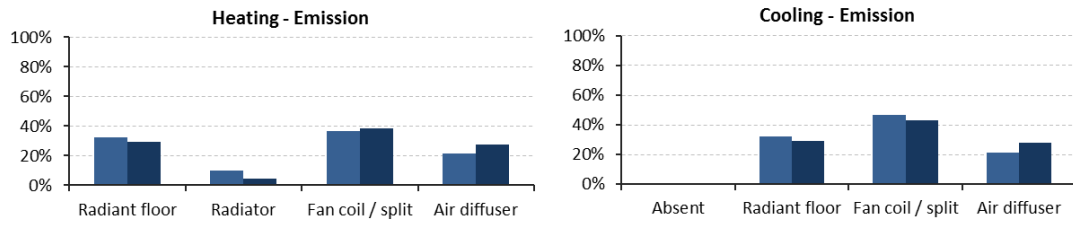
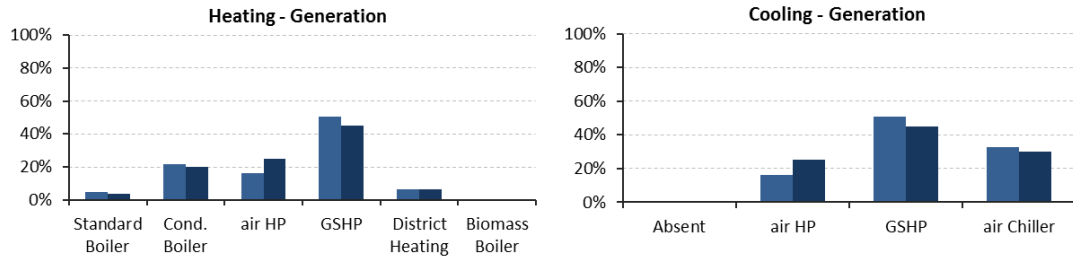
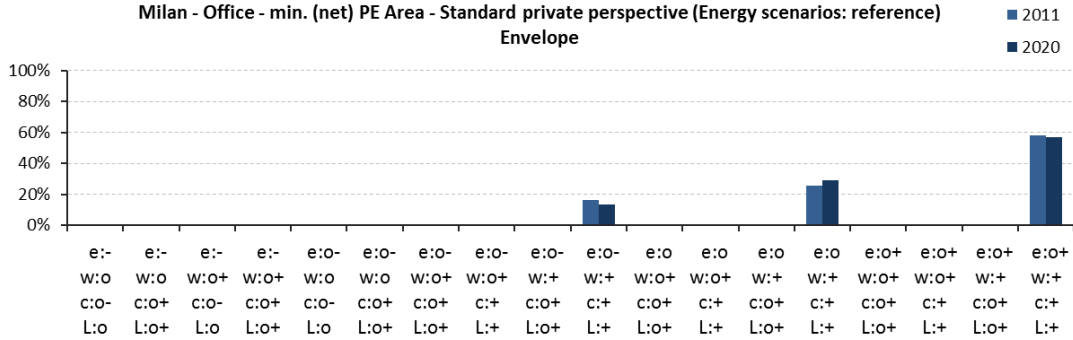


Milan - Office - Refurbishment - Starting year: 2011
Standard private perspective - Energy scenarios: reference

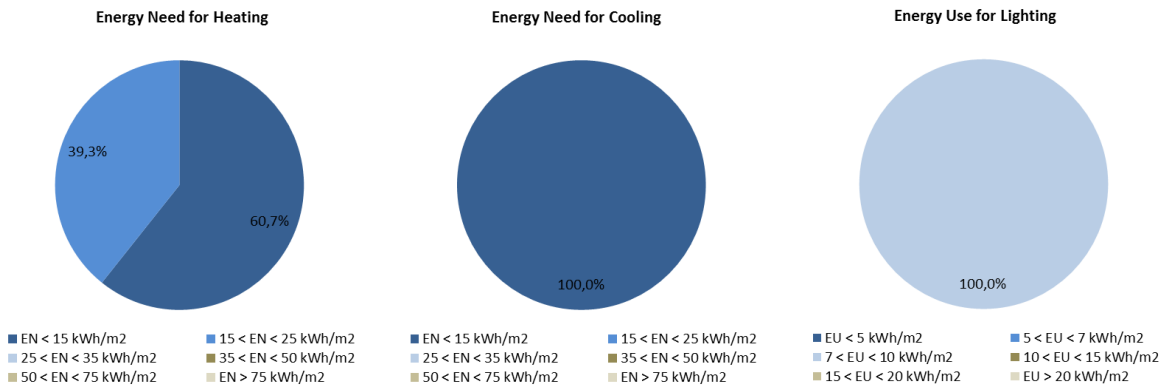


min. (net) Primary Energy Area	2011		2020	
	Min	Max	Min	Max
Range of (net) Primary Energy [kWh/m ² /y]:	5	25	5	25
Range of Global Costs [€/m ²]:	1152	1383	1153	1293
Number of Building Variants:	140		140	

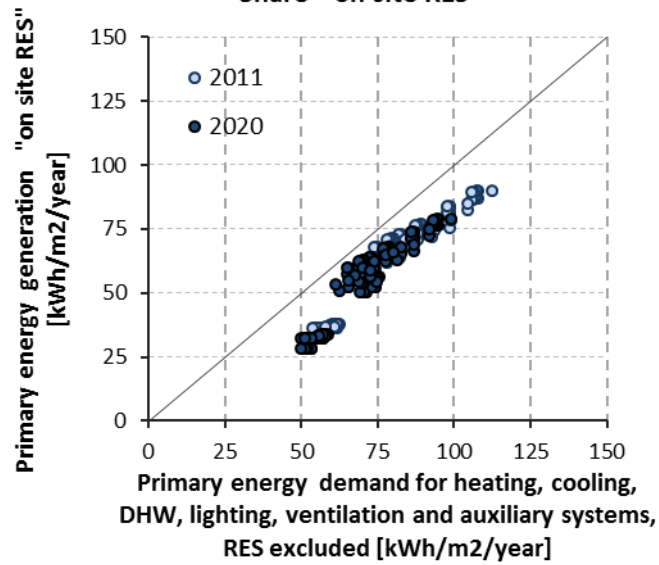
Milan - Office - min. (net) PE Area - Standard private perspective (Energy scenarios: reference)
Envelope



Milan - Office - min. (net) PE area - Starting Year: 2011 - Standard private perspective - Energy scenarios: reference

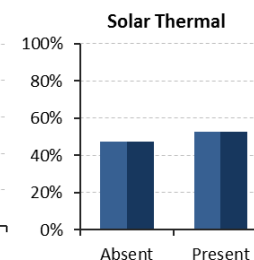
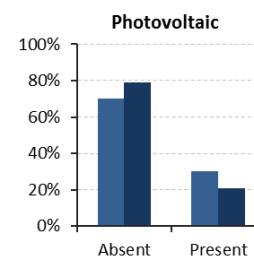
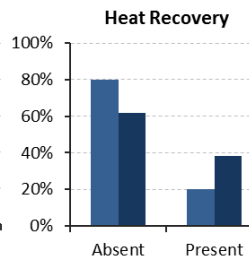
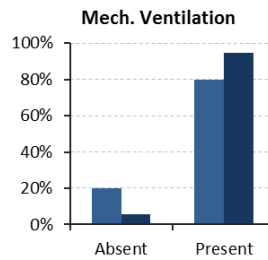
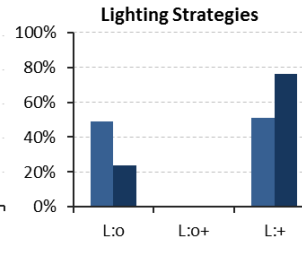
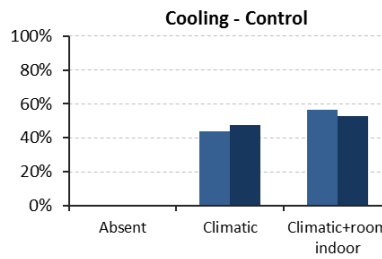
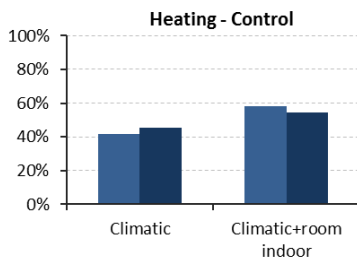
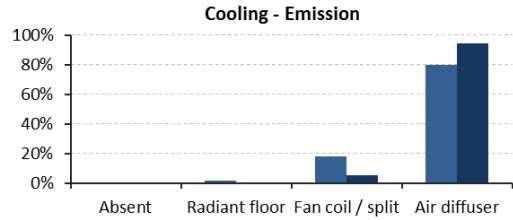
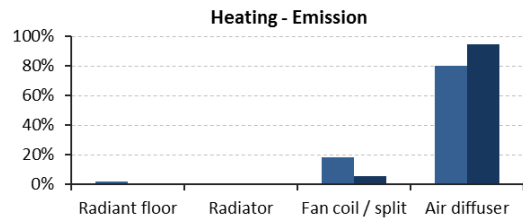
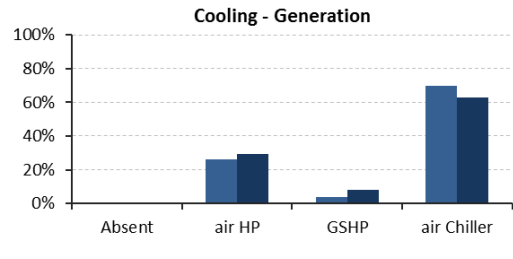
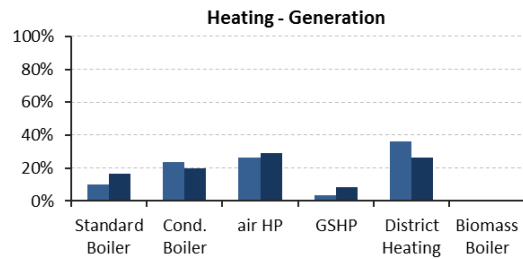
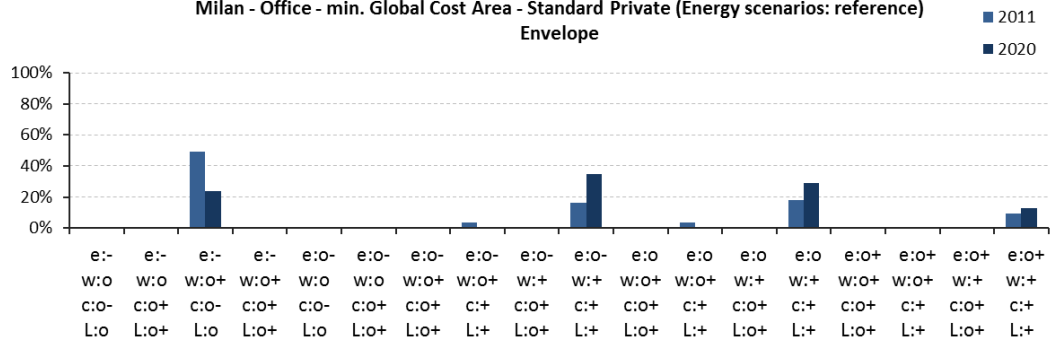


Milan - Office - min. (net) PE area
Share "on site RES"

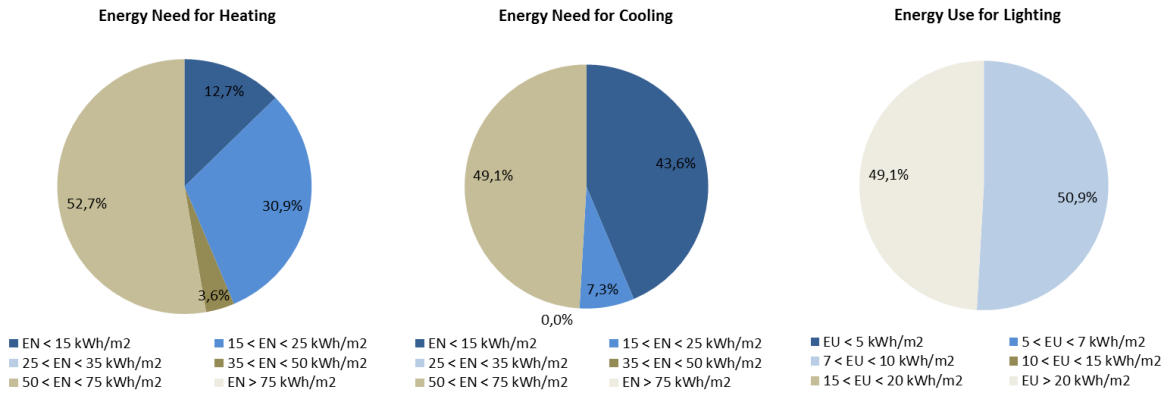


min. Global Cost Area	2011		2020	
	Min	Max	Min	Max
Range of (net) Primary Energy [kWh/m ² /y]:	40	200	40	170
Range of Global Costs [€/m ²]:	1025	1127	1067	1150
Number of Building Variants:	110		110	

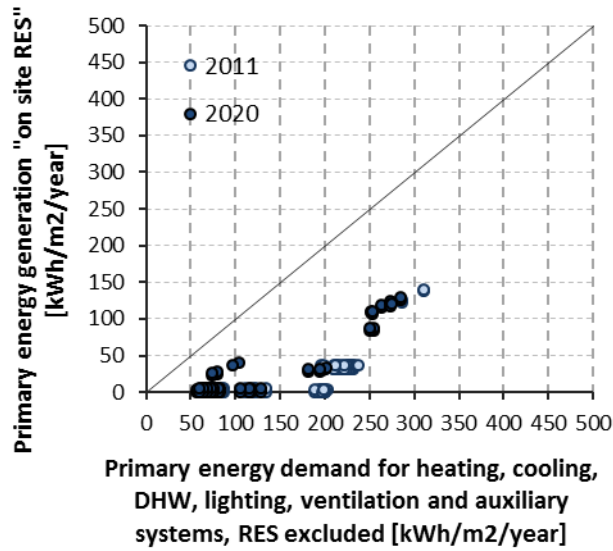
Milan - Office - min. Global Cost Area - Standard Private (Energy scenarios: reference) Envelope



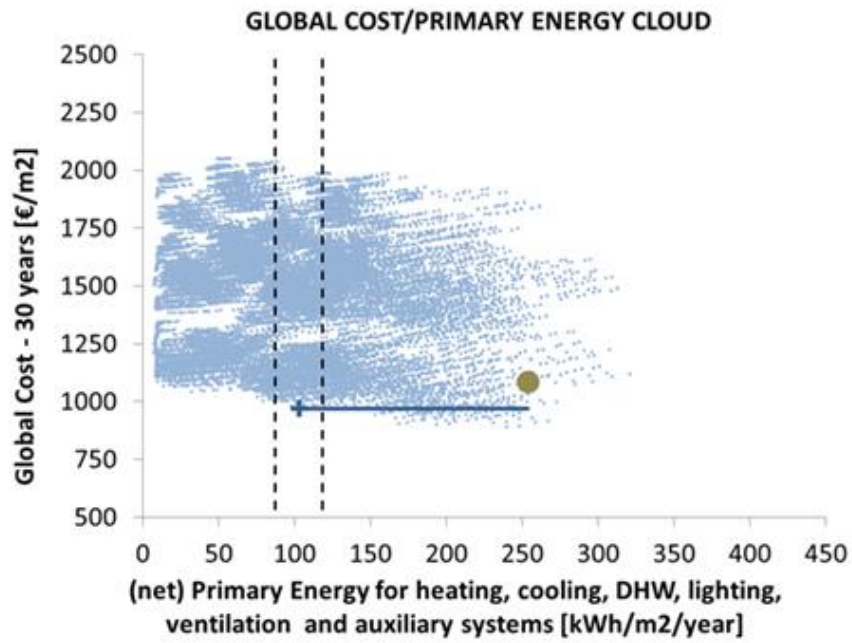
Milan - Office - min. Global Cost Area - Starting Year: 2011 - Standard private perspective - Energy scenarios: reference



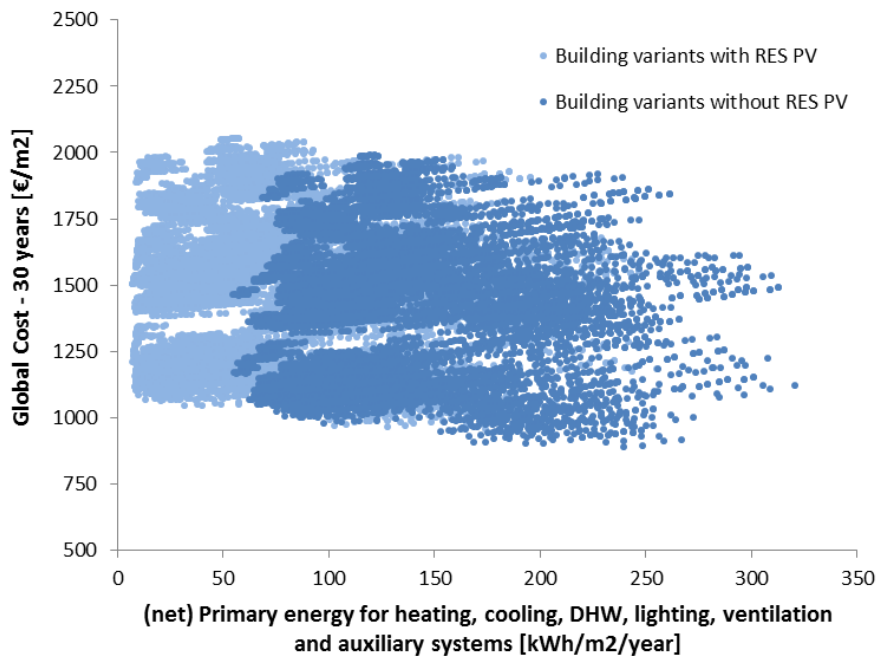
Milan - Office - min. Global Cost Area
Share "on site RES"



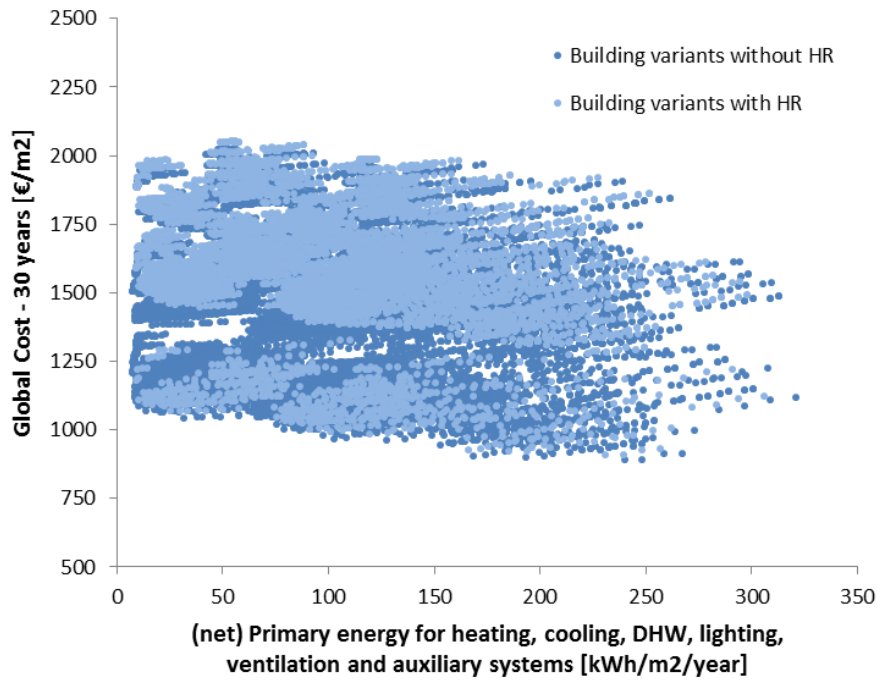
6.3 Scuola - Roma



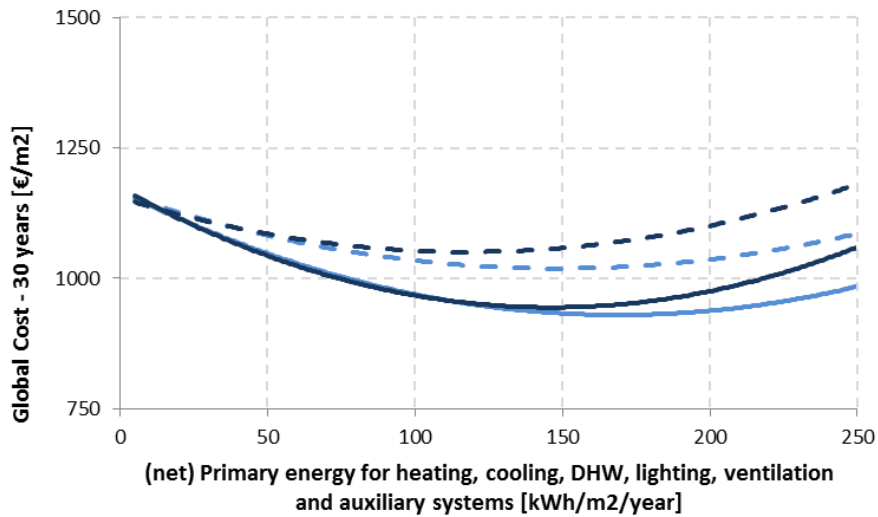
Rome - School - Refurbishment - Starting Year: 2011
Standard private perspective - Energy scenarios: reference



Rome - School - Refurbishment - Starting Year: 2011
Standard private perspective - Energy scenarios: reference

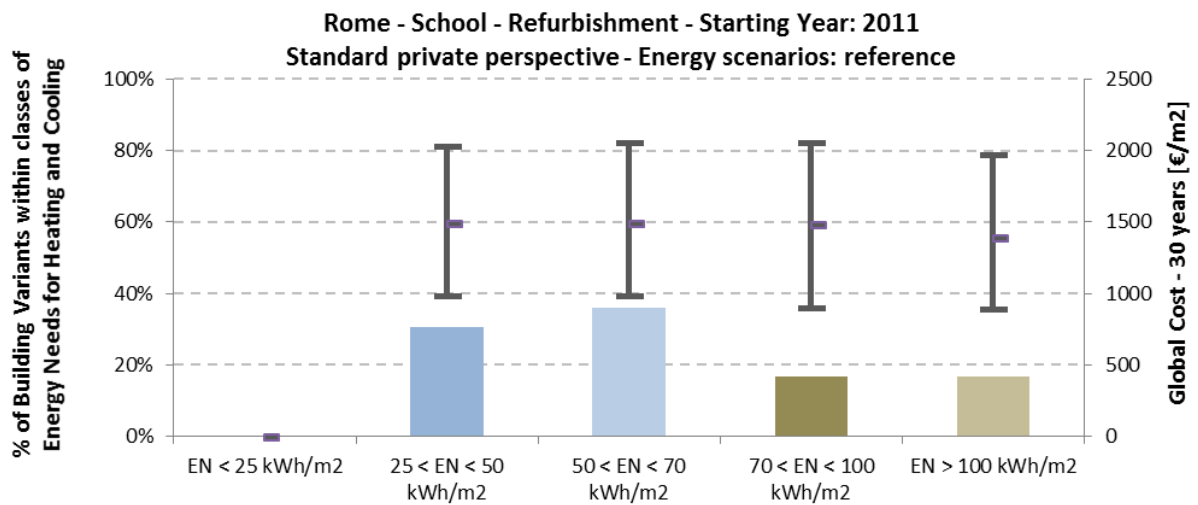
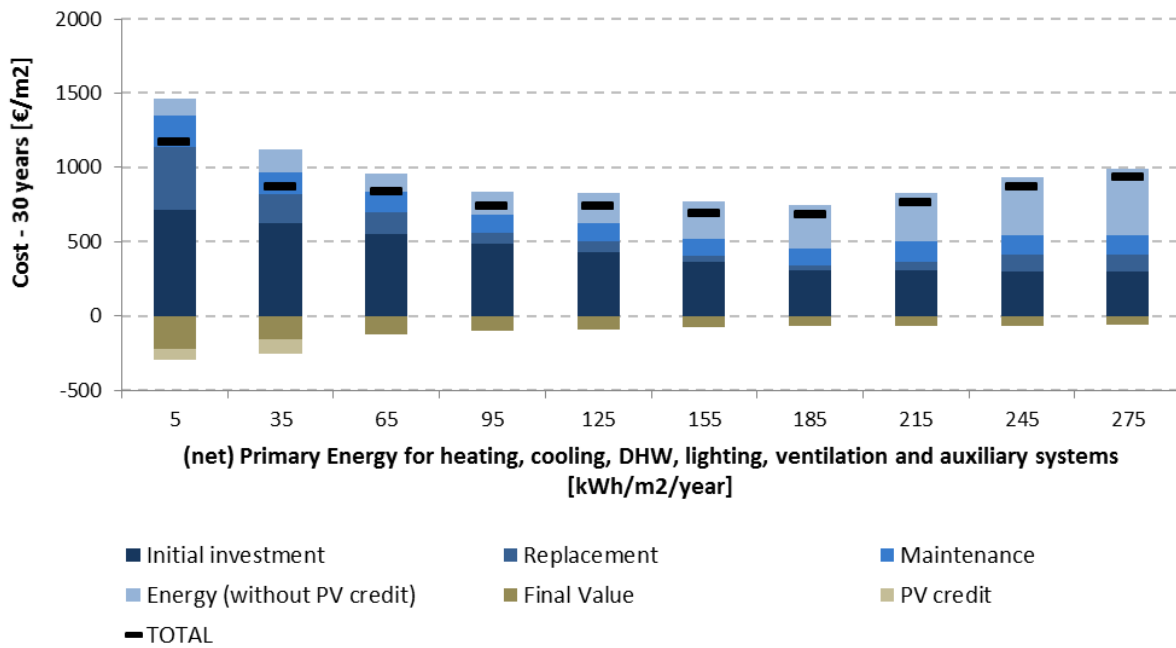


Rome - School - Refurbishment - lower frontier curves:
Standard Private Perspective



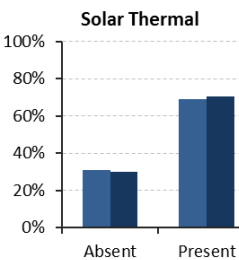
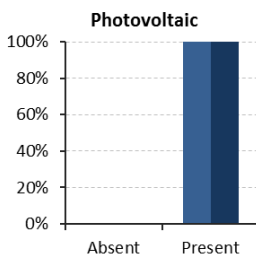
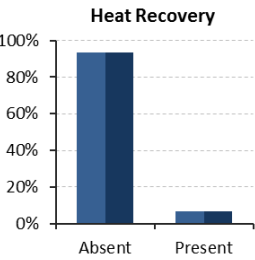
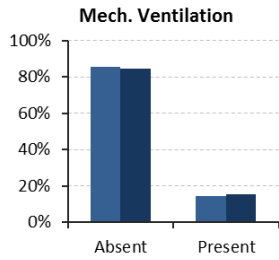
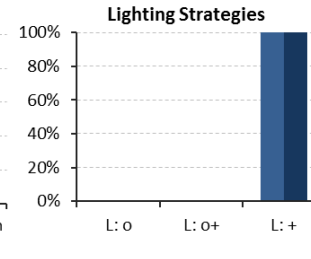
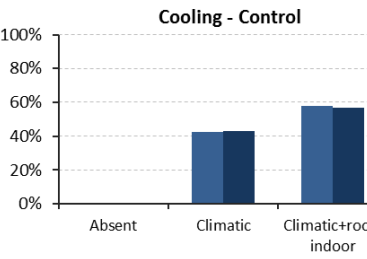
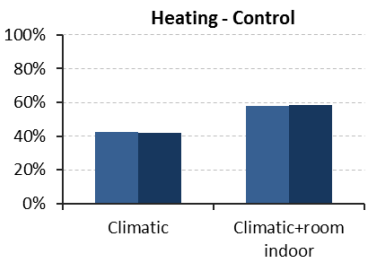
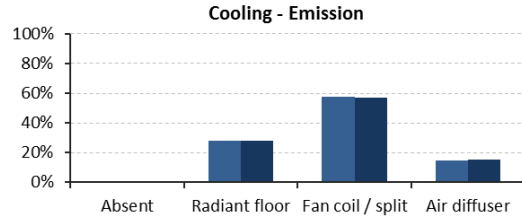
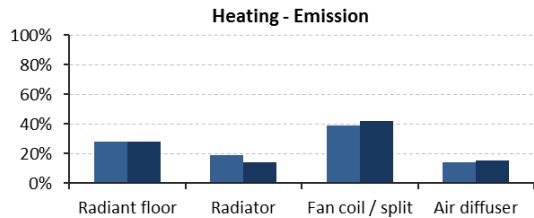
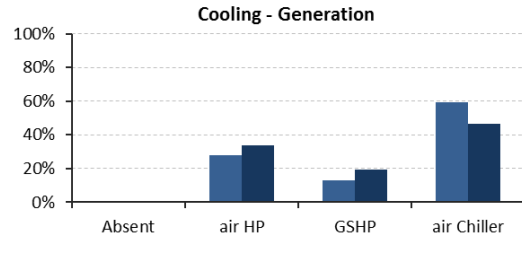
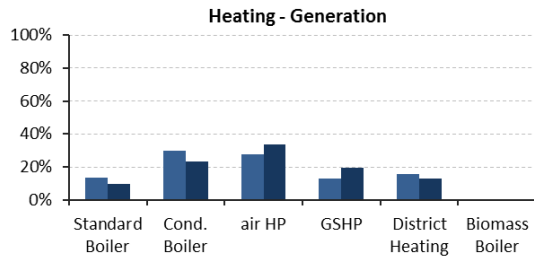
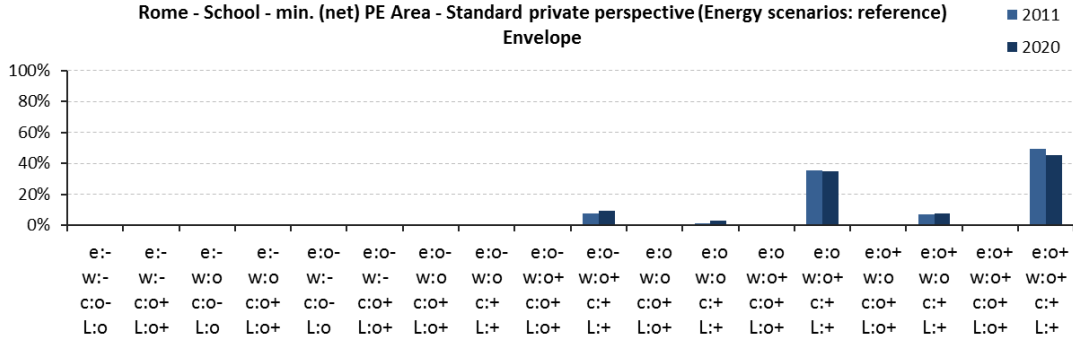
- Stand. Private - Energy scenarios: reference - 2011
- - Stand. Private - Energy scenarios: ambitious - 2011
- Stand. Private - Energy scenarios: reference - 2020
- - Stand. Private - Energy scenarios: ambitious - 2020

Rome - School - Refurbishment- Starting year: 2011
Standard private perspective - Energy scenarios: reference

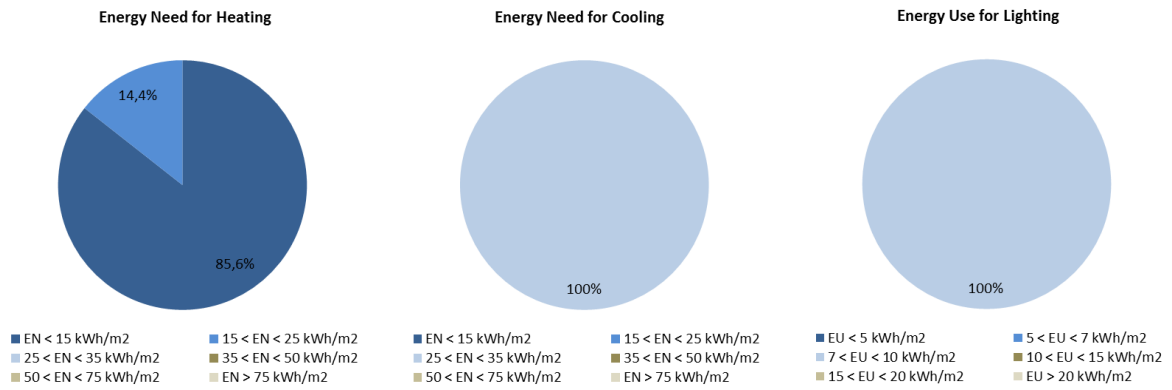


min. (net) Primary Energy Area	2011		2020	
	Min	Max	Min	Max
Range of (net) Primary Energy [kWh/m ² /y]:	7	15	6	15
Range of Global Costs [€/m ²]:	1068	1229	1077	1263
Number of Building Variants:	201		201	

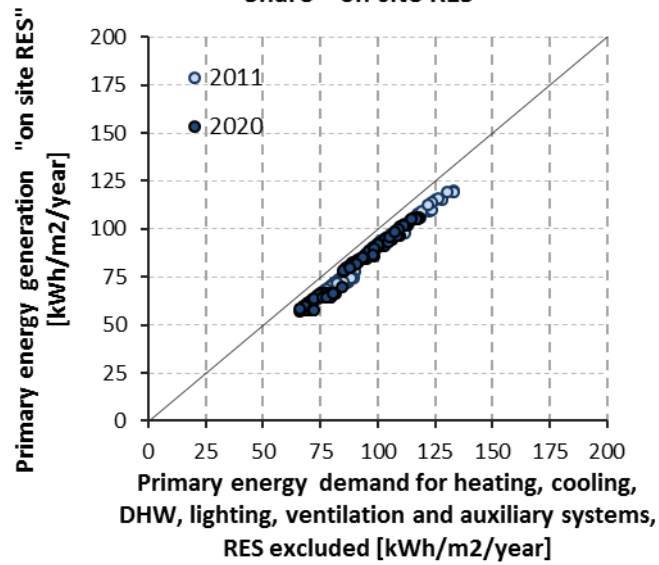
Rome - School - min. (net) PE Area - Standard private perspective (Energy scenarios: reference)
Envelope



Rome - School - min. (net) PE area - Starting Year: 2011 - Standard private perspective - Energy scenarios: reference



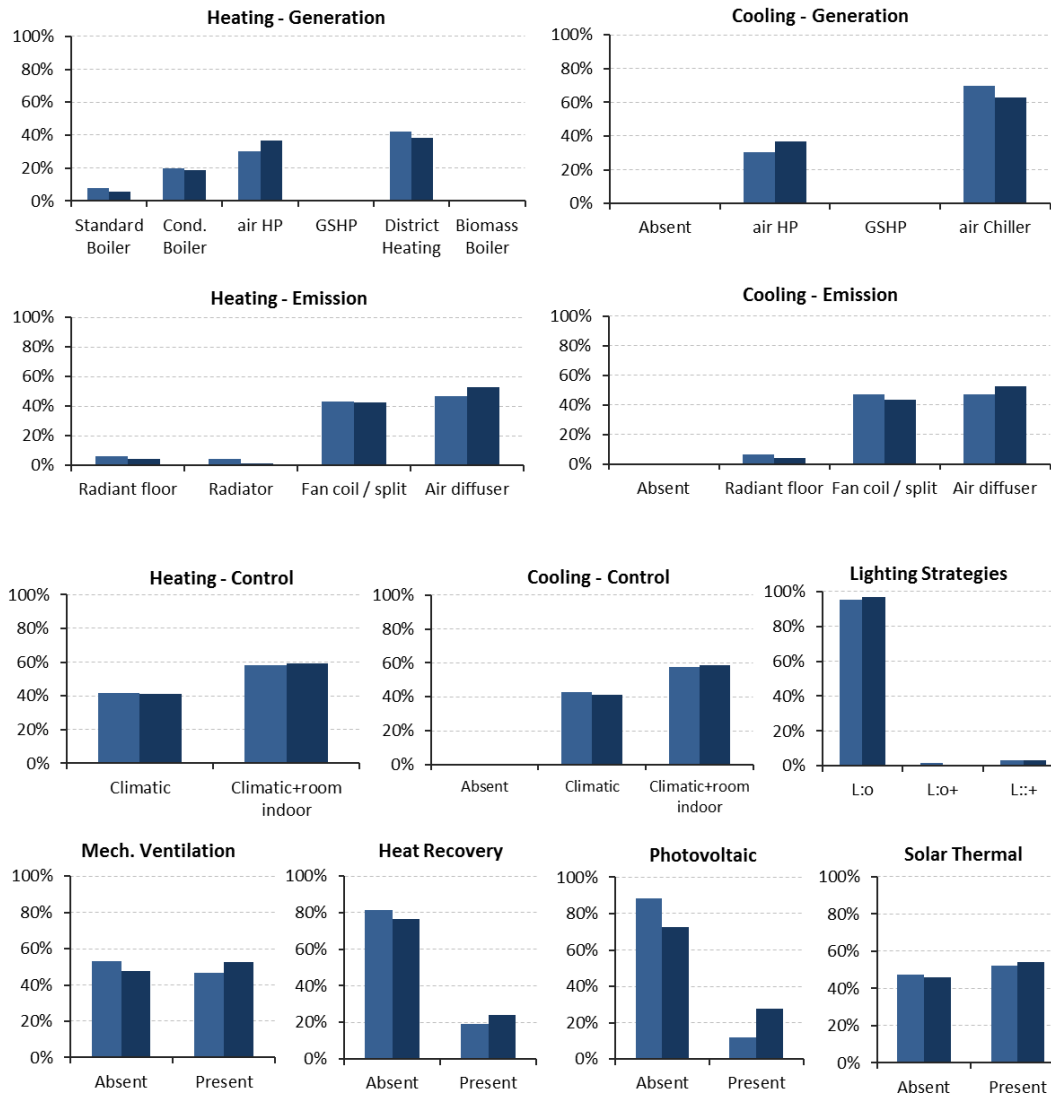
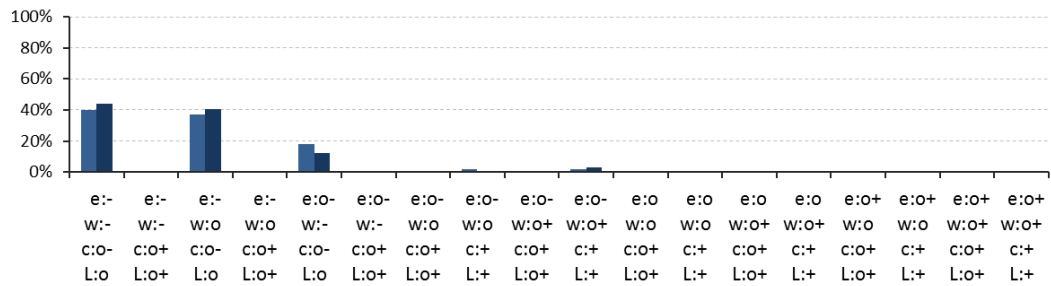
Rome - School - min. (net) PE area
Share "on site RES"



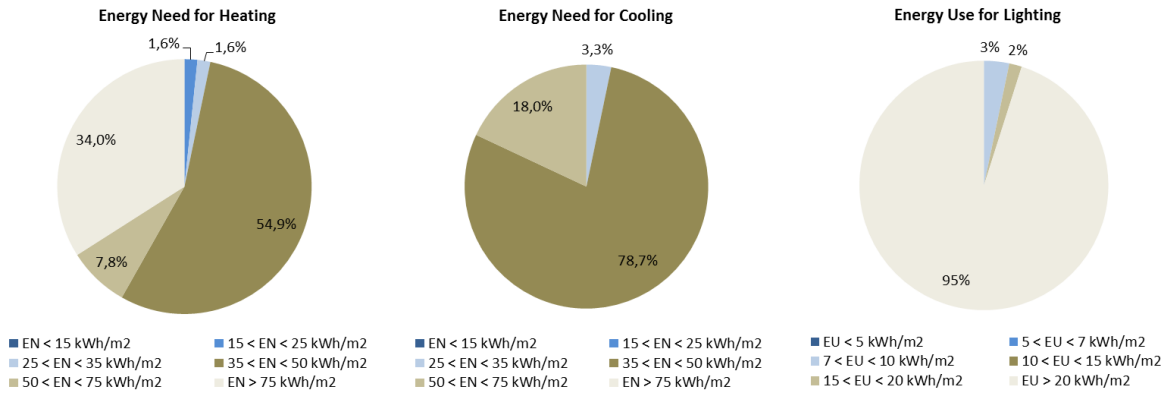
min. Global Cost Area	2011		2020	
	Min	Max	Min	Max
Range of (net) Primary Energy [kWh/m ² /y]:	50	250	50	250
Range of Global Costs [€/m ²):	891	998	929	1028
Number of Building Variants:	244		244	

Rome - School - min. Global Cost Area - Standard Private (Energy scenarios: reference) Envelope

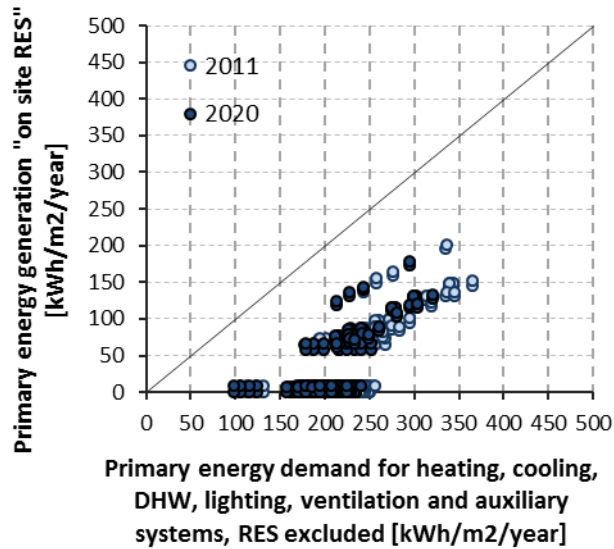
■ 2011
■ 2020



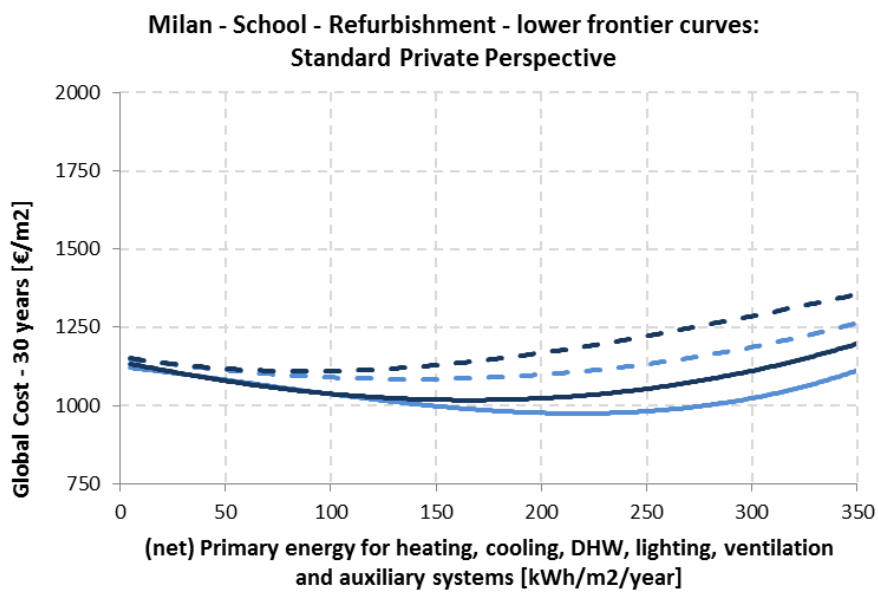
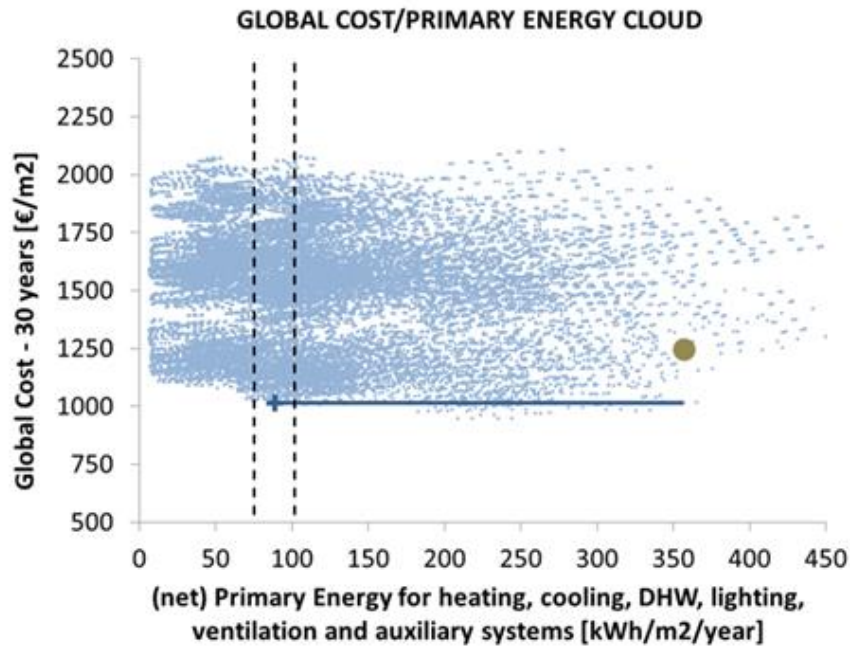
Rome - School - min. Global Cost Area - Starting Year: 2011 - Standard private perspective - Energy scenarios: reference



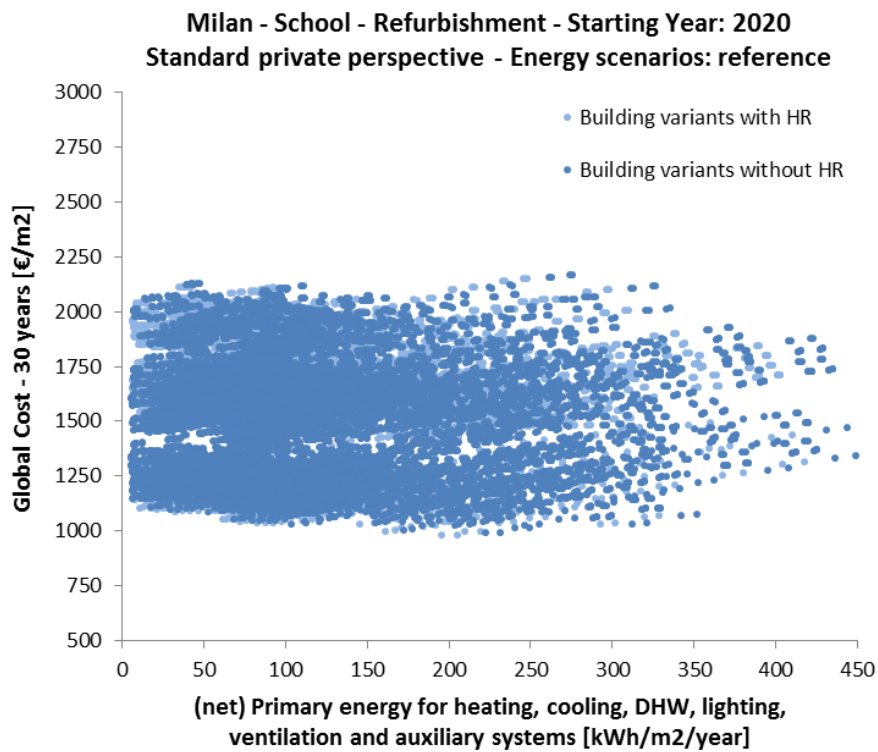
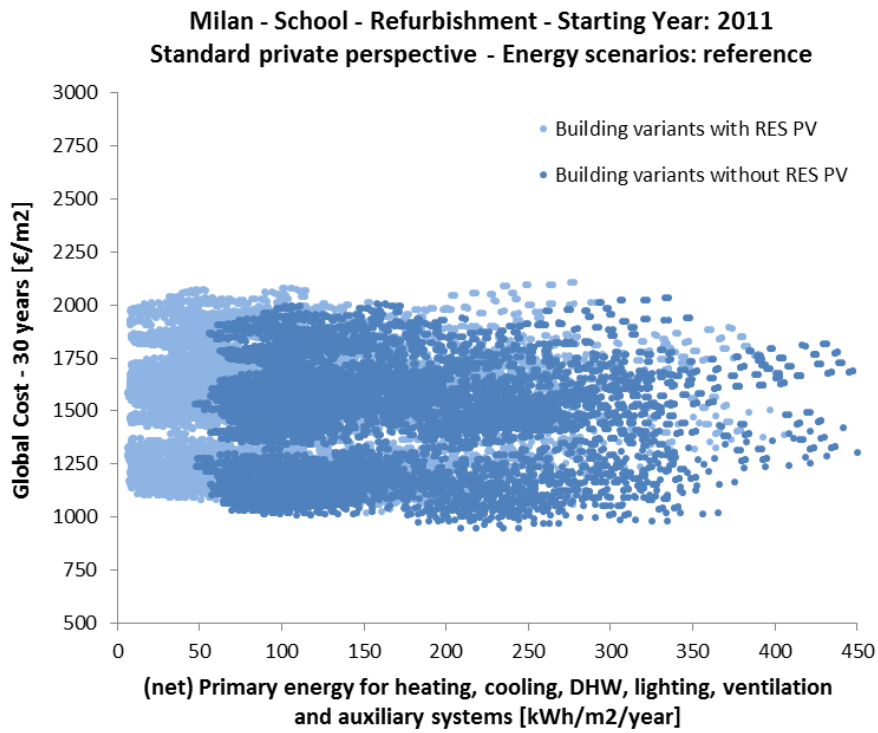
Rome - School - min. Global Cost Area
Share "on site RES"



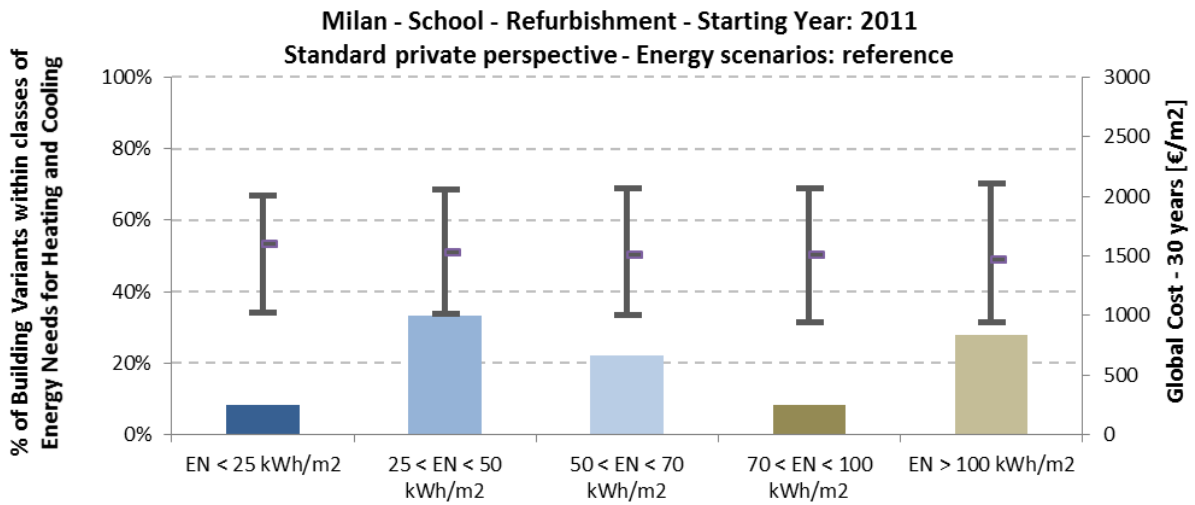
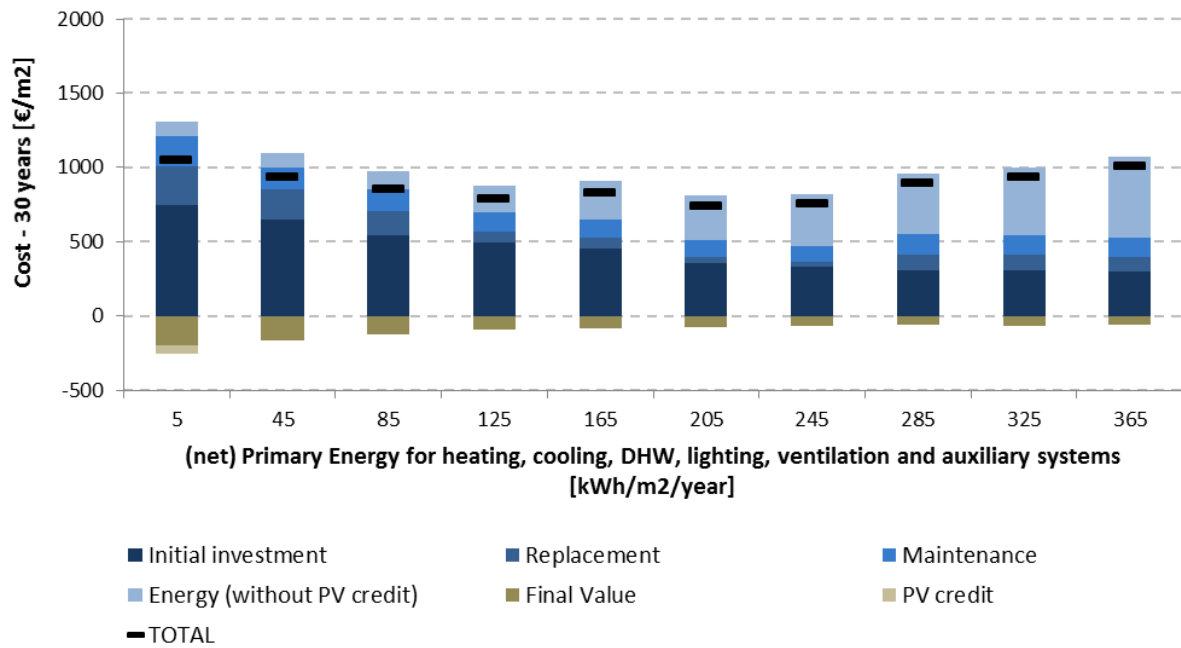
6.4 Scuola - Milano



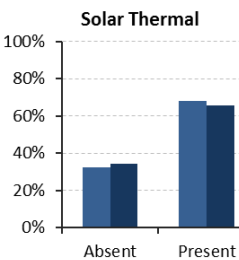
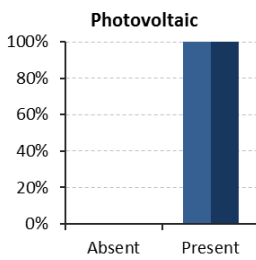
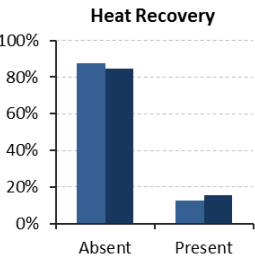
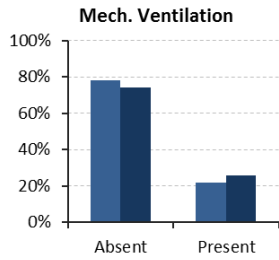
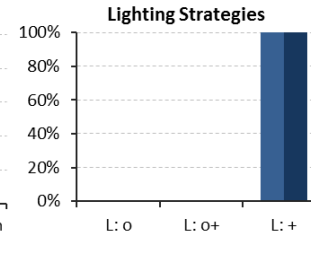
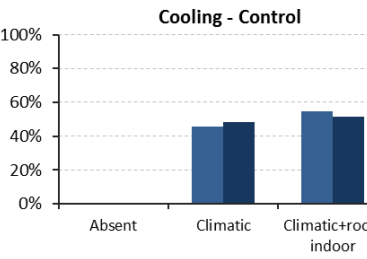
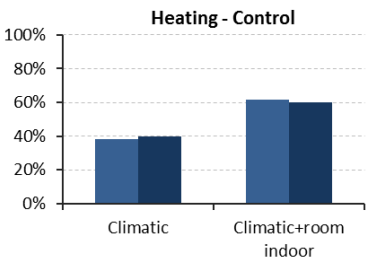
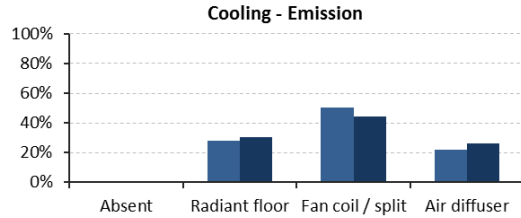
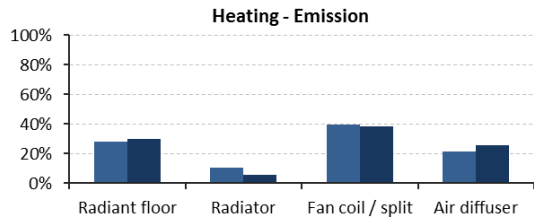
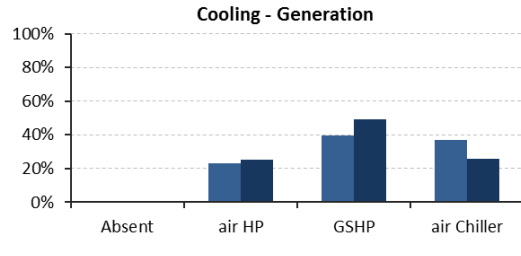
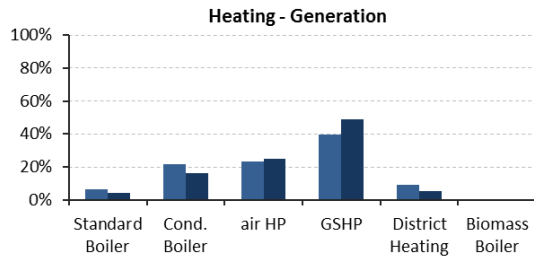
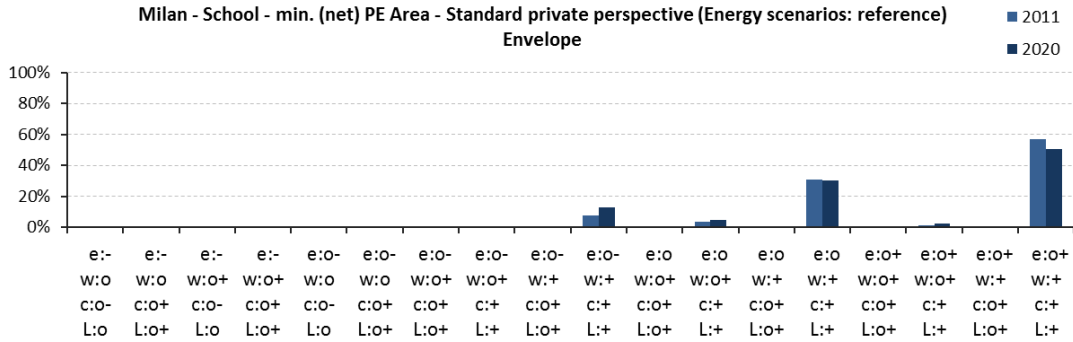
- Stand. Private - Energy scenarios: reference - 2011
- - Stand. Private - Energy scenarios: ambitious - 2011
- Stand. Private - Energy scenarios: reference - 2020
- - Stand. Private - Energy scenarios: ambitious - 2020



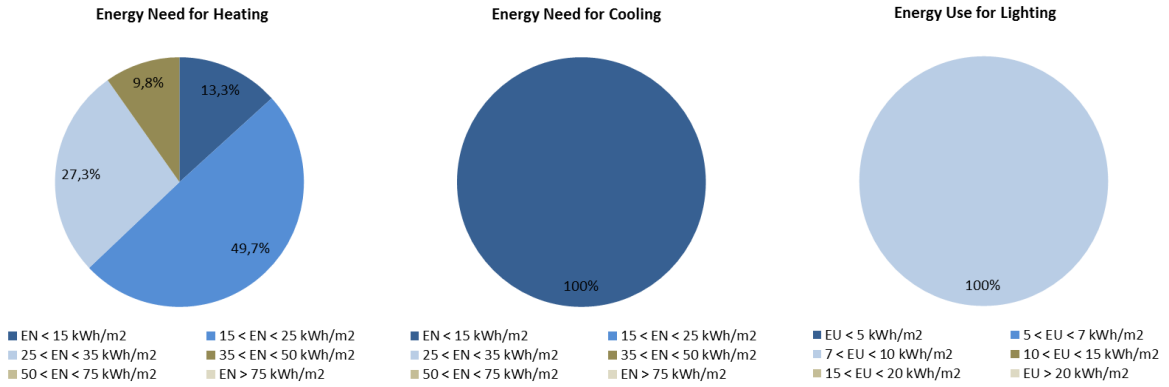
Milan - School - Refurbishment- Starting year: 2011
Standard private perspective - Energy scenarios: reference



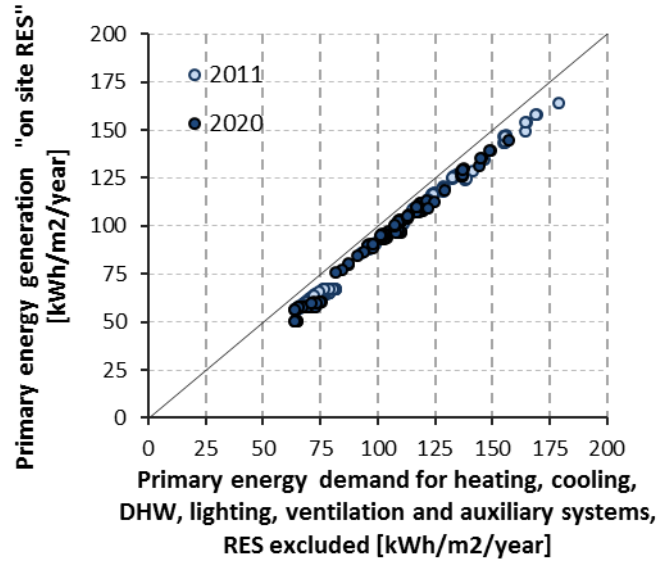
min. (net) Primary Energy Area	2011		2020	
	Min	Max	Min	Max
Range of (net) Primary Energy [kWh/m ² /y]:	6	15	6	15
Range of Global Costs [€/m ²]:	1104	1325	1105	1335
Number of Building Variants:	143		143	



Milan - School - min. (net) PE area - Starting Year: 2011 - Standard private perspective - Energy scenarios: reference

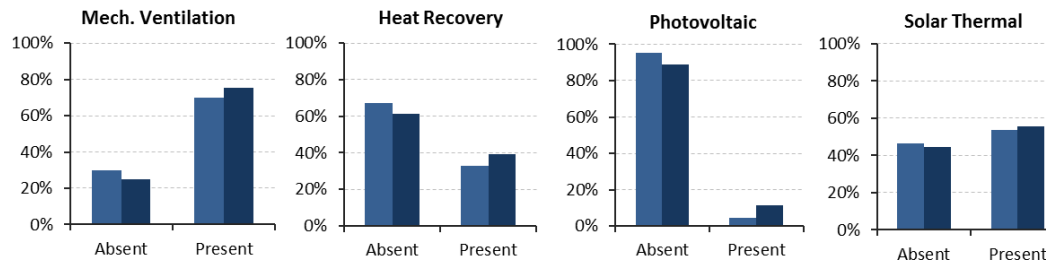
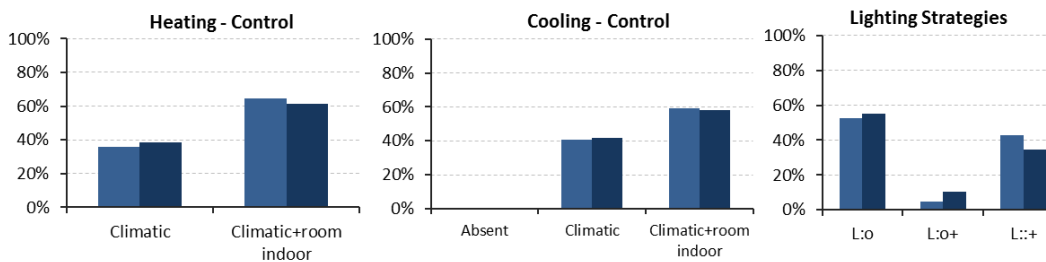
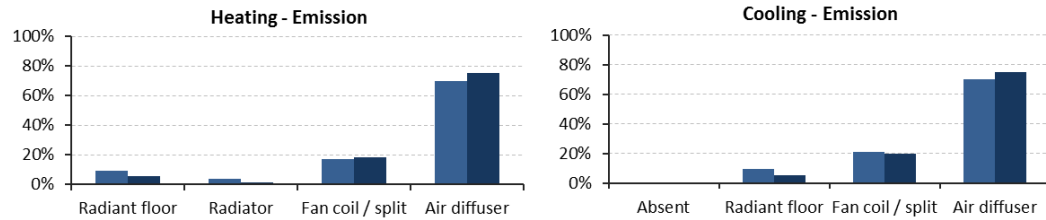
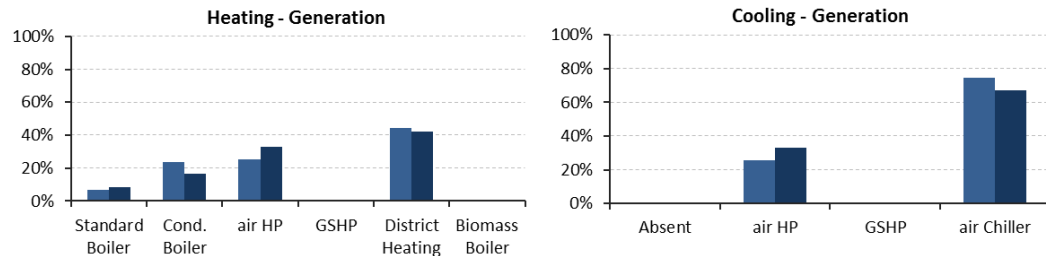
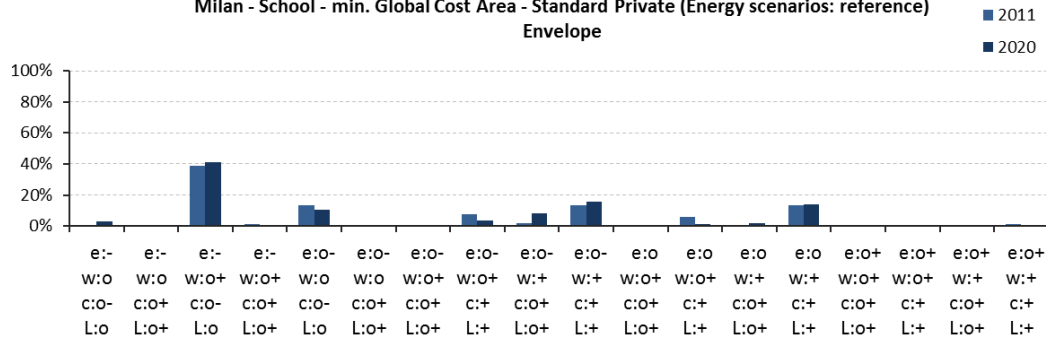


Milan - School - min. (net) PE area
Share "on site RES"

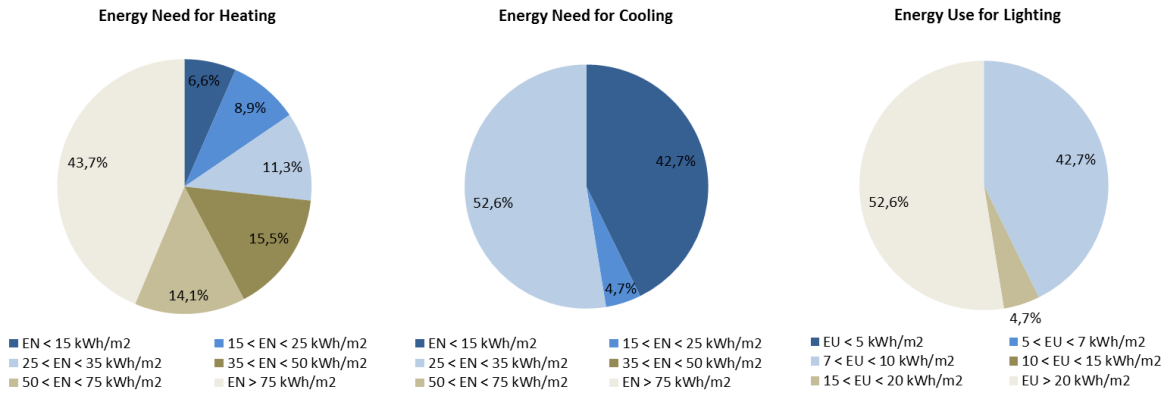


min. Global Cost Area	2011		2020	
	Min	Max	Min	Max
Range of (net) Primary Energy [kWh/m ² /y]:	50	250	50	250
Range of Global Costs [€/m ²]:	947	1051	979	1085
Number of Building Variants:	213		213	

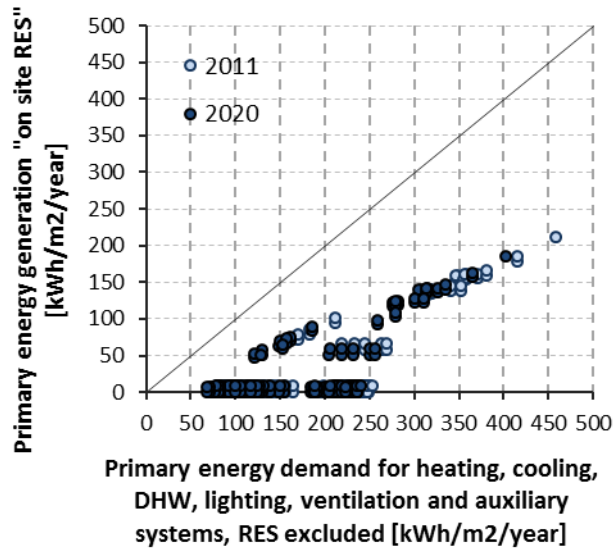
Milan - School - min. Global Cost Area - Standard Private (Energy scenarios: reference) Envelope



Milan - School - min. Global Cost Area - Starting Year: 2011 - Standard private perspective - Energy scenarios: reference



Milan - School - min. Global Cost Area
Share "on site RES"



7 Conclusioni e sviluppi futuri

Considerando i calcoli e le analisi del presente documento, si deve certamente tener conto che i risultati ottenuti si basano sulle scelte e le ipotesi assunte (come i rapporti tra superfici trasparenti e opache di involucro, la geometria degli edifici di riferimento, i modelli d'uso degli stessi, etc.). Considerare condizioni differenti può far variare alcuni risultati. In un'analisi su larga scala come la presente, possono essere state adottate alcune ipotesi più generali e conservative, rispetto a quanto si potrebbe determinare in uno studio meno ampio o nella progettazione di un singolo edificio.

Per questo è importante che, come è stato fatto nel presente studio e in altri similari, vengano presentate esplicitamente le ipotesi di base e le condizioni al contorno a cui si riferisce, perché si possano interpretare a fondo i risultati e da questi ricavare considerazioni e indicazioni che siano utili e confrontabili con quelle di altri studi complementari a supporto dello sviluppo normativo, alla pianificazione strategica e alla progettazione.

Nei risultati in generale possiamo vedere che la zona nell'intorno dei valori minimi di energia primaria (netta) - in cui potremmo identificare l'obiettivo di *energia quasi zero* - è caratterizzata da interventi di efficienza energetica e sistemi a fonti rinnovabili con prestazione medie-alte e alte, che compaiono con maggior frequenza in questa area delle nuvole costi/energia dei diversi climi e destinazioni d'uso.

Nelle zone di minimo costo globale - *cost-optimal* - le soluzioni tecnologiche e le prestazioni rilevate appaiono più eterogenee. In generale questa zona è caratterizzata da strategie di involucro di prestazioni energetiche di livello medio, probabilmente dovuto a un maggior equilibrio fra entità dell'investimento iniziale e riduzione dei costi grazie ai risparmi di energia.

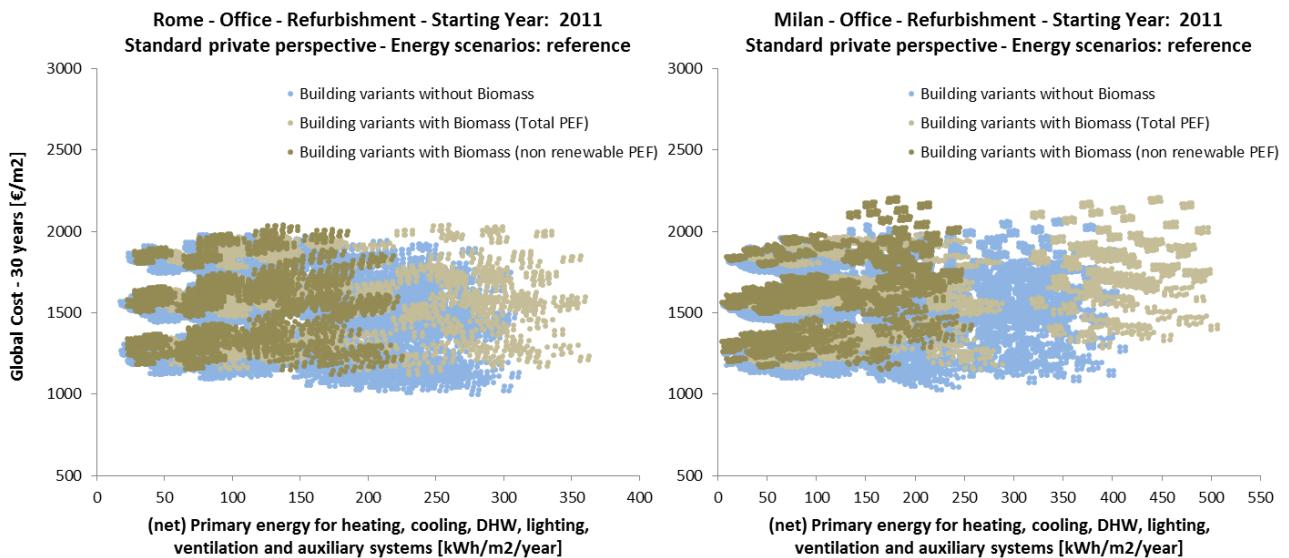
Dal confronto dei risparmi generabili, (valori espressi in negativo in Tabella 12 e Tabella 13 rispetto al livello base di ristrutturazione, BRL) di fabbisogno di energia utile, di domanda energia primaria netta, di costo globale (calcolato su un periodo trenta anni e attualizzato all'anno zero di calcolo, il 2011), di investimento iniziale richiesto per l'esecuzione degli interventi edilizi, emerge come, nonostante lo sforzo richiesto all'investitore privato nel disporre di un capitale iniziale molto maggiore rispetto a quello necessario per opere di semplice ristrutturazione per ragioni di degrado, estetica e sicurezza (livello base di ristrutturazione, BRL), l'edificio *cost optimal*, come l'edificio *nZEB*, non abbiano un costo globale così maggiore del BRL, da non giustificare un intervento di ristrutturazione volto a migliorare l'efficienza dell'edificio oggetto di intervento. Anzi, in alcuni modelli questa differenza è a favore degli interventi più efficienti. In questi casi, nel lungo periodo, i risparmi della spesa energetica per l'esercizio dell'edificio ottenuti a seguito di interventi di efficienza consentono di ripagare l'investitore del maggior esborso iniziale necessario per sostenere gli interventi edilizi. Indiscutibili sono i vantaggi in termini di riduzione dei consumi e di immissione di agenti inquinanti nell'ambiente.

In particolare per gli edifici scolastici il risparmio nel costo globale sui 30 anni è maggiore per il clima di Milano, con maggiore domanda di riscaldamento, rispetto alle condizioni climatiche di Roma.

Possiamo considerare anche le seguenti osservazioni sulle zone di minima domanda di energia primaria (netta) - *energia quasi zero* - e di minimo costo globale sul ciclo di vita - *cost-optimal*.

- In alcuni casi le curve costi/energia hanno la frontiera dei minimi con pendenze ridotte. Questo può portare all'identificazione di un'ampia zona di *cost-optimal*, caratterizzata anche da valori minimi di energia primaria (netta) che possono essere vicini a quelli della zona a energia quasi zero.
- Considerare scenari con prezzi dell'energia più alti aumenta il costo globale e porta a valori di energia primaria netta più bassa e ad edifici più efficienti nell'area *cost-optimal*.

- Costi più alti legati al prezzo delle emissioni di CO₂ ed eventuali altri costi aggiuntivi relativi a danni ambientali, da considerare in un'analisi con prospettiva macro-economica, potrebbero portare all'individuazione di soluzioni *cost-optimal* caratterizzate da migliori prestazioni energetiche e maggior risparmi di energia.
- Riguardo gli impianti a fonti rinnovabili solari, i sistemi fotovoltaici sono molto frequenti nell'area del minimo di energia primari (netta), mentre compaiono con meno frequenza nell'area *cost-optimal*. Per i sistemi solari termici non si riscontra questa differenza in modo così marcato.
- In alcuni casi possiamo osservare varianti di edifici con prestazioni peggiori rispetto al livello di ristrutturazione base (base refurbishment level) in termini di maggior domanda di energia primaria (netta) e/o di costo globale. Questo potrebbe essere dovuto a combinazioni non vantaggiose di interventi di involucro per le ristrutturazioni, che rispecchiano scelte di progetto realistiche ma non ottimali e poco vantaggiose da perseguire. Questo sottolinea l'importanza della progettazione integrata accompagnata da analisi energetiche e di costo adeguate.
- Sistemi di emissione di riscaldamento a media e bassa temperatura sono presenti in molti soluzioni sia nella zona di minima energia primaria (netta) sia in quella *cost-optimal*.
- In particolare negli edifici per uffici, interventi di illuminazione efficiente appaiono sempre come soluzione vantaggiosa per raggiungere la zona a *energia quasi zero*.
- Le soluzioni con generatore di calore a biomassa e teleriscaldamento compaiono con meno frequenza nelle zone di target. Questo può essere associato alla difficoltà di definire valori di fattore di conversione in energia primaria per questi sistemi adatti al contesto locale che si considera e ai reali costi iniziali di installazione delle reti e delle apparecchiature, che dipendono dal contesto urbano e dalla trattativa privata. Questo può essere esemplificato dall'analisi di sensibilità mostrato nei due grafici seguenti, dove si è evidenzia la variazione dei risultati a seconda che si applichi alternativamente il fattore di conversione di energia primaria totale (componente rinnovabile e non rinnovabile) o solo la componente non rinnovabile di esso.



Inoltre applicando la metodologia comune a livello europeo per l'analisi comparativa di tipo *cost-optimal* su due modelli di edifici di riferimento e su una vasta combinazioni di varianti di involucro e sistemi impiantistici, possiamo sviluppare i commenti di seguito alla metodologia.

- I diagrammi costo / energia presentati mostrano importanti informazioni sulla domanda di energia primaria in funzione del costo globale sul ciclo di vita, ma non possono esprimere indicazioni esplicite sulla domanda di energia utile (*energy need*) per i diversi usi finali negli edifici. Per questo è utile sviluppare analisi ulteriori - come in parte è stato fatto anche nel presente studio - che possono essere utili per analizzare e mostrare in dettaglio i valori di energia utile per riscaldamento, raffrescamento, produzione di acqua calda sanitaria, illuminazione, etc..
- In un diagramma costo / energia la selezione della zona *cost-optimal* può portare a un range ampio di domanda di energia primaria (netta).
- Il range di $\pm 15\%$ fissato dall'EPBD per energia primaria (netta) rispetto al target individuato per il livello *cost-optimal* allo scopo di confrontare i limiti di legge per le prestazioni in alcuni casi può portare a valori molto bassi di energia (ad es. per target di energia primaria netta minori di $20 \text{ kWh/m}^2/\text{y}$). Nel campo di questi valori bassi potrebbe essere opportuno definire un range fisso di incremento/decremento in $[\text{kWh/m}^2/\text{y}]$ rispetto al valore target.
- Il costo globale sul ciclo di vita è un indicatore importante per mostrare in modo completo il comportamento economico dell'edificio a lungo termine. Si deve però considerare che chi non è esperto è solito considerare principalmente l'investimento iniziale e non ha sensibilità sui valori di costo globale. Per questo è importante poter avere dei riferimenti per i risultati in termini di costo globale. L'indicazione esplicita dei risultati del livello base di ristrutturazione (base refurbishment level) può essere utile come riferimento per i risultati.
- Deve essere prestata cura a produrre data-base di costi completi, accurati e consistenti per gli interventi negli edifici considerati. Data la variabilità del settore edile e delle tipologie e caratteristiche degli edifici, determinare i costi per interventi non in un edificio specifico può essere difficile e una sorta di intervallo di confidenza dovrebbe essere associato ai risultati.
- I diagrammi costi / energia sono molto utili per determinare i target nella zona a energia quasi zero e *cost-optimal*, anche sviluppando analisi di sensitività rispetto ai principali input del calcolo (quali scenari di prezzo dell'energia, fattori di conversione in energia primaria, eventuali costi correlati a danni ambientali, etc.)
- Studi ulteriori sarebbero necessari per considerare più approfonditamente i costi legati a danni e esternalità ambientali e sociali dovuti ai consumi energetici e alle emissioni. Questo potrebbe portare a risultati decisamente a favore dell'applicazione di misure di efficienza energetica e di sistemi a fonti rinnovabili.
- Spesso l'attenzione anche nella metodologia si concentra sulla frontiera inferiore dei diagrammi costi / energia. Certamente questa parte dei risultati rappresenta la zona con costi-globali minori. Tuttavia anche punti più in alto nel diagramma possono rappresentare soluzioni molto interessanti da un punto di vista energetico ed ambientale, che possono essere considerate per essere sostenute da adeguate politiche e misure di finanziamento a supporto.

8 Riferimenti bibliografici

[Carlucci 2013] Carlucci S. Comfortable net zero energy buildings - A building optimization process based on the minimization of thermal discomfort, first ed., SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology, Springer, 2013

[Ecofys et al. 2013] Ecofys, eERG / Politecnico di Milano, University of Wuppertal, Towards nearly zero-energy buildings- Definition of common principles under the EPBD, February 2013

[Enerdata 2007] Enerdata, Energy Scenario Development Analysis: Energy Policy Scenarios to 2050 – POLES, 2007

[Entranze 2013 D31] Deliverable D3.1 of Entranze project: Summary report on cost data in each country/region covered, European Commission supported project. 2012. Web-site: <http://www.entranze.eu/>

[Entranze 2013 D34] Deliverable D3.4 of Entranze project: Spreadsheet for assessing the impact of policy packages addressing the building sector based on the national Cost/Energy curves, European Commission supported project. 2012. Web-site: <http://www.entranze.eu/>

[Entranze 2013 D42] Deliverable D4.2 of Entranze project: Exogenous framework conditions for ENTRANZE-scenarios (Internal working paper), European Commission supported project. 2012. Web-site: <http://www.entranze.eu/>

[EU 2012] Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements.

[European Commission 2012a] European Commission - Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements - Official Journal of the European Union, 19.4.2012

[European Commission 2012b] European Commission - COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) No 244/2012 of 16 January 2012: supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements - Official Journal of the European Union, 21.3.2012

[European Commission 2013] European Commission - EU Commission Decision 2013//114/UE of 1 March 2013 establishing the guidelines for Member States on calculating renewable energy from heat pumps from different heat pump technologies pursuant to Article 5 of Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council, March 2013

[European Parliament And Council 2010] European Parliament And Council - DIRECTIVE 2010/31/EU of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast) - Official Journal of the European Union, 18.6.2010

[Marszal 2011] Marszal, Anna; Heiselberg, Per; Bourrelle', Julien; Musall, Eike; Voss, Karsten; Sartori, Igor; Napolitano, Assunta (2011): Zero Energy Building - A Review of definitions and calculation methodologies. In: Energy and Buildings 43 (4), page 971–979.

[Pagliano and Zangheri 2010] L. Pagliano, P. Zangheri. Comfort models and cooling of buildings in the Mediterranean zone, Advances In Building Energy Research 4b (2010) 167–200.

9 Abbreviazioni ed acronimi

ACS	Acqua calda sanitaria
CO	<i>Cost-optimal</i> (minimo costo globale sul ciclo di vita)
BRL	libello base di ristrutturazione (<i>Base Refurbishment Level</i>)
EPBD	Direttiva Europea 2010/31/EU sulla Prestazione Energetica degli Edifici
eERG	end-use Efficiency Research Group del Politecnico di Milano
GSHP	Pompa di calore geotermica (<i>Ground Source Heat Pump</i>)
nZEB	Edificio a energia quasi zero (<i>nearly Zero Energy Building</i>)
U	Trasmittanza termica stazionaria

10 Curriculum scientifico del gruppo di lavoro

eERG è il Gruppo di ricerca sull'efficienza negli usi finali dell'energia, attivo dal 1996 presso il Dipartimento di Energia del Politecnico di Milano. L'approccio interdisciplinare di eERG (www.eerg.it) connette ricerca in nuove tecnologie e in fisica degli edifici, analisi economica e delle politiche energetiche, audit e progettazione d'interventi, e comprende: ricerca scientifica e tecnologica svolta in partnership con gruppi accademici e agenzie europee e statunitensi; trasferimento dei risultati verso l'applicazione, attraverso cooperazione con l'industria, istituzioni italiane ed europee, enti locali; didattica universitaria e post-universitaria e attività di formazione e divulgazione.

Il direttore di eERG, **Lorenzo Pagliano**, laureato in Fisica *cum laude*, Dottore di Ricerca in Energetica, è stato Visiting Researcher presso il Lawrence Berkeley Laboratory (California, USA). Sue aree di ricerca sono gli edifici a bassa energia, il comfort termico e l'analisi delle politiche energetiche. Tiene il corso di Fisica dell'Edificio presso la facoltà di Ingegneria Edile e Architettura è Direttore del Master RIDEF, è membro del Comitato editoriale della rivista Energy Efficiency (Springer) e Advances in Building Energy Research, è membro del Consiglio Direttivo dello European Council for an Energy Efficient Economy (ECEEE).

Marco Pietrobon, laureatosi a pieni voti in Ingegneria Edile presso il Politecnico di Milano, si occupa di simulazioni termo-energetiche di edifici e di monitoraggio in situ delle prestazioni energetiche di edifici e impianti e delle condizioni di comfort degli ambienti interni. Nell'ambito di progetti di ricerca europei e di consulenza ha approfondito tematiche e soluzioni per edifici a zero energia e passive house. Si occupa anche della valutazione di strumenti politici a sostegno dell'efficienza energetica in edilizia.

Roberto Armani, laureato in Ingegneria Edile presso il Politecnico di Milano nel 2007. Da sempre svolge l'attività della libera professione specializzandosi in efficienza energetica degli edifici, in acustica ambientale ed architettonica. Dal 2009 collabora con il gruppo di ricerca eERG diretto dal Professor Lorenzo Pagliano lavorando su progetti europei, occupandosi di misure di confort degli ambienti interni, di simulazione energetica in regime dinamico degli edifici e di cost optimal design negli interventi edilizi (nuovi o ristrutturati).