



COMUNE DI SEGRATE

MILANO 4 YOU  
2018

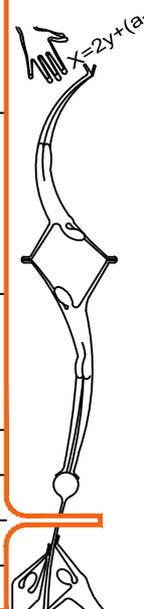
**Vegagest**  
Sgr  
(prof. Sido Bonfatti)

**SEI OLTRE SRL**  
(dott. Angelo Turi – Procuratore)

**RED** srl  
(dott. Angelo Turi)

**SAGNELLI DEVELOPMENT SRL**  
**SAGNELLI ASSOCIATI**  
(arch. Marco M. Sagnelli)

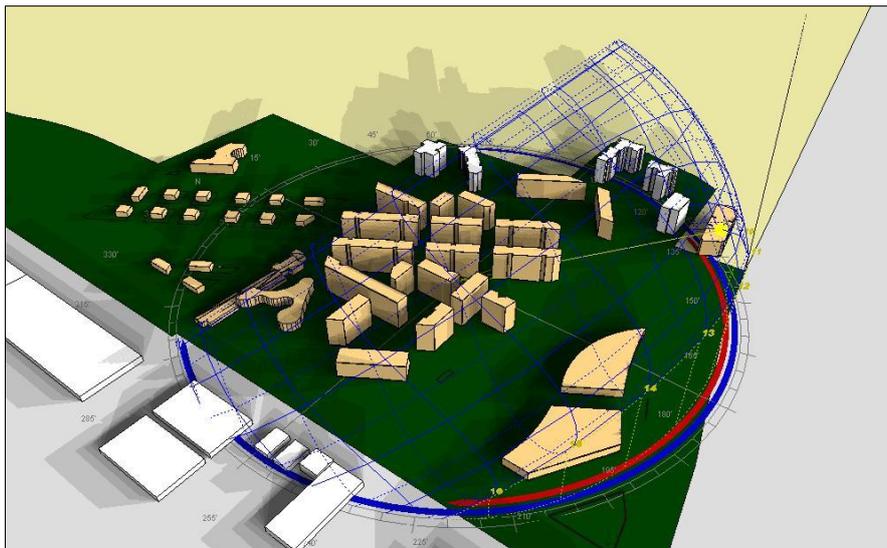
Soggetto attuatore:	<b>VEGAGEST SGR</b> (IN NOME E PER CONTO DEL FONDO ASTER)	via della Posta, 10 20123 MILANO
Soggetto proprietario:	<b>SEI OLTRE SRL</b>	S.S. 11 Padana Superiore, 2/B 20063 CERNUSCO S/N (MI)
General Contractor e Project Manager:	<b>RED SRL</b>	via Victor Hugo, 3 20149 MILANO
Progetto:	<b>SAGNELLI DEVELOPMENT SRL</b> <b>SAGNELLI ASSOCIATI</b>	via Alberto Mario, 16 20149 MILANO tel. +39 0243998590 <a href="http://www.sagnelliassociati.it">www.sagnelliassociati.it</a>
Titolo:	<i>PROGRAMMA INTEGRATO DI INTERVENTO (PII) "MILANO 4 YOU 2018" PER LA REALIZZAZIONE DI UN INTERVENTO RESIDENZIALE, COMMERCIALE, DIREZIONALE, STANDARD PRIVATI ED OPERE PUBBLICHE CONNESSE.</i>	
Documento:	RELAZIONE TECNICO-ILLUSTRATIVA DELL'INTERVENTO ENERGETICO	DOC. 09
Comune:	SEGRATE (MI) TR CASCINA BOFFALORA	Data: LUGLIO 2018 Aggiorn.:
File:	... \Doc.07-Relazione economica e cronoprogramma	
Note:	–	Rif.: C/474





**Programma integrato di intervento (PII) “Milano 4 You” per la realizzazione di un intervento residenziale, commerciale, direzionale, standard privati ed opere pubbliche.**

***Relazione tecnico-illustrativa  
dell'intervento energetico***



**Niccolò Aste, Marco Beccali, Michela Buzzetti, Paola Caputo, Claudio Del Pero, Marco Fiori, Giuliana Leone, Fabrizio Leonforte, Mario Maistrello, Manlio Mazzon**

**Giugno 2016**

Prof. Niccolò Aste

ing. Mario Maistrello



## Sommario

<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>1) DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO .....</b>	<b>7</b>
<b>2) ANALISI DEL CONTESTO CLIMATICO .....</b>	<b>9</b>
2.1) QUADRO CLIMATICO PRELIMINARE DESUNTO DALLA NORMATIVA NAZIONALE.....	9
2.2) ANALISI CLIMATICA DETTAGLIATA SULLA BASE DI DATI A FREQUENZA ORARIA ...	14
2.3) OSSERVAZIONI GENERALI SUL CLIMA LOCALE .....	18
2.4) ANALISI SPECIFICA DEL SOLEGGIAMENTO SUL COMPLESSO OGGETTO DI STUDIO ..	19
<b>3) ANALISI DELLE PRESCRIZIONI NORMATIVE IN MATERIA DI EFFICIENZA ENERGETICA IN EDILIZIA .....</b>	<b>25</b>
3.1) ANALISI GENERALE DEL QUADRO NORMATIVO .....	25
3.2) REQUISITI E PRESCRIZIONI APPLICABILI AL CASO IN ESAME .....	26
3.2.1) <i>Requisiti e prescrizioni generali</i> .....	26
3.2.2) <i>Requisiti e prescrizioni relative al sistema edificio-impianto</i> .....	27
3.2.3) <i>Requisiti e prescrizioni relative all'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili</i>	29
<b>4) IL SISTEMA EDIFICIO-IMPIANTO .....</b>	<b>33</b>
<b>5) ASSETTO ENERGETICO A SCALA DI EDIFICIO .....</b>	<b>39</b>
5.1) INVOLUCRO EDILIZIO .....	39
5.2) SISTEMI IMPIANTISTICI.....	41
5.3) SISTEMI DI AUTOMAZIONE, REGOLAZIONE E GESTIONE TECNICA.....	42
5.4) RELAZIONE DELL'EDIFICIO CON L'IMPIANTO GENERALE DI QUARTIERE .....	46
<b>6) ASSETTO ENERGETICO A SCALA DI QUARTIERE.....</b>	<b>47</b>
6.1) INTRODUZIONE GENERALE DELLO SCENARIO ENERGETICO.....	47
6.2) IMPIANTO DI COGENERAZIONE A BIOMASSA .....	48
6.2.1) <i>Caratteristiche del combustibile in ingresso</i> .....	50
6.2.2) <i>Sezione di approvvigionamento e stoccaggio</i> .....	51
6.2.3) <i>Sezione di generazione termica</i> .....	51
6.2.4) <i>Espansore a vapore a doppia vite</i> .....	51
6.2.5) <i>Abbattimento delle emissioni ed espulsione dei fumi al camino</i> .....	52
6.2.6) <i>Estrazione delle scorie/ceneri</i> .....	53
6.2.7) <i>Gestione e controllo</i> .....	54
6.3) IMPIANTO GEOTERMICO AD ACQUA DI FALDA .....	54
6.4) RETE DI TELERISCALDAMENTO A BASSA TEMPERATURA .....	56
6.5) IMPIANTI FOTOVOLTAICI .....	57
6.6) BENEFICI OTTENIBILI .....	60
<b>7) FABBISOGNI E CONSUMI ENERGETICI.....</b>	<b>61</b>
7.1) STIMA DEI FABBISOGNI ENERGETICI .....	62
7.2) STIMA DEI CONSUMI FINALI DI ENERGIA PRIMARIA .....	65
<b>8) SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE.....</b>	<b>67</b>

8.1)	VALUTAZIONI ENERGETICO-AMBIENTALI.....	67
8.2)	RECUPERO ACQUE PIOVANE .....	68
8.3)	CONTROLLO DEGLI AGENTI INQUINANTI .....	68
8.4)	MATERIALI ECOSOSTENIBILI .....	68
<b>9)</b>	<b>STIMA DI MASSIMA DEI COSTI DI INTERVENTO.....</b>	<b>70</b>
<b>10)</b>	<b>BUONE PRATICHE .....</b>	<b>71</b>
10.1)	EFFICIENZA NELL' ILLUMINAZIONE ARTIFICIALE .....	71
10.2)	EFFICIENZA DEGLI ELETTRODOMESTICI .....	71
10.3)	RIDUZIONE DEL CONSUMO DI ACQUA POTABILE .....	71
<b>11)</b>	<b>CASO STUDIO .....</b>	<b>73</b>
1.1)	CONFIGURAZIONE GEOMETRICA .....	75
1.2)	CARATTERISTICHE DEGLI INVOLUCRI OPACHI .....	76
1.3)	CARATTERISTICHE DEGLI INVOLUCRI TRASPARENTI .....	78
1.4)	SISTEMI DI CONTROLLO E GESTIONE (BACS).....	79
1.5)	DOTAZIONI IMPIANTISTICHE .....	80
1.6)	VALUTAZIONE DELLE PRESTAZIONI ENERGETICHE .....	81
1.6.1	<i>Fabbisogni di energia utile</i> .....	83
1.6.2	<i>Potenze termiche di picco e consumi di energia</i> .....	83
1.7)	SCENARI ENERGETICI .....	85
1.7.1	<i>Scenario 1</i> .....	85
1.7.2	<i>Scenario 2</i> .....	86
	<b>APPENDICE A - DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DELL'EDIFICIO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>89</b>
	<b>APPENDICE B – FATTORI DI CONVERSIONE IN ENERGIA PRIMARIA E FATTORI DI EMISSIONE .....</b>	<b>92</b>
	<b>ALLEGATO 1 – PLANIMETRIA DEL SISTEMA ENERGETICO DI QUARTIERE .....</b>	<b>93</b>

## INTRODUZIONE

Entro il prossimo decennio è previsto un radicale cambiamento del modello energetico su cui sono basate società ed economia dei Paesi industrializzati. A scala europea, le politiche nazionali e comunitarie hanno delineato obiettivi chiari ed improrogabili, quali l'abbattimento dei consumi, l'aumento dell'efficienza, la riduzione delle emissioni e l'incremento dell'utilizzo delle fonti rinnovabili. L'ambiente costruito, comprensivo del settore industriale, rappresenta il campo strategico su cui si giocherà la partita della transizione da un assetto pesantemente energivoro ad una configurazione sostenibile ed equilibrata delle attività antropiche inserite nel territorio.

Nell'ambito appena delineato, alcuni sistemi e/o strumenti, determinanti più di altri, sembrano in grado di poter contribuire maggiormente al raggiungimento degli obiettivi prefissati. Tra questi si possono individuare gli edifici ad energia zero (o quasi zero secondo un'accezione conservativa), i sistemi di generazione distribuita e le *smart grid* che li interconnettono, valorizzandone le potenzialità.

Nel dettaglio, l'indispensabile diminuzione dei consumi energetici può essere ottenuta:

- eliminando sprechi ed inefficienze del settore edilizio;
- incrementando la diffusione dei sistemi di generazione in situ, o di microgenerazione, con particolare riferimento alle energie rinnovabili;
- realizzando reti di scambio e regolazione che consentano di compensare le fluttuazioni temporali di domanda ed offerta energetica tra i vari nodi interconnessi.

Il paradigma esemplificativo può essere individuato proprio nell'edificio ad energia zero (ma anche in quello semplicemente efficiente), che scambia l'energia autoprodotta con gli altri nodi (edifici, stabilimenti, centrali) cui è collegato, attraverso flussi in entrata o in uscita, a seconda delle necessità.

È evidente come, in questo concetto innovativo, il ruolo delle fonti rinnovabili sia imprescindibile. Tali fonti, tuttavia, sono dette anche "non programmabili" proprio a causa dell'impossibilità di controllarne a discrezione il funzionamento (un impianto fotovoltaico non può generare elettricità indipendentemente dalla concomitante disponibilità di radiazione solare). La loro continua diffusione, se da un lato va nella direzione evolutiva auspicabile, dall'altro rischia, nel breve periodo, di causare periodici sovraccarichi delle reti elettriche esistenti, che non sono pensate per assorbirne completamente le fluttuazioni.

La filosofia energetico-ambientale che sta alla base del progetto Milano 4 You trae spunto in generale dalle considerazioni appena illustrate ed in particolare dagli studi sull'Architettura Sostenibile svolti presso il Politecnico di Milano a partire dagli anni '90.

Il progetto è stato sviluppato recependo integralmente i contenuti della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo sul rendimento energetico nell'edilizia (*EPBD recast - Energy Performance of Buildings Directive*) e del Decreto interministeriale 26 giugno 2015, che definisce le prescrizioni ed i requisiti energetici minimi degli edifici a livello nazionale.

Nel dettaglio, la EPBD pone tra i suoi obiettivi principali l'abbattimento delle emissioni di CO<sub>2</sub>, la riduzione e razionalizzazione dei consumi nel settore residenziale e terziario, l'efficienza energetica degli edifici relativamente a riscaldamento, raffreddamento, ventilazione ed illuminazione e l'ottimizzazione dei costi d'intervento. A tal fine vengono individuati ambiti d'intervento prioritari, quali le caratteristiche morfologiche-architettoniche, gli involucri edilizi, gli impianti termici ed elettrici e lo sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili.

Milano 4 You nasce quindi con l'obiettivo di creare uno sviluppo urbanistico ad alta efficienza energetica e basso impatto ambientale, garantendo al contempo elevate livelli di

comfort (termo-igrometrico, luminoso ed acustico) per gli abitanti. Per questo motivo, l'operazione punta a soddisfare requisiti ancora più stringenti di quelli attualmente previsti dalle vigenti normative sul risparmio energetico in edilizia, spostando in avanti i risultati ottenibili nell'ambito dell'Architettura Sostenibile.

L'assetto energetico complessivo del quartiere e le relative prestazioni sono stati studiati applicando metodologie di stima, analisi e definizione all'avanguardia, capaci di superare l'arretratezza dell'attuale quadro normativo italiano in materia di efficienza energetica, ancora fondato su procedure obsolete ed inadeguate alla trattazione di edifici altamente performanti.

Le procedure di calcolo attualmente adottate a livello nazionale e regionale per quantificare e qualificare le classi di consumo presentano, infatti, alcuni limiti che ne indeboliscono notevolmente l'efficacia. In primo luogo il metodo di calcolo in regime stazionario su cui si basano non è in grado di fornire informazioni affidabili relativamente al comportamento in condizioni di reale operatività di un edificio ad alta efficienza, nel quale i profili dinamici e le strategie di controllo e regolazione nel tempo rivestono un ruolo fondamentale. In secondo luogo, e come conseguenza del punto precedente, non si tiene correttamente conto, sottostimandoli, dei fabbisogni energetici estivi, che, per quanto riguarda strutture iperisolate, possono rappresentare la maggior parte dei consumi complessivi per climatizzazione.

Le limitazioni presenti nelle procedure di certificazione in vigore sono imputabili principalmente alle metodologie di calcolo eccessivamente semplificate ed inutilmente macchinose attualmente adottate. Tali limiti coinvolgono sia il comportamento invernale<sup>1</sup> sia il comportamento estivo<sup>2</sup> delle costruzioni. In questo ambito, il calcolo dell'ammontare di energia primaria richiesta (indicativo per la certificazione energetica) è ancora basato su dati medi di riferimento che presentano scostamenti anche notevoli rispetto ai dati effettivi. Ne consegue che, nella maggioranza dei casi, i risultati ottenuti, pertinenti ad una valutazione di tipo "standard", in grado di fornire un'adeguata stima dei consumi e, soprattutto, di quali siano le strategie più opportune da adottare a livello di sistema edificio-impianto e di sottosistemi tecnologici. La metodologia di calcolo delle UNI-TS 11300 1/2/3/4 (normative tecniche attualmente vigenti in Italia per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici) deriva, in sostanza, dal metodo CEN, sviluppato per il calcolo dei fabbisogni energetici degli edifici di 20-30 anni fa ma ormai obsoleto, proprio perché concepito per valutare le prestazioni di strutture il cui fabbisogno di energia termica era da tre a cinque volte superiore rispetto a quello attuale.

Per contro, lo sforzo compiuto negli ultimi anni in ambito scientifico internazionale per la formulazione di modelli di simulazione del comportamento energetico degli edifici, realmente efficaci ed attendibili, non si può spiegare se non come espressione dell'effettiva necessità di disporre di mezzi di supporto adeguati alla progettazione di edifici a energia quasi zero (nZEB: *nearly Zero Energy Buildings*), inevitabilmente più complessa e sofisticata delle prassi consolidate.

Sulla base delle considerazioni appena illustrate, la progettazione energetica di Milano 4 You è stata condotta a livello specialistico, utilizzando, per il calcolo delle prestazioni ottenibili, gli strumenti più avanzati. In particolare si è fatto ampio uso del software

---

<sup>1</sup> J. Jokisalo, J. Kurnitski, "Performance of EN ISO 13790 utilization factor heat demand calculation method in a cold climate", Energy and Buildings, 2007.

<sup>2</sup> M. Beccali, L. Mazzarella, M. Motta, "Simplified models for building cooling energy requirement", Seventh International IBPSA Conference, 2001.

V. Corrado, E. Fabrizio, "Assessment of building cooling energy need through a quasi-steady state model: Simplified correlation for gain-loss mismatch", Energy and Buildings, 2007.

dinamico EnergyPlus (messo a punto dal Department of Energy degli Stati Uniti), frutto di un percorso di ricerca e sviluppo durato oltre vent'anni e validato secondo gli standard tecnici internazionali. Questa scelta, sicuramente più gravosa rispetto alle pratiche usuali, garantisce che i numeri in gioco non vengano stimati approssimativamente su base parametrica (è oramai purtroppo noto come i valori desumibili dalle certificazioni energetiche raramente coincidano con quelli reali), ma siano il frutto di vere e proprie previsioni analitiche, dettagliate ed estremamente attendibili.

Il progetto Milano 4 You non punta, infatti, solamente a rispettare le prescrizioni delle attuali normative vigenti in materia di risparmio energetico, ma mira a fornire indicazioni metodologiche, schemi procedurali ed esemplificazioni concrete per il raggiungimento di livelli di efficienza energetico-ambientale estremamente elevati.

Più specificamente, l'assetto energetico che caratterizzerà il nuovo insediamento è basato sull'innovativo concetto di *nearly Zero Energy District* (nZED), in cui la minimizzazione dei consumi e lo sfruttamento delle rinnovabili avviene in modo integrato a scala urbana, superando i limiti del singolo fabbricato. La realizzazione di un quartiere ad energia ed emissioni quasi zero richiede, ovviamente, valutazioni e metodologie applicative più articolate rispetto a quelle necessarie per realizzare separatamente più edifici energeticamente efficienti e necessita, al contempo, dell'applicazione di tecnologie e strategie altamente sinergiche, che coinvolgono anche le infrastrutture energetiche locali e si avvalgono di logiche di controllo generale avanzate, consentendo di ottimizzare il risultato prestazionale di insieme.

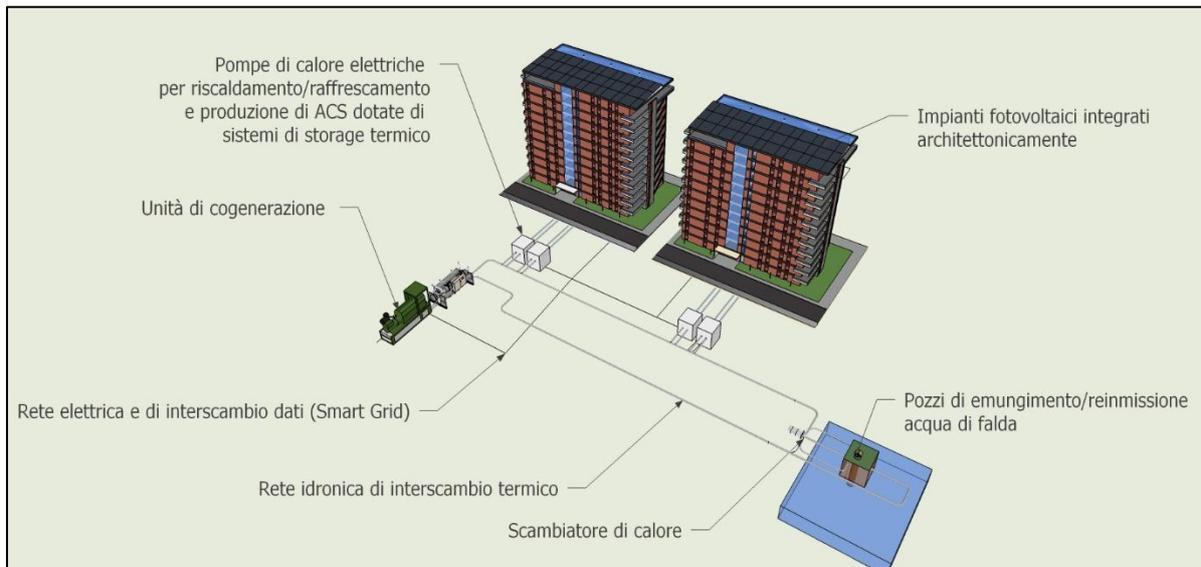
Nel dettaglio, il progetto è contraddistinto dalla presenza capillare di sistemi di microgenerazione energetica diffusa, basata sull'impiego di molteplici dispositivi di produzione di energia elettrica, termica e frigorifera interconnessi tra loro dall'infrastruttura energetica bidirezionale di quartiere, appositamente concepita allo scopo.

Lo sfruttamento intensivo dell'energia solare, attraverso impianti fotovoltaici integrati architettonicamente, è abbinato all'utilizzo della risorsa geotermica a bassa entalpia ed al funzionamento di un sistema di microgenerazione a biomassa. Sono inoltre previsti sistemi di accumulo energetico localizzati, in grado di ridurre il *mismatch* temporale tra i profili di consumo e la produzione da fonti rinnovabili. Tutti gli elementi di generazione, accumulo ed utilizzo dei flussi energetici a scala di quartiere saranno gestiti da un avanzato sistema di controllo adattivo-predittivo, in grado di effettuare un efficiente servizio di dispacciamento energetico a livello locale, ottimizzando le prestazioni globali e sfruttando le potenzialità di comunicazione delle moderne Smart Grid.

L'assetto messo a punto consente innanzitutto di realizzare un'elevata flessibilità gestionale, poiché permette di utilizzare in maniera integrata diverse fonti energetiche, al fine di garantire la riduzione dei costi di generazione in tutte le condizioni d'uso. In secondo luogo, la configurazione energetica complessiva di Milano 4 You rappresenta uno schema impiantistico intrinsecamente sicuro, basato su molteplici tecnologie potenzialmente ridondanti, ma in grado di assicurare la continuità dei servizi energetici anche in caso di malfunzionamenti od interventi di manutenzione su sezioni del sistema complessivo.

Si noti, inoltre, che, in linea con la filosofia innovativa del progetto, tale configurazione si basa su un'architettura aperta, atta ad accettare ed integrare, se opportuno, nuove tecnologie di generazione e/o trasformazione dell'energia eventualmente disponibili in futuro.

Nella seguente immagine è riportato uno schema esemplificativo del *concept* energetico illustrato.



*Schema esemplificativo del concept energetico di Milano 4 You*

La strategia energetica complessiva, specificamente sviluppata per l'insediamento, consentirà, in sostanza, un'elevata copertura del fabbisogno energetico totale del quartiere (riscaldamento, raffreddamento, produzione di acqua calda sanitaria) mediante risorse rinnovabili disponibili localmente, con una quota intorno al 75%, ben superiore, quindi, al limite normativo recentemente imposto in Regione Lombardia, pari al 50%. Tale risultato garantirà costi energetici estremamente contenuti e quindi un'elevata sostenibilità economica per gli utenti finali dell'insediamento, nonché emissioni di gas climalteranti quasi nulle.

## 1) DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'insediamento Milano 4 You è costituito da un insieme articolato e polifunzionale di edifici, che complessivamente ammontano ad una SLP di 69.808 m<sup>2</sup>, suddivisa secondo le seguenti destinazioni:

- residenziale in condominio (55.808 m<sup>2</sup>);
- residenziale in casa monofamiliare (4.500 m<sup>2</sup>);
- direzionale uffici (4.000 m<sup>2</sup>);
- commerciale di media distribuzione (3.000 m<sup>2</sup>);
- commerciale esercizi di vicinato (2.500 m<sup>2</sup>).

Sono previste, inoltre, dotazioni private di interesse pubblico, per un totale di 20.000 m<sup>2</sup> di SLP, ripartite come segue:

- social housing (8.500 m<sup>2</sup>);
- tecnologico (1.000 m<sup>2</sup>);
- sport e ricreazione (2.500 m<sup>2</sup>);
- residenza per anziani non autosufficienti, appartamenti autoprotetti per anziani autosufficienti e centro diurno (5.000 m<sup>2</sup>);
- cultura, culto, arti e scienze (3.000 m<sup>2</sup>).

Partendo dal limite meridionale, nel sub-comparto sud-ovest sono state collocate alcune funzioni non residenziali quali quelle tecnologiche (centrale di cogenerazione e teleriscaldamento a biomassa) e commerciali, mentre in quello sud-est trova luogo, insieme alle preesistenze, l'edificio adibito a residenza per anziani e centro diurno.

Più a nord, oltre la rotatoria, si sviluppa un impianto con edifici lineari, caratterizzati da orientamenti variabili, in cui sono situate diverse funzioni, fra cui il social housing, l'edilizia libera ed il terziario. Tra questi fabbricati, in prossimità del confine occidentale, si trova l'edificio sperimentale per uffici, che, grazie all'applicazione di tecnologie estremamente innovative e non ancora pienamente diffuse sul mercato, vedrà portate all'estremo le strategie e le prestazioni energetiche avanzate che già caratterizzano la totalità degli edifici di Milano 4 You<sup>3</sup>.

Al centro dell'insediamento si trova, poi, la Cascina Boffalora, che in seguito all'ampliamento additivo previsto, ospiterà il centro cultura, culto, arti e scienze.

La parte settentrionale del comparto, infine, ospita diverse tipologie morfologiche di residenza libera monofamiliare ed il centro sportivo e ricreativo.

L'assetto energetico dell'insediamento è stato appositamente studiato per costituire un punto di eccellenza in termini di efficienza, sfruttamento delle fonti rinnovabili, abbattimento degli impatti ambientali e sostenibilità. In particolare, i consumi per la climatizzazione degli edifici e la produzione di ACS verranno coperti attraverso un sistema ibrido di quartiere, basato sulla compresenza ed interoperabilità funzionale di sistemi di cogenerazione a biomassa, fotovoltaici e geotermici. Tale sistema è composto da un cogeneratore centralizzato, situato, come già introdotto, nella centrale posta all'estremità sud-ovest della lottizzazione, che distribuirà un fluido termovettore preriscaldato attraverso una rete di andata e ritorno collocata nei cunicoli tecnologici previsti nel progetto delle infrastrutture.

Durante l'inverno e nelle stagioni intermedie, al fine di contenere le perdite per dispersione lungo il percorso, il fluido verrà portato ad una temperatura di circa 20 °C e subirà l'incremento finale fino alla temperatura di utilizzo, per riscaldamento e produzione di ACS, grazie alle pompe di calore geotermiche situate in prossimità dei singoli edifici.

---

<sup>3</sup> Lo specifico progetto edilizio ed energetico sarà direttamente in capo al Politecnico di Milano.

Nel periodo estivo, la rete distribuirà acqua di falda che verrà sfruttata dalle medesime pompe di calore, reversibili, per il raffrescamento e la produzione di ACS. La copertura dei fabbisogni elettrici dell'intero sistema (pompe di calore ed ausiliari) è in gran parte garantita dagli impianti fotovoltaici integrati nelle coperture degli edifici e dalla produzione elettrica del cogeneratore.



*Figura 1.1 – Milano 4 You, planimetria complessiva*

## 2) ANALISI DEL CONTESTO CLIMATICO

Una progettazione energeticamente consapevole, come quella che caratterizza il progetto, si basa essenzialmente su di un rapporto virtuoso tra edificio e contesto d'inserimento. Seguendo tale approccio, è necessario analizzare nel dettaglio i parametri climatici locali e desumere le strategie progettuali più adatte a sfruttare gli elementi climatici che possono fornire un contributo positivo al bilancio energetico dell'edificio e, nel contempo, limitare gli effetti di quelli che agiscono sfavorevolmente.

Un primo quadro climatico preliminare è stato ricavato dalla serie di norme UNI 10349<sup>4</sup>, le quali forniscono un primo riferimento su cui la legislazione nazionale fonda le verifiche prestazionali e le procedure di valutazione del comportamento energetico degli edifici.

Tuttavia, al fine di svolgere correttamente la progettazione dei sistemi impiantistici e la valutazione del comportamento energetico degli edifici secondo gli standard avanzati applicati a Milano 4 You, i dati medi mensili riportati nelle citate norme sono insufficienti. Una simulazione accurata, soprattutto nella stagione di raffrescamento (nella quale si ha spesso inversione della direzione del flusso termico nell'arco della giornata), richiede la definizione dei dati puntuali su base oraria, in maniera da:

- valutare i picchi e la frequenza con cui essi si verificano e, di conseguenza, adottare opportune logiche di frazionamento dei sistemi di generazione;
- esaminare le escursioni termiche giornaliere e gli effetti ottenibili mediante l'inerzia termica dell'involucro edilizio.

Per tale motivo, nelle valutazioni energetiche effettuate a supporto del progetto, si è adottato un file climatico relativo ad un anno-tipo derivante da una composizione statistica dei rilevamenti effettuati nell'arco temporale di 20 anni. Si è fatto riferimento a questo proposito alla stazione climatica di Milano Linate, la quale risulta particolarmente adatta per il contesto oggetto di studio in ragione della notevole vicinanza e delle condizioni generali piuttosto simili in termini di esposizione e di morfologia del sito.

Si precisa che i dati climatici medi riportati dalle due fonti si discostano leggermente tra loro, in quanto fanno riferimento a rilevazioni eseguite in periodi differenti e sono costruiti con algoritmi statistici diversi. Tuttavia, quelli relativi all'anno-tipo, per il loro livello di dettaglio garantiscono una simulazione energetica molto più attendibile.

### 2.1) Quadro climatico preliminare desunto dalla normativa nazionale

Il comuni del territorio italiano, ai sensi del D.P.R. 412/1993 e s.m.i.<sup>5</sup>, sono suddivisi in sei zone climatiche in funzione del valore del parametro Gradi Giorno, indipendentemente dall'ubicazione geografica. Tale parametro rappresenta un indice standard di temperatura, usato al fine di classificare il clima delle diverse località in funzione della relativa necessità di riscaldamento. Si tratta di un termine di raffronto sintetico e di facile applicazione, capace di definire in maniera rapida e sufficientemente attendibile la rigidità del clima invernale in un determinato contesto. In funzione della zona climatica, viene poi definita la durata del periodo di riscaldamento che regola i limiti massimi relativi al periodo annuale di esercizio invernale degli impianti termici e la durata giornaliera di attivazione. Tale classificazione viene riassunta nella tabella seguente.

<sup>4</sup> UNI 10349-1:2016, UNI/TR 10349-2:2016 ed UNI 10349-3:2016.

<sup>5</sup> D.P.R. del 26 agosto 1993 n. 412, "Norme in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia".

	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E	Zona F
Gradi Giorno	$GG < 600$	$600 < GG < 900$	$900 < GG < 1400$	$1400 < GG < 2100$	$2100 < GG < 3000$	$GG < 3000$
Stagione di riscaldamento	dal 01/12 al 15/03	dal 01/12 al 31/03	dal 15/11 al 31/03	dal 01/11 al 15/04	dal 15/10 al 15/04	-
Esercizio giornaliero	6 h/giorno	8 h/giorno	10 h/giorno	12 h/giorno	14 h/giorno	-

Tabella 2.1 – Zone climatiche e durata della stagione di riscaldamento ai sensi del D.P.R. 412/1993

Rispetto alle indicazioni normative sopra citate, il numero di Gradi Giorno (GG) del Comune di Segrate è pari a 2.404. Esso si colloca, pertanto in Zona Climatica E. Il corrispondente numero dei giorni di riscaldamento è quindi pari a 180, dal 15 di ottobre al 15 di aprile, con un limite massimo di esercizio giornaliero dell'impianto termico di 14 ore. Le condizioni climatiche da assumere per il dimensionamento degli impianti termici sono riportate nella UNI/TR 10349-2:2016 e vengono riassunte, per la località in oggetto, nella tabella seguente.

	Stagione invernale	Stagione estiva
Temperatura dell'aria esterna	- 5 °C	31,9 °C
Umidità relativa [%]	-	48 %

Tabella 2.2 – Dati climatici di progetto

I principali parametri climatici, necessari a comprendere le peculiarità del clima locale, sono desumibili dalla serie di norme UNI 10349. In particolare, si riassumono, nei grafici e nelle tabelle seguenti, i dati medi mensili di:

- temperatura media giornaliera dell'aria esterna;
- umidità relativa;
- velocità e direzione del vento;
- irradiazione solare giornaliera incidente sul piano orizzontale, suddivisa tra la componente diffusa e diretta.

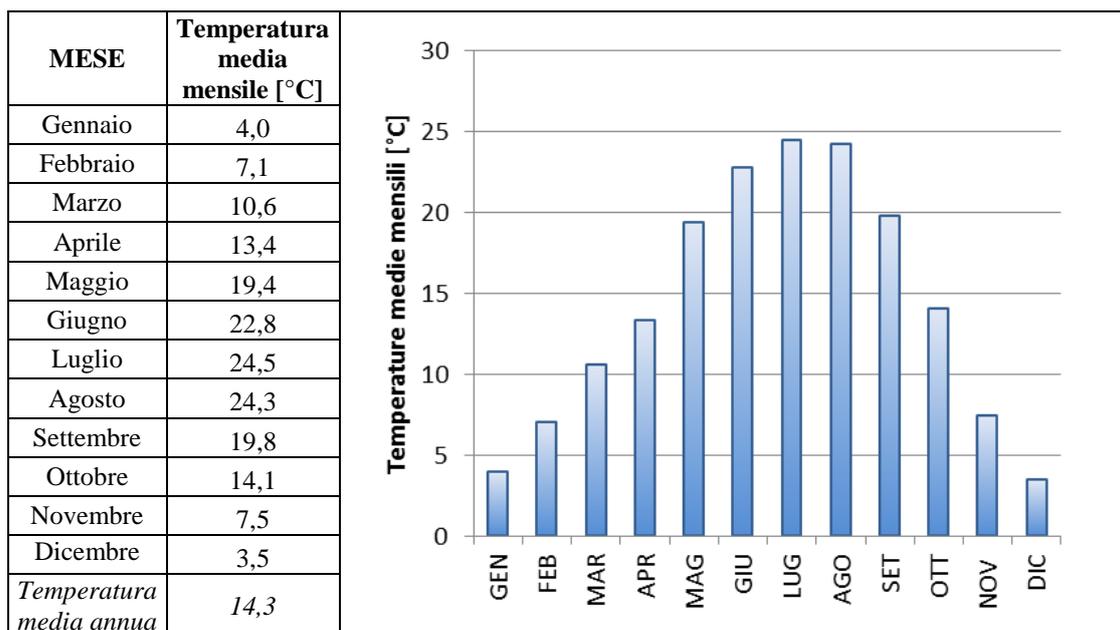


Figura 2.1 – Temperature medie mensili dell'aria esterna

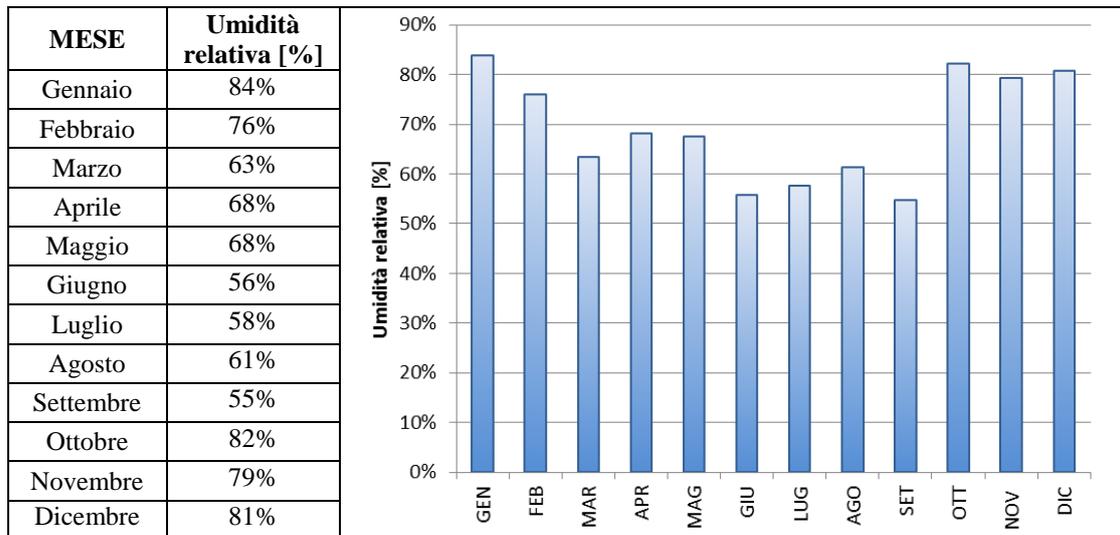


Figura 2.2 – Umidità relativa media mensile dell'aria esterna

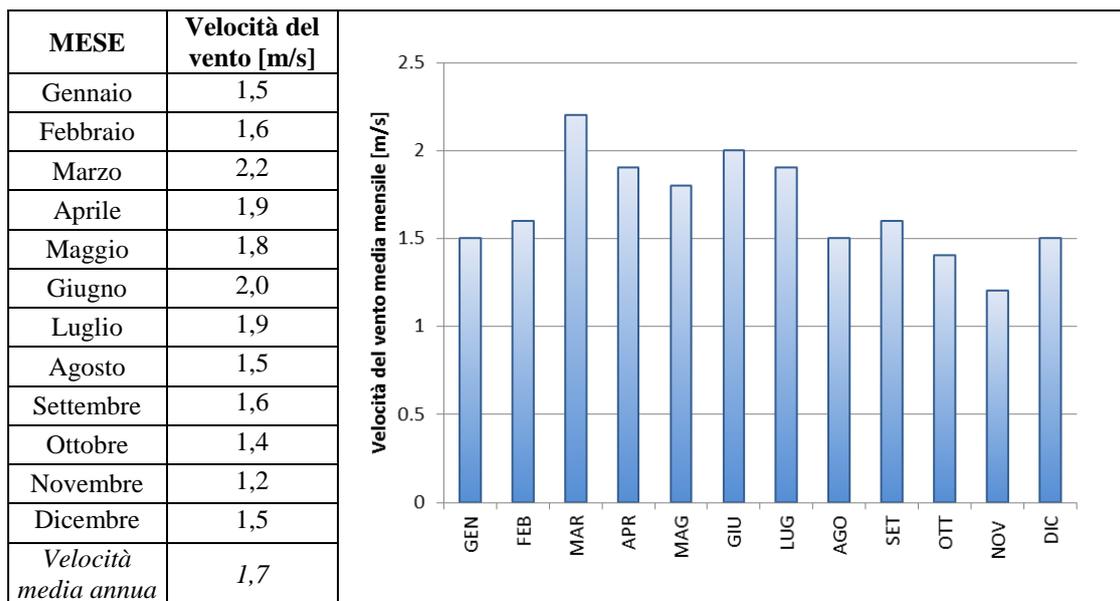


Figura 2.3 – Valori medi mensili della velocità del vento

La fonte normativa indica anche come la direttrice prevalente da cui spirano i venti sia nord-ovest.

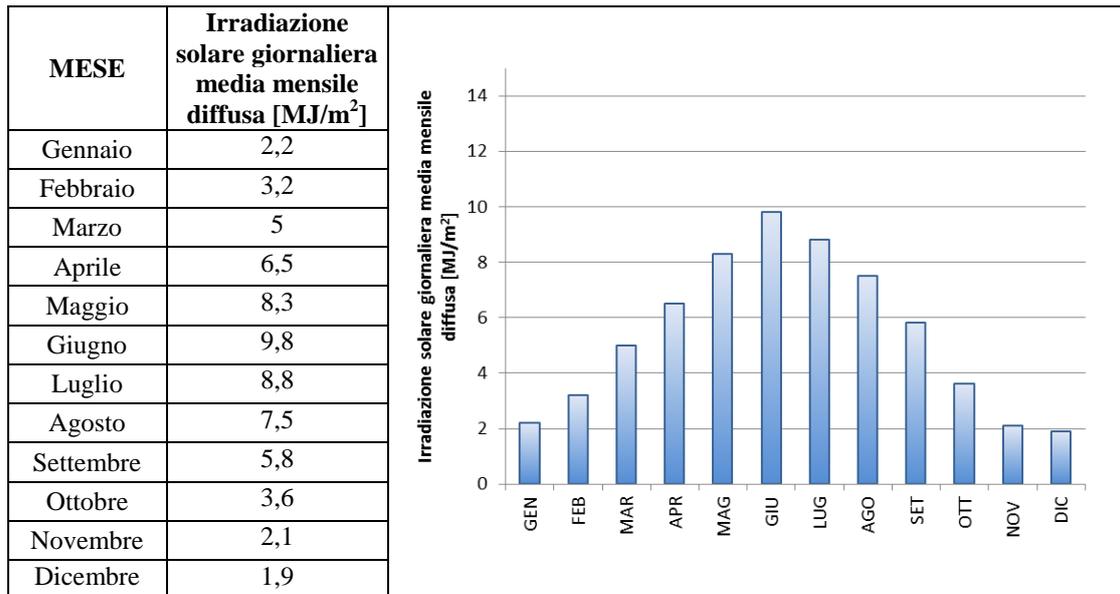


Figura 2.4 – Valori medi mensili di irradiazione solare giornaliera diffusa

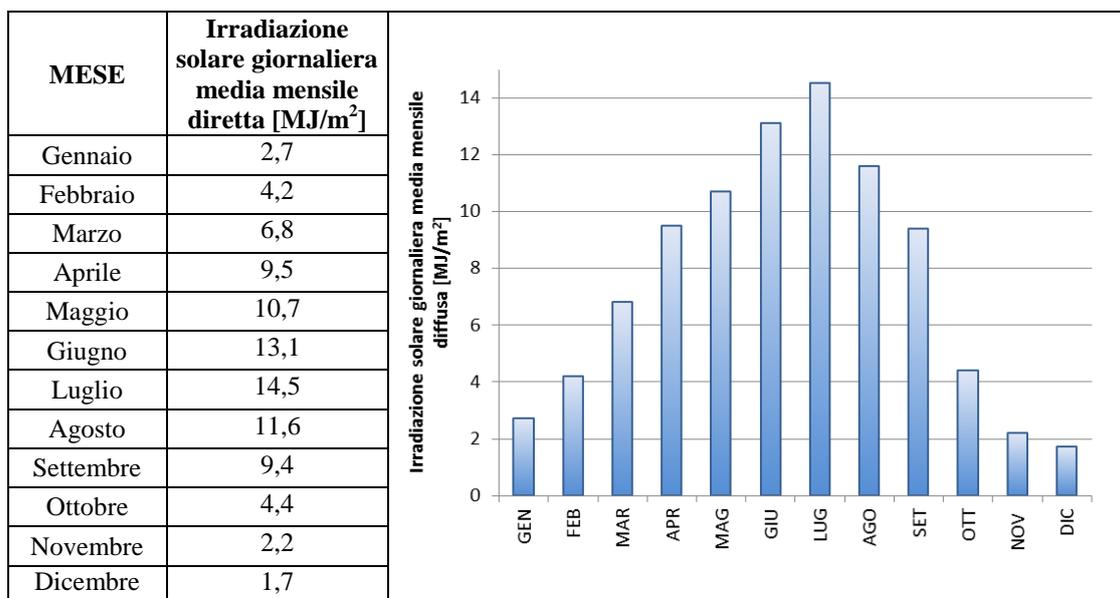


Figura 2.5 – Valori medi mensili di irradiazione solare giornaliera diretta

Sulla base dei dati riportati nelle due tabelle precedenti, è possibile determinare un valore globale di irradiazione solare annua incidente sul piano orizzontale pari a 1.316 kWh/m<sup>2</sup>anno. Si ritiene utile, inoltre, operare un particolare approfondimento sulle specifiche condizioni di soleggiamento che si verificano sulle diverse parti d'involucro degli edifici di progetto.

Rispetto alla località di riferimento sono stati dunque valutati i valori di irradiazione, espressi in kWh/m<sup>2</sup>, riscontrabili nei diversi mesi dell'anno relativamente a superfici caratterizzate da differenti orientamenti, con particolare riferimento a quelli prevalentemente riscontrati nel piano urbanistico in oggetto (ovvero verticali, orizzontali ed inclinate di 20° e 30°, orientate rispettivamente a sud, sud-est, est, sud-ovest, ovest e nord).

A questo scopo, è stato impiegato il modello di calcolo Solrad T03, sviluppato dal Politecnico di Milano, utilizzando come input i dati riportati nelle due tabelle precedenti. L'osservazione delle configurazioni considerate, infatti, può costituire un'utile base conoscitiva per orientare le strategie e le scelte progettuali da adottare nell'elaborazione del progetto architettonico. Le valutazioni sulla superficie orizzontale sono indicate in qualità di termine di paragone e sono state riportate in tutti i grafici. L'analisi delle superfici inclinate può fornire indicazioni circa le possibilità di installazione di sistemi solari e sul comportamento di eventuali sistemi di schermatura delle aperture vetrate. I dati relativi alle superfici verticali, infine, possono dare informazioni preliminari rispetto agli apporti solari attraverso pareti e finestre.

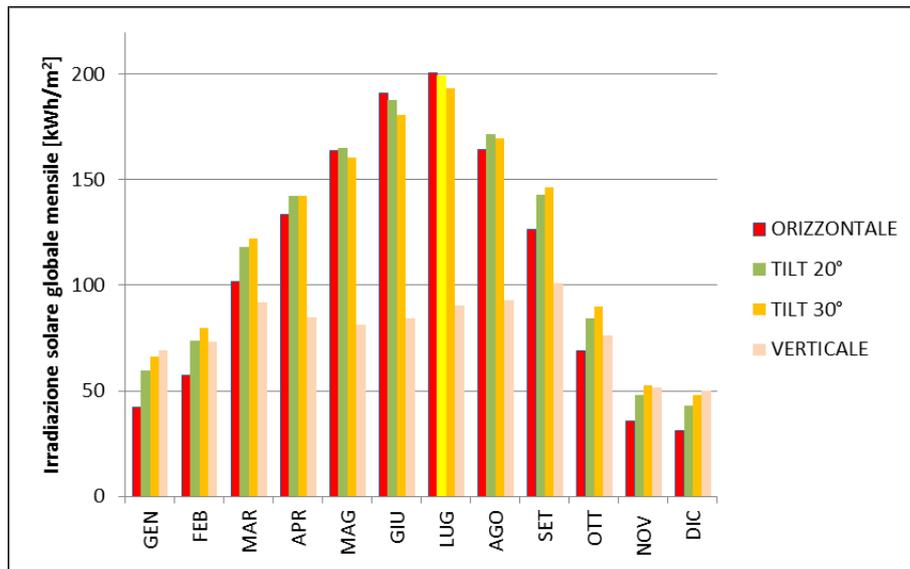


Figura 2.6 – Irradiazione solare globale mensile rispetto all'orientamento sud, per diverse inclinazioni verticali

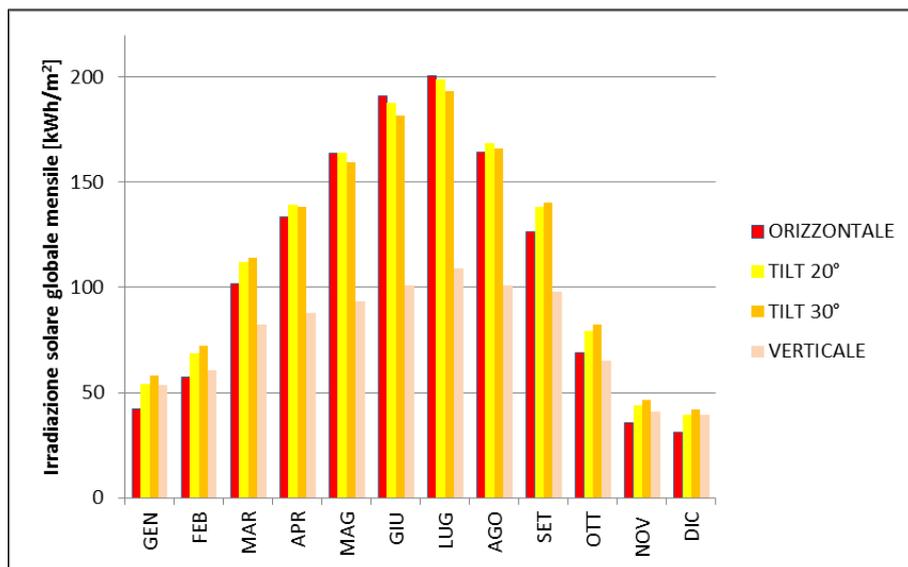


Figura 2.7 – Irradiazione solare globale mensile rispetto agli orientamenti sud-est e sud-ovest, per diverse inclinazioni verticali

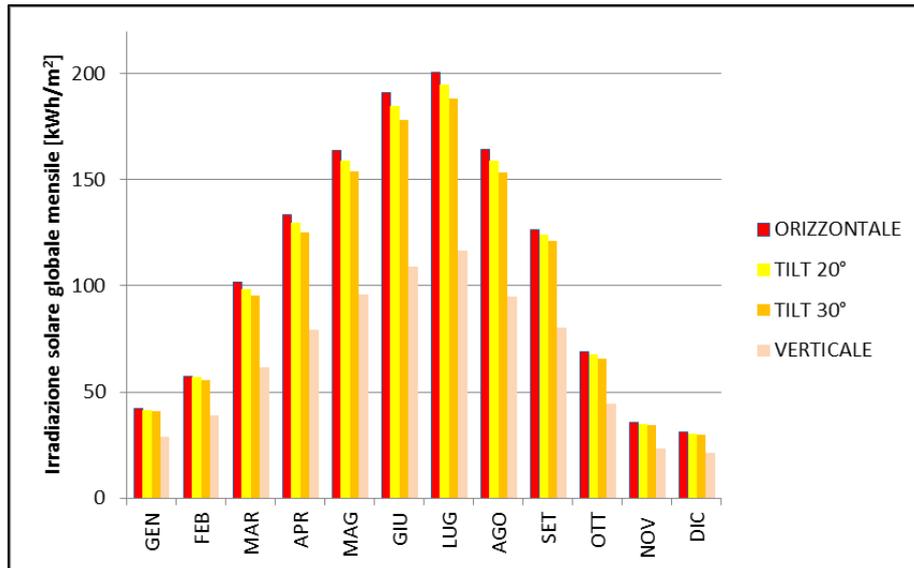


Figura 2.8 – Irradiazione solare globale mensile rispetto agli orientamenti est ed ovest, per diverse inclinazioni verticali

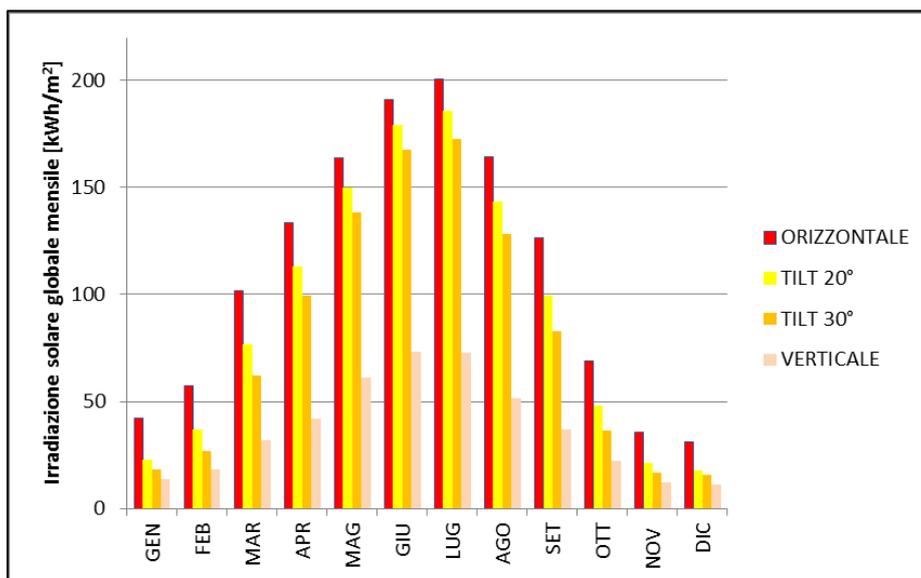


Figura 2.9 – Irradiazione solare globale mensile rispetto all'orientamento nord, per diverse inclinazioni verticali

## 2.2) Analisi climatica dettagliata sulla base di dati a frequenza oraria

Come introdotto in precedenza, una corretta progettazione energetica presuppone un quadro conoscitivo del contesto climatico che, oltre a considerare i valori medi mensili, analizzi anche i dati a cadenza oraria, al fine di valutare le frequenze ed i picchi dei diversi parametri. A tale scopo, nel presente paragrafo vengono analizzati i dati contenuti nel file climatico della stazione di Milano Linate. Tale collezione di dati fa riferimento al database “Gianni De Giorgio”<sup>6</sup>. Nella figura seguente si riporta un riepilogo dei principali dati in

<sup>6</sup> [https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/weather/weather\\_files/italia\\_dati\\_climatici\\_g\\_de\\_giorgio.pdf](https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/weather/weather_files/italia_dati_climatici_g_de_giorgio.pdf)

esso contenuti, evidenziando anche quelli riferiti al giorno più freddo dell'anno ed a quello più caldo.

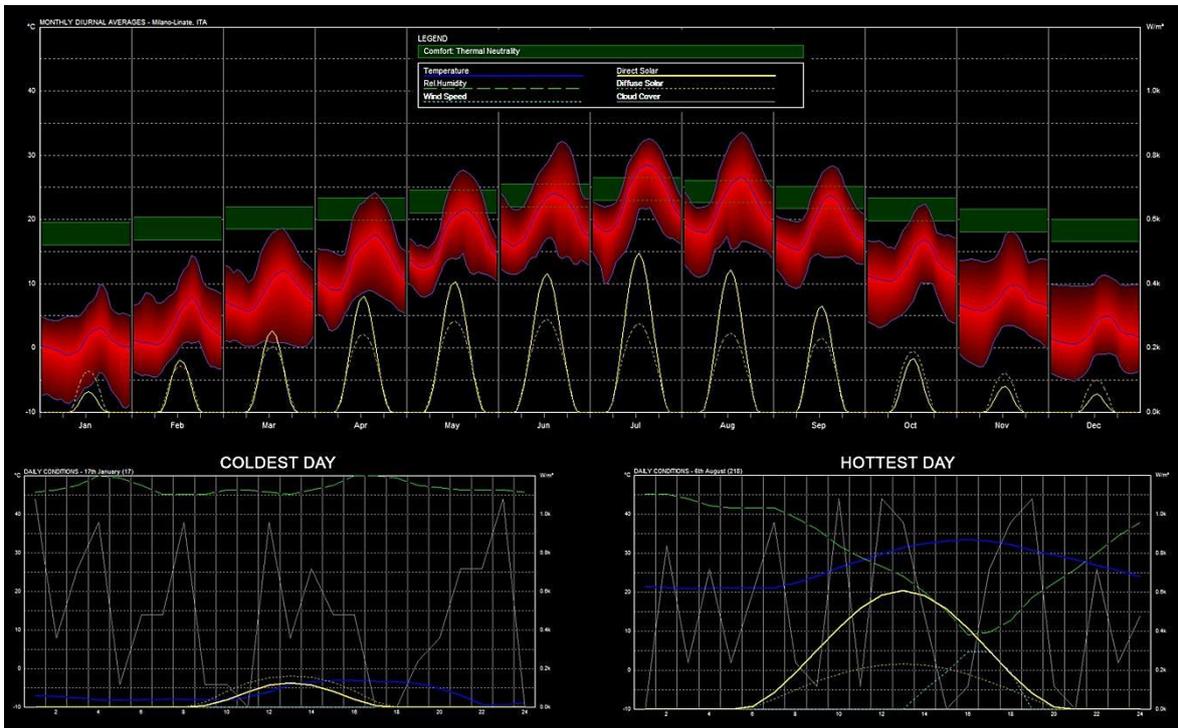


Figura 2.10 – Rappresentazione riassuntiva dei dati presenti nel file climatico

Si riportano, di seguito, le sintesi dei principali parametri climatici desunti da tale fonte, comprensive di grafici contenenti indicazioni rispetto alle medie mensili dei valori massimi e dei valori minimi. Inoltre, i pallini bianchi indicano i massimi ed i minimi valori in assoluto registrati nel periodo ventennale di rilevazione.

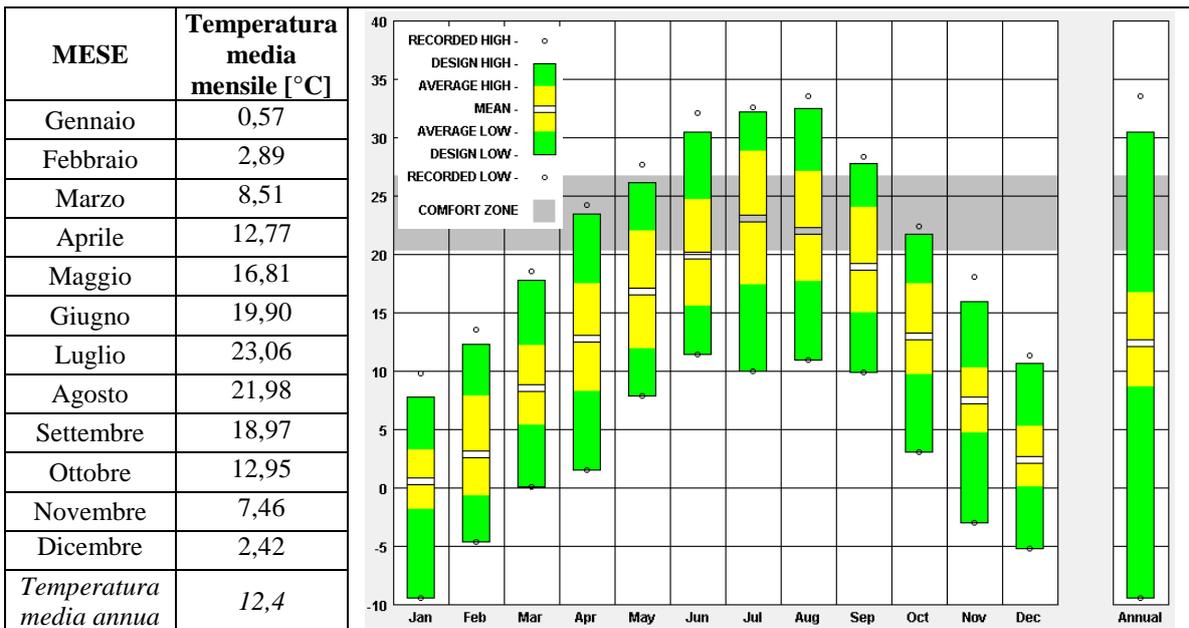


Figura 2.11 - Analisi dettagliata dei valori medi di temperatura dell'aria esterna

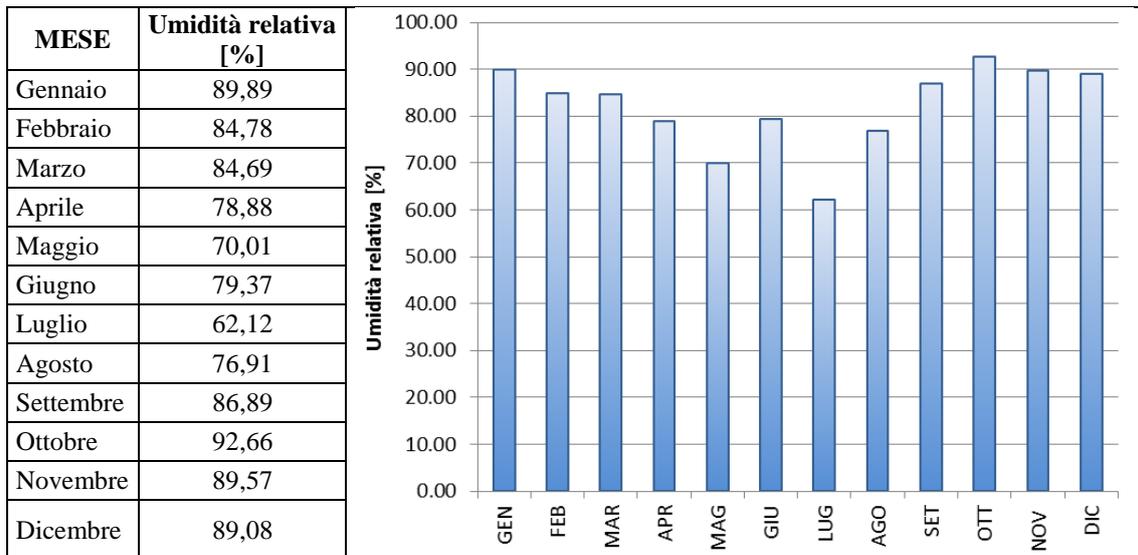


Figura 2.12 - Valori medi mensili di umidità relativa

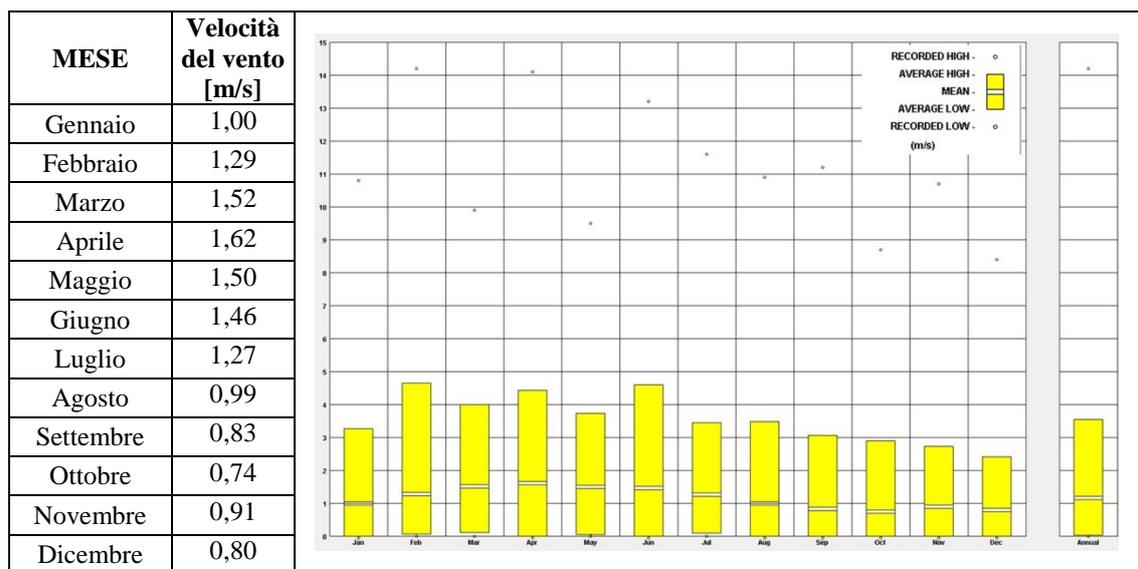


Figura 2.13 - Valori medi mensili di velocità del vento

Le tabelle ed i grafici sopra riportati rappresentano aggregazioni medie dei valori orari specifici dei parametri climatici di interesse. Appare tuttavia importante analizzarne anche la distribuzione nelle diverse ore della giornata e le frequenze con cui determinati intervalli di valori si verificano nell'arco dell'anno- tipo come riassunto nei tre grafici di seguito riportati

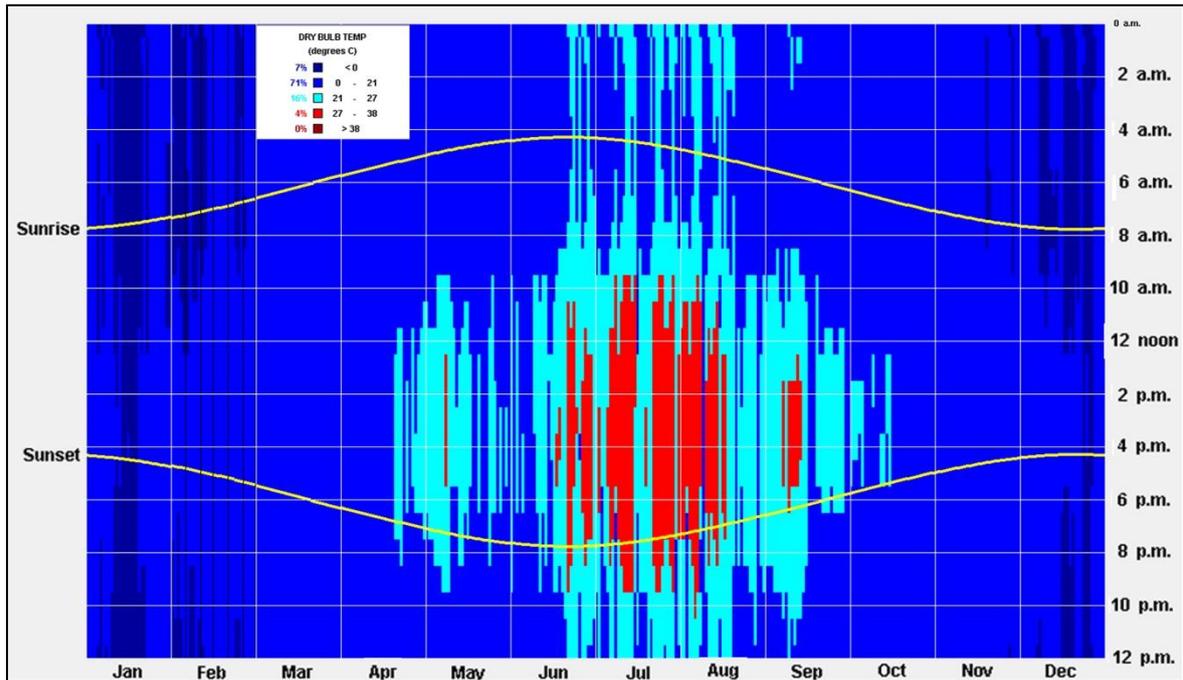


Figura 2.14 - Distribuzione temporale dei valori di temperatura a bulbo secco dell'aria esterna

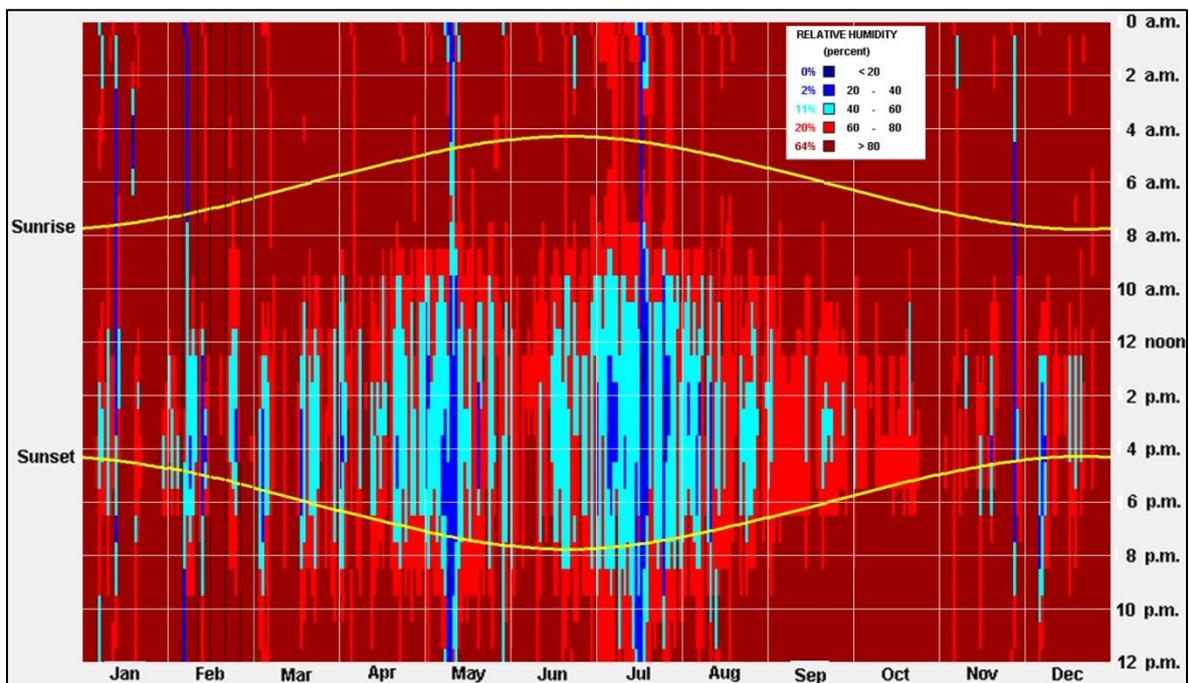


Figura 2.15 - Distribuzione temporale dei valori di umidità relativa dell'aria esterna

Come è possibile osservare dai dati riportati nelle due precedenti figure, i valori orari di temperatura a bulbo secco ed umidità relativa in alcuni casi si discostano notevolmente dai valori medi mensili. Soprattutto nel periodo estivo, nelle ore centrali della giornata si possono verificare situazioni critiche con elevati livelli di temperatura ed umidità relativa dell'aria esterna, non percepibili dall'analisi dei valori medi mensili.

Analoghe considerazioni possono essere effettuate per il vento, secondo quanto riportato nell'immagine successiva, anche se in questo caso le velocità orarie non raggiungono mai livelli particolarmente elevati.

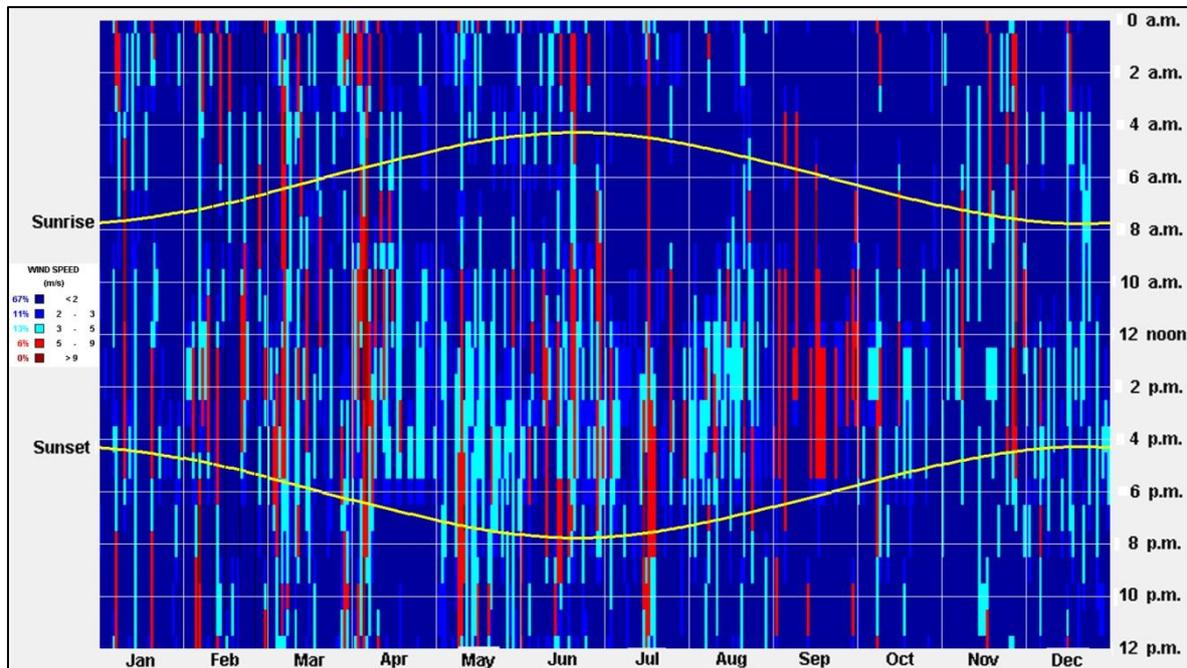


Figura 2.16 - Distribuzione temporale dei valori di velocità del vento

### 2.3) Osservazioni generali sul clima locale

L'analisi dei dati riportati nei paragrafi precedenti consente di delineare le caratteristiche climatiche generali dell'area in cui ricade Segrate. Su questa base è possibile effettuare alcune considerazioni preliminari circa l'interazione con il contesto d'inserimento del complesso Milano 4 You, con particolare riferimento alla sua prestazione energetico-ambientale.

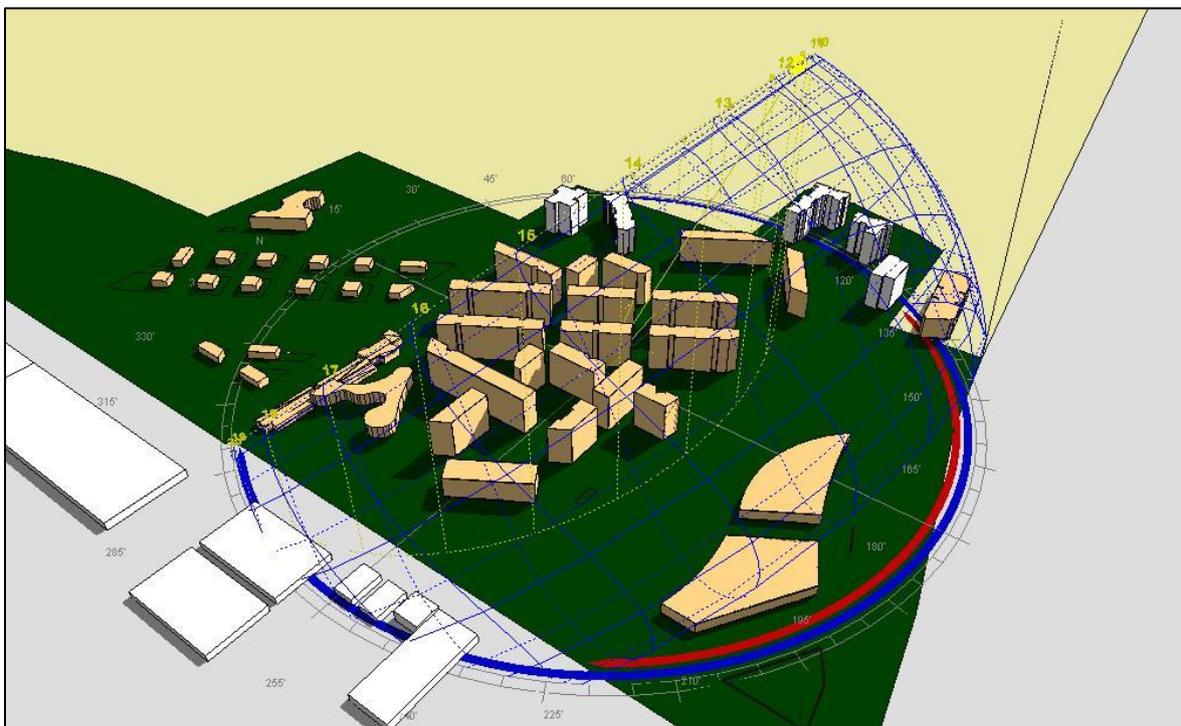
Il clima è tipicamente continentale, caratterizzato da inverni piuttosto rigidi ed estati calde. L'andamento delle temperature medie nella stagione fredda non si presenta critico, tuttavia i valori minimi riscontrabili impongono la necessità di dedicare particolare attenzione alle dispersioni termiche ed alla problematica associata del riscaldamento, in relazione alla quale si presumono fabbisogni consistenti.

In estate, i valori medi mensili di temperatura appaiono fuorvianti, in quanto si presentano apparentemente miti. Tuttavia, analizzando nel dettaglio i dati orari, si possono notare dei picchi significativi, che si verificano con notevole frequenza, accompagnati da valori di umidità relativa piuttosto alti. Per quanto riguarda il calore sensibile, quindi, appare opportuno sfruttare l'escursione termica giornaliera prevedendo buoni livelli di inerzia termica dell'involucro edilizio. Purtroppo, in estate, la ventosità del sito appare piuttosto esigua, per cui la rimozione del calore (sia sensibile che latente) per effetto della ventilazione naturale appare di difficile applicazione, a meno della creazione artificiosa di effetti locali in grado di incrementare leggermente la velocità del vento. L'effetto di raffrescamento notturno dovuto alla ventilazione degli edifici può essere più significativo se abbinato ad una buona inerzia termica dell'involucro.

Le caratteristiche generali di soleggiamento sono quelle tipiche dell'Italia settentrionale, con prevalenza di radiazione diffusa in inverno e diretta in estate con una presenza, comunque, importante di giornate a cielo coperto. I dati di irraggiamento sui diversi orientamenti consigliano la previsione di sistemi schermanti modulanti, in grado di garantire il massimo sfruttamento degli apporti solari nella stagione invernale, a fronte di un'opportuna protezione delle superfici trasparenti durante la stagione estiva. L'irradiazione complessiva annuale sulle superfici inclinate ed orientate a sud, infine, lascia prevedere un soddisfacente potenziale di sfruttamento di sistemi solari attivi, che possono essere posizionati sulle coperture degli edifici stessi.

#### 2.4) Analisi specifica del soleggiamento sul complesso oggetto di studio

Nella seguente immagine si riporta un'analisi specifica dei percorsi solari effettuata per il complesso in fase di progettazione.



*Figura 2.17 - Analisi dei percorsi solari*

Un aspetto che necessita di particolare approfondimento riguarda gli effetti di mutuo ombreggiamento prodotto dagli edifici oggetto di studio. Al fine di una corretta analisi dell'interazione tra energia solare e tali fabbricati, è stato costruito un modello di simulazione mediante il software Ecotect v.5.20. In particolare, tale applicativo è stato utilizzato al fine di evidenziare, in maniera intuitiva ed affidabile, gli effetti dell'ombreggiamento nell'arco dell'intero anno.



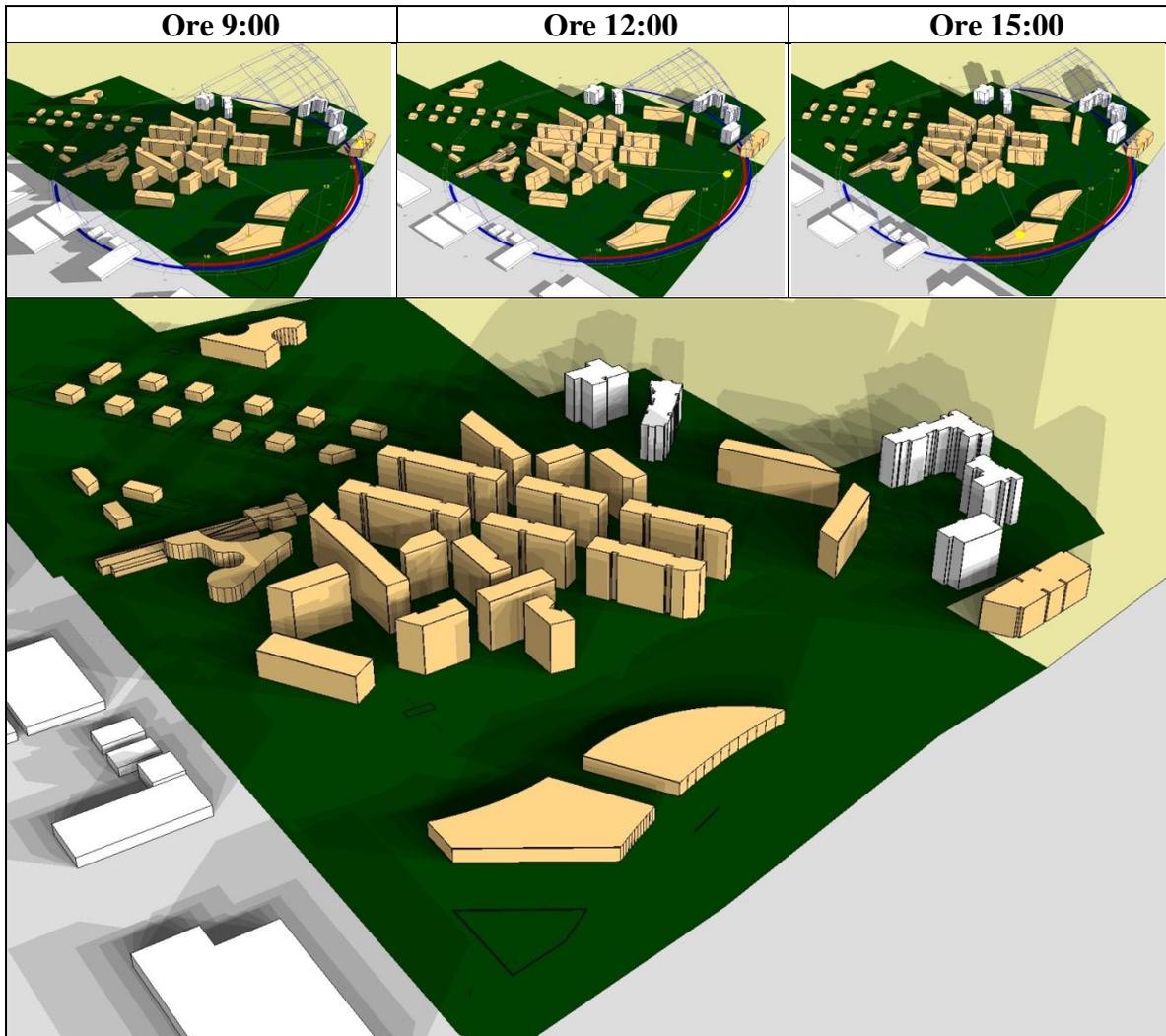
*Figura 2.18 – Vista da sud-ovest della base geometrica utilizzata per la costruzione del modello di valutazione del soleggiamento*



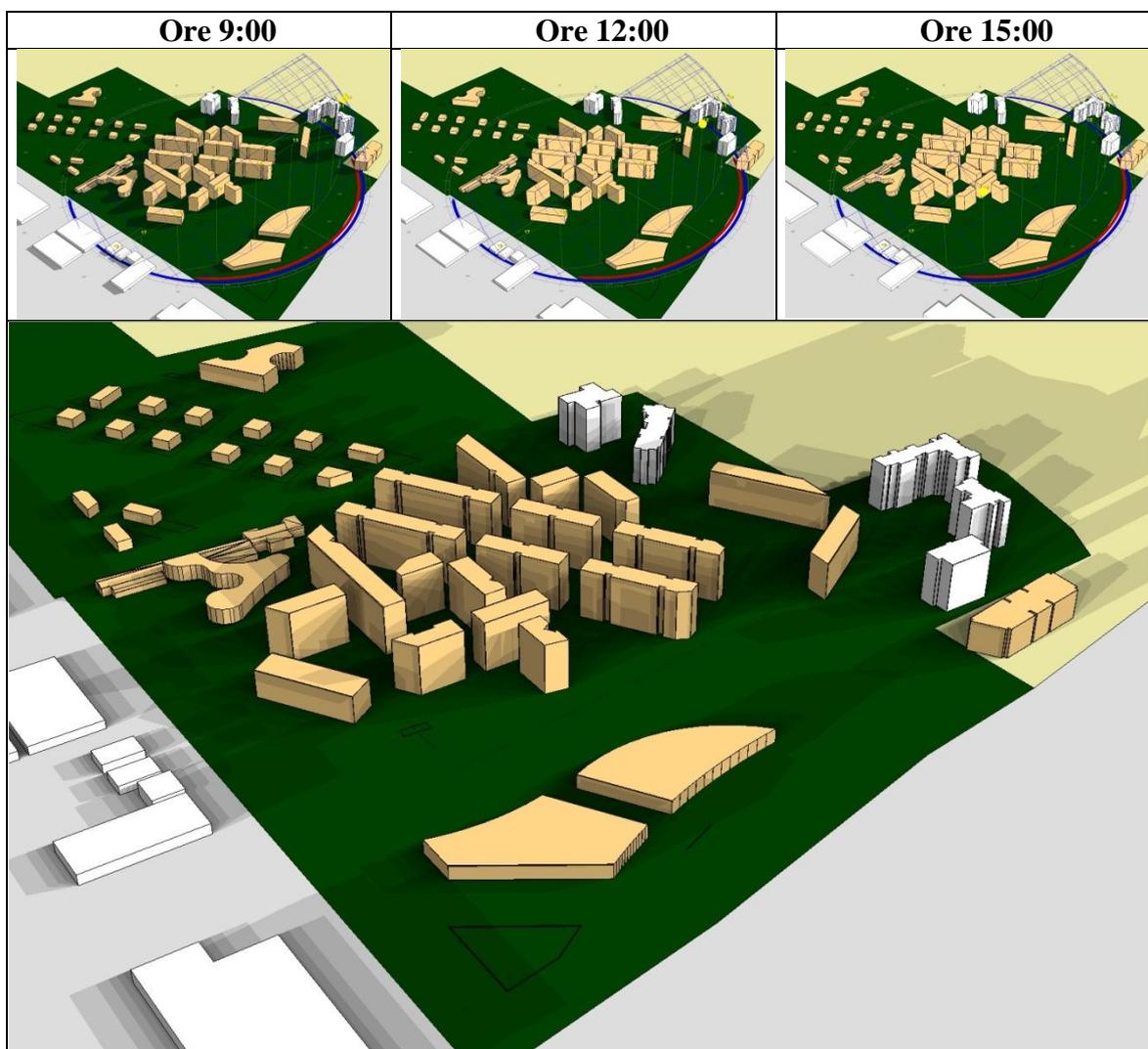
*Figura 2.19 – Vista da sud della base geometrica utilizzata per la costruzione del modello di valutazione del soleggiamento*

Si ritengono significativi, al fine dello studio, i giorni dei solstizi, nei quali si hanno i percorsi solari rispettivamente più e meno ampi dell'intero anno e degli equinozi. Per tali giorni, si sono evidenziati tre momenti significativi (le ore 9:00, le ore 12:00 e le ore 15:00). Inoltre, al fine di valutare l'ombreggiamento complessivo prodotto nell'arco dell'intera giornata, è apparso utile estrapolare la sovrapposizione degli ombreggiamenti generati ad intervalli orari. In tale maniera, le parti più scure indicheranno le aree in cui

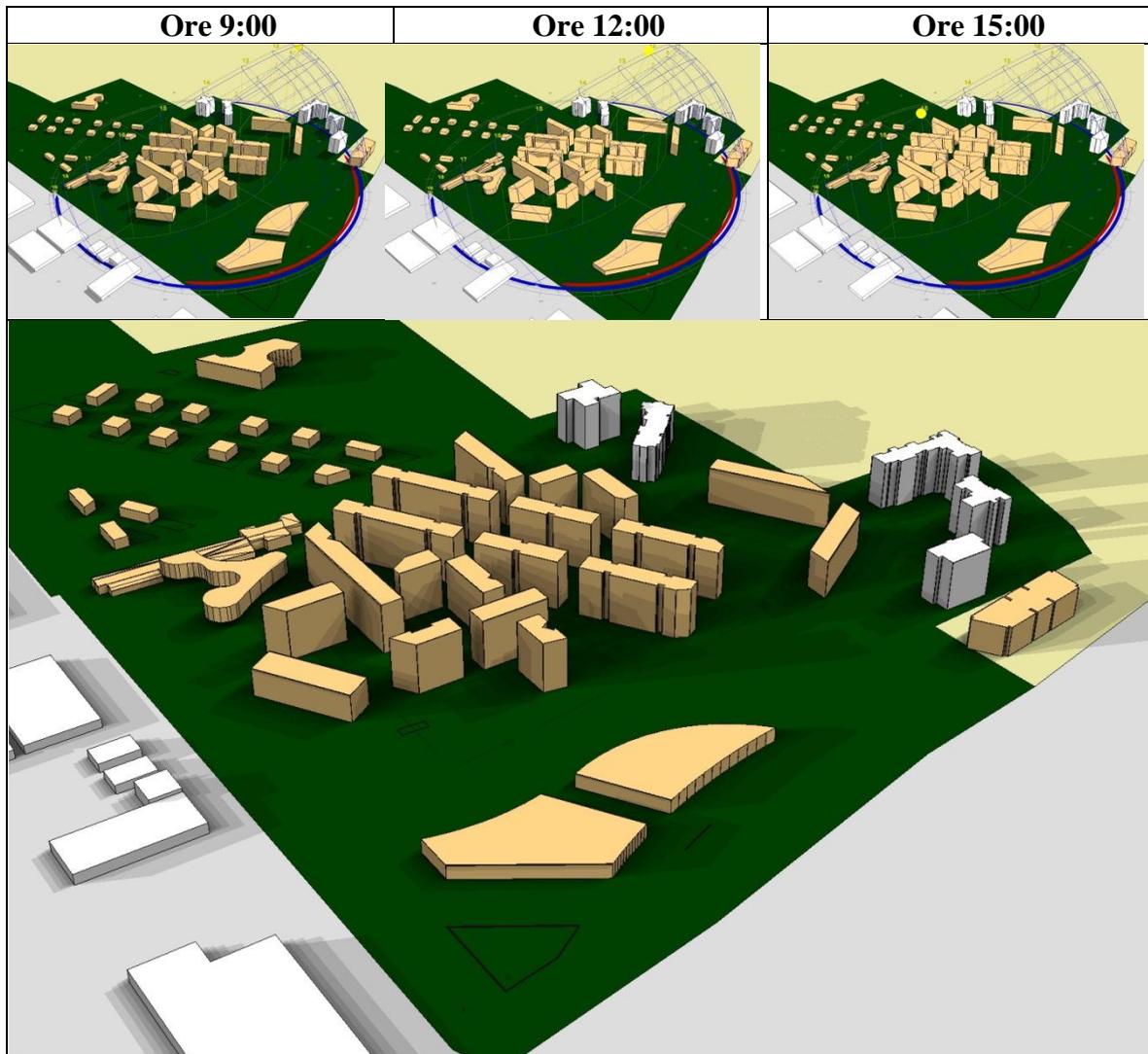
l'ombreggiamento si verifica per un tempo maggiore. Di seguito vengono riportate le immagini relative all'analisi solare appena descritta.



*Figura 2.20 - Viste solari al solstizio d'inverno nei tre momenti più significativi della giornata e sovrapposizione degli ombreggiamenti.*



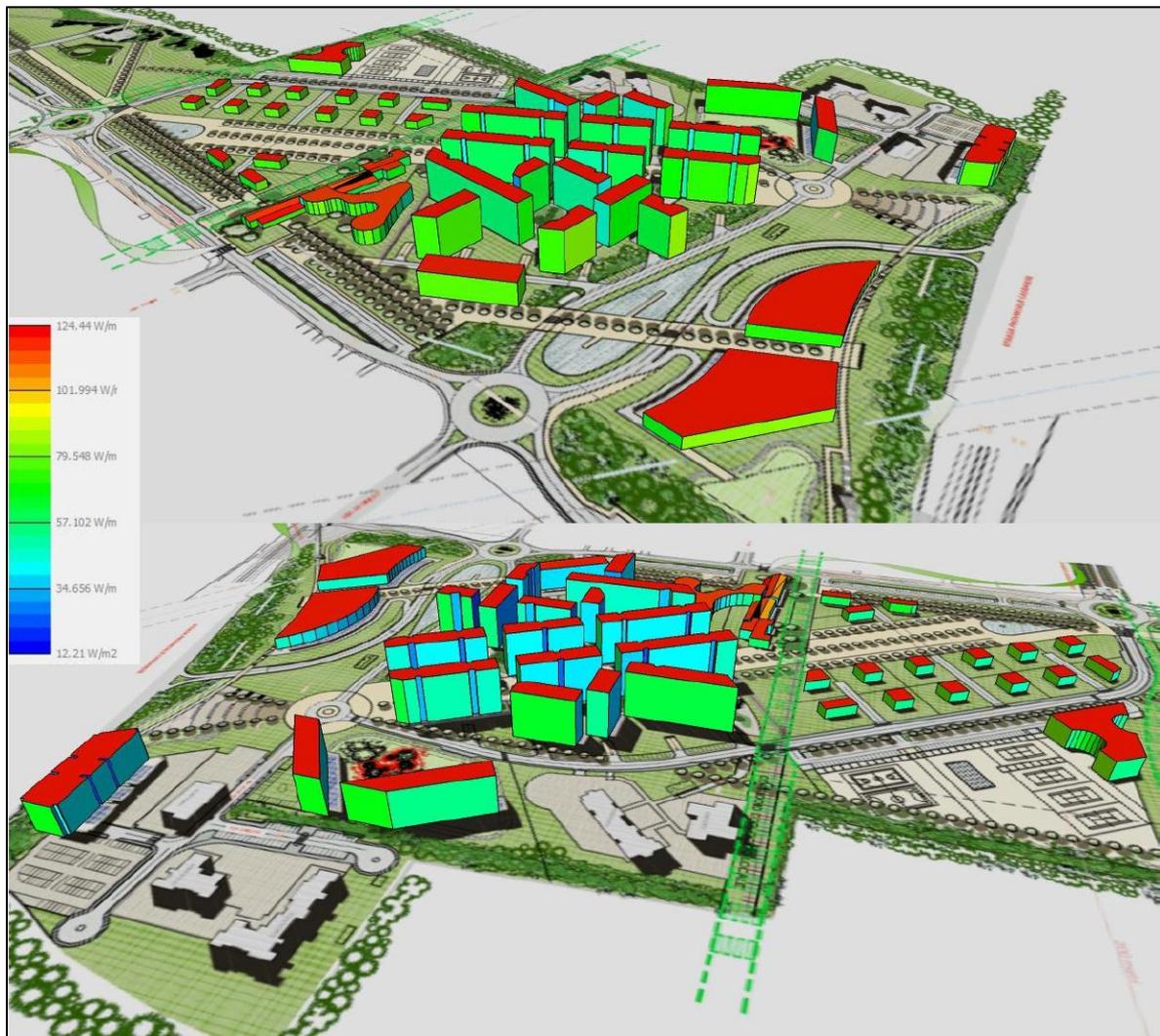
*Figura 2.21 - Viste solari agli equinozi nei tre momenti più significativi della giornata e sovrapposizione degli ombreggiamenti.*



*Figura 2.22 - Viste solari al solstizio d'estate nei tre momenti più significativi della giornata ed inviluppo degli ombreggiamenti.*

Dalle analisi degli ombreggiamenti, si nota come gli edifici unifamiliari e la cascina non siano penalizzati dalla presenza dei complessi multipiano e sia garantito un buon accesso alla radiazione solare. Inoltre, si può affermare che gli edifici in progetto non determinano particolari ombreggiamenti su quelli esistenti. La configurazione degli edifici residenziali multipiano comporta una maggiore entità degli ombreggiamenti reciproci, senza tuttavia inibire significativamente l'accesso alla radiazione solare.

Ulteriori informazioni sul livello di soleggiamento degli edifici sono ottenibili mediante la simulazione della quantità di radiazione solare incidente sulle superfici esterne degli edifici. Tale elaborazione è stata eseguita mediante il motore di calcolo EnergyPlus, con l'ausilio dell'interfaccia BESTenergy, dalla quale si sono estrapolate le immagini di seguito riportate. In esse si rappresenta, per ciascuna superficie, l'irradianza media annua incidente, tenendo conto dei muti effetti di ombreggiamento.



*Figura 2.23 - Rappresentazione dei valori di irraggiamento medio annuo incidente sulle diverse superfici d'involucro*

Dalle elaborazioni effettuate, appare evidente l'attenzione da porre sulle superfici piane di copertura, per le quali, nella stagione estiva, appare consigliabile adottare misure per ridurre l'apporto di calore. Si consiglia, pertanto, di prevedere coperture piuttosto massive e rivestite con materiali con coefficienti di riflessione solare medio – alto. Inoltre appare opportuno installare elementi ombreggianti (che possono essere costituiti da pensiline che fungano contemporaneamente da supporto per i moduli fotovoltaici) o spazi – cuscinetto (come i sottotetti, sicuramente più adatti per gli edifici unifamiliari).

Ulteriore importante strategia sarà l'installazione di sistemi di schermatura mobili ed in grado di modulare l'ingresso della radiazione solare, favorendo il suo sfruttamento nella stagione invernale e limitandolo, nel contempo, durante l'estate, pur senza eliminare l'apporto della radiazione visibile, necessario, soprattutto per gli edifici a terziario, per garantire un buon illuminamento da fonte naturale.

### 3) ANALISI DELLE PRESCRIZIONI NORMATIVE IN MATERIA DI EFFICIENZA ENERGETICA IN EDILIZIA

Nel presente capitolo si riporta una disamina generale della normativa in materia di efficienza energetica degli edifici, effettuando un focus sulle prescrizioni applicabili al caso in esame. In particolare, si descrive di seguito il quadro normativo generale a livello comunitario, nazionale e regionale, elencando successivamente i requisiti e le prescrizioni particolari applicabili al progetto Milano 4 You.

#### 3.1) Analisi generale del quadro normativo

La legislazione comunitaria in materia di efficienza energetica fornisce il quadro degli obblighi giuridici attraverso una serie di direttive, affidandone poi l'attuazione agli Stati membri. Le direttive di riferimento sono la 2002/91/CE (*EPBD - Energy Performance of Buildings Directive*), ufficialmente abrogata dall'1/02/2012, e la 2010/31/UE (*EPBD recast - Energy Performance of Buildings Directive*), attualmente in vigore. Quest'ultimo provvedimento risulta di particolare importanza perché ha introdotto l'obbligo, a partire dall'1/01/2019 per gli edifici pubblici di nuova costruzione e dall'1/01/2021 per le rimanenti nuove edificazioni, del raggiungimento dello standard nZEB (*nearly Zero Energy Buildings*).

Il recepimento delle suddette direttive da parte di parecchi Stati membri è stato in alcuni casi lento. L'Italia ha recepito le prescrizioni della 2002/91/CE mediante il D.Lgs 192/2005, entrato ufficialmente in vigore l'8 ottobre 2005, integrato poi dal D.Lgs 311/2006. Con questi provvedimenti è stato costituito anche un framework normativo all'interno del quale le decisioni finali in materia di prescrizioni energetiche in ambito edilizio spettano alle Regioni, in funzione delle specificità dei loro contesti applicativi.

Nel 2009 è stato pubblicato il D.P.R. 59/2009 che definisce i criteri generali, le metodologie di calcolo e i requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici e degli impianti termici per la climatizzazione invernale e per la preparazione dell'acqua calda sanitaria, oltre alle metodologie di calcolo ed i requisiti minimi per la prestazione energetica degli impianti termici per la climatizzazione estiva e, limitatamente al terziario, per l'illuminazione artificiale degli edifici. Al suo interno vengono anche indicate univocamente le procedure di calcolo nazionali.

Nello stesso anno è stato pubblicato il D.M. 26/06/2009 "*Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*" che ha definito la metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici in accordo con le norme UNI/TS della serie 11300, nonché i criteri per la classificazione energetica.

Nel 2011, in attuazione della Direttiva 2009/28/CE (*Promotion of the use of energy from renewable sources*), è stato invece emanato il D.Lgs 28/2011, particolarmente rilevante poiché ha introdotto l'obbligo di copertura mediante fonti rinnovabili di una frazione del fabbisogno energetico totale degli edifici nuovi o edifici sottoposti a ristrutturazioni rilevanti, con percentuali differenziate in base alla data di presentazione del titolo edilizio<sup>7</sup>. Il medesimo decreto stabilisce anche la potenza elettrica minima degli impianti alimentati da fonti rinnovabili che devono essere installati su ciascun edificio o nelle sue pertinenze.

Il recepimento della Direttiva 2010/31/UE è stato completato a livello nazionale attraverso l'emanazione della Legge 90/2013, attuata attraverso i tre Decreti Interministeriali 26/06/2015, pubblicati in Gazzetta Ufficiale il 15/07/2015. Tali provvedimenti, con i

<sup>7</sup> 20% dal 31/05/2012 al 31/12/2013, 35% dall'1/01/2014 al 31/12/2016 e 50% dall'1/01/2017.

relativi allegati, hanno abrogato il D.P.R. 59/2009 e di fatto completano il quadro normativo in materia di efficienza energetica negli edifici.

Nel dettaglio, il primo decreto è volto alla definizione delle nuove modalità di calcolo della prestazione energetica e i nuovi requisiti minimi di efficienza per i nuovi edifici e quelli sottoposti a ristrutturazione. Il secondo decreto adegua gli schemi di relazione tecnica di progetto al nuovo quadro normativo, in funzione delle diverse tipologie di opere: nuove costruzioni, ristrutturazioni importanti, riqualificazioni energetiche.

Infine, con il terzo decreto sono state aggiornate le linee guida per la certificazione della prestazione energetica degli edifici (APE). Il nuovo modello di APE è valido su tutto il territorio nazionale e offre maggiori informazioni riguardo l'efficienza dell'edificio e degli impianti, consente un più facile confronto sulla qualità energetica di unità immobiliari differenti ed orienta il mercato verso edifici con elevate prestazioni energetiche.

In Regione Lombardia, le prescrizioni introdotte a livello nazionale dai decreti del 26/06/2015 sono state ufficialmente recepite dal Decreto del Dirigente di Unità Organizzativa (D.D.O.) 6480 del 30/07/2015, emanato a seguito della Delibera di Giunta Regionale (D.G.R.) 3868 del 17/07/2015. Il D.D.O. 6480 anticipa, inoltre, all'1/01/2016 le prescrizioni sugli nZEB introdotte a livello comunitario dalla Direttiva 2010/31/UE.

Questi ultimi provvedimenti emanati a livello regionale rappresentano quindi il principale riferimento normativo adottato per individuare i requisiti e le prescrizioni a cui sarà assoggettato l'intervento urbanistico in oggetto.

In conclusione, si cita per completezza anche il Regolamento per il risparmio energetico e l'edilizia ecosostenibile del Comune di Segrate; tale documento, approvato nel 2009, pur contenendo importanti indicazioni in materia di efficienza energetica, non risulta aggiornato al quadro normativo nazionale e regionale precedentemente riassunto. Si ritiene dunque che le soluzioni adottate per il progetto Milano 4 You e successivamente descritte consentano di delineare uno scenario migliorativo rispetto a quanto indicato nel Regolamento comunale.

### **3.2) Requisiti e prescrizioni applicabili al caso in esame**

Sulla base di quanto descritto nel precedente paragrafo, vengono riportati di seguito i requisiti e le prescrizioni applicabili al caso in esame, utilizzati come riferimento per la progettazione del PII Milano 4 You.

Per facilità di comprensione viene effettuata una suddivisione tra requisiti e prescrizioni di carattere generale, prescrizioni specifiche relative invece al sistema edificio-impianto ed all'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili.

#### **3.2.1) Requisiti e prescrizioni generali**

Si elencano di seguito le prescrizioni generali applicabili allo specifico contesto di intervento.

- Nel caso della presenza di reti di teleriscaldamento e /o teleraffrescamento urbano a una distanza inferiore a metri 1.000 dall'edificio oggetto di progettazione, ovvero di progetti di teleriscaldamento approvati nell'ambito di opportuni strumenti pianificatori, in presenza di valutazioni tecnico-economiche favorevoli, è obbligatoria la predisposizione delle opere murarie e impiantistiche, necessarie al collegamento alle predette reti. In ogni caso, la soluzione prescelta deve essere motivata nella relazione tecnica di progetto. Ai fini delle predette valutazioni il fornitore del servizio, su semplice richiesta dell'interessato, è tenuto a dichiarare il costo annuale, comprensivo di imposte e quote fisse, della fornitura dell'energia termica richiesta per un uso standard dell'edificio.

- Negli impianti di teleriscaldamento utilizzando sistemi cogenerativi, il fattore di conversione dell'energia termica prodotta da cogenerazione è calcolato sulla base di bilanci annui e norme tecniche applicabili, facendo riferimento al metodo di allocazione di cui all'Allegato H del D.D.O. 6480.
- Gli impianti di climatizzazione invernale devono essere dotati di sistemi per la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali o nelle singole zone termiche al fine di non determinare sovra riscaldamento per effetto degli apporti solari e degli apporti gratuiti interni. Tali sistemi devono essere assistiti da compensazione climatica; la compensazione climatica può essere omessa ove la tecnologia impiantistica preveda sistemi di controllo equivalenti o di maggiore efficienza o qualora non sia tecnicamente realizzabile.
- Nel caso di impianti termici al servizio di più unità immobiliari è obbligatoria l'installazione di un sistema di contabilizzazione del calore, del freddo dell'acqua calda sanitaria.
- Al fine di ottimizzare l'uso dell'energia negli edifici, per gli edifici a uso non residenziale è reso obbligatorio un livello minimo di automazione per il controllo, la regolazione e la gestione delle tecnologie dell'edificio e degli impianti termici (BACS), corrispondente alla Classe B, come definita nella Tabella 1 della norma UNI EN 15232 e successive modifiche o norma equivalente.

### **3.2.2) Requisiti e prescrizioni relative al sistema edificio-impianto**

Si riassumono di seguito tutti i requisiti e le prescrizioni relative al sistema edificio-impianto applicabili al presente progetto.

#### Contenimento dei consumi per raffrescamento

Al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti, nonché di limitare il surriscaldamento a scala urbana, per le strutture di copertura degli edifici è obbligatoria la verifica dell'efficacia, in termini di rapporto costi-benefici, dell'utilizzo di:

- a. materiali a elevata riflettanza solare per le coperture (cool roof), assumendo per questi ultimi un valore di riflettanza solare non inferiore a:
  - 0,65 nel caso di coperture piane;
  - 0,30 nel caso di coperture a falde.
- b. tecnologie di climatizzazione passiva (a titolo esemplificativo e non esaustivo: free cooling, coperture a verde).
- c. sistemi schermanti delle superfici vetrate, esterni o interni, tali da ridurre l'apporto di calore per irraggiamento solare.

#### Cogenerazione

Il rendimento energetico delle unità di microcogenerazione, espresso dall'indice di risparmio di energia primaria PES (*Primary Energy Saving*), calcolato conformemente a quanto previsto dall'Allegato III del decreto legislativo 8 febbraio 2007, n. 20, misurato nelle condizioni di esercizio (ovvero alle temperature medie mensili di ritorno di progetto) deve risultare non inferiore a 0. Il progettista dovrà inserire nella relazione tecnica di progetto il calcolo dell'indice PES atteso a preventivo su base annua, per la determinazione del quale:

- a. devono essere considerate ed esplicitate le condizioni di esercizio (ovvero le temperature medie mensili di ritorno) in funzione della tipologia di impianto;

b. i dati relativi alle curve prestazionali devono essere rilevati secondo norma UNI ISO 3046.

### Ascensori

Gli ascensori e le scale mobili devono essere dotati di motori elettrici che rispettino il Regolamento (CE) n. 640/2009 della Commissione Europea del 22 luglio 2009 e successive modificazioni, recante modalità di applicazione della direttiva 2005/32/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio in merito alle specifiche per la progettazione ecocompatibile dei motori elettrici.

### Edifici ad energia quasi zero

A decorrere dal 1° gennaio 2016 gli edifici di nuova costruzione di tutte le destinazioni d'uso devono essere edifici a energia quasi zero. Si considerano tali gli edifici per cui sono contemporaneamente rispettati tutti i requisiti elencati di seguito e gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili descritti al paragrafo 3.2.3 del presente documento. Nel dettaglio, devono essere soddisfatte le verifiche elencate di seguito.

### Involucro

Il parametro  $H'_T$  (coefficiente globale di scambio termico dell'involucro) deve risultare inferiore al valore limite riportato nella seguente tabella, calcolato in funzione del rapporto  $S/V$ .

Rapporto di forma (S/V)	$H'_T$ limite
$S/V \geq 0,7$	0,5
$0,7 > S/V \geq 0,4$	0,55
$0,4 > S/V$	0,75

Tabella 3.1 – Valore massimo ammissibile del coefficiente globale di scambio termico  $H'_T$  per edifici di nuova costruzione in zona climatica E ( $W/m^2K$ )

Il parametro  $H'_T$  è calcolato secondo la seguente relazione.

$$H'_T = H_{t,r,adj} / \sum_k A_k$$

Dove:

$H_{t,r,adj}$  è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione dell'involucro [ $W/K$ ];  
 $A_k$  è la superficie del  $k$ -esimo componente (opaco o trasparente) costituente l'involucro [ $m^2$ ].

È inoltre prescritto che il valore della trasmittanza ( $U$ ) delle strutture edilizie di separazione tra edifici o unità immobiliari appartenenti allo stesso fabbricato e confinanti tra loro, climatizzati debba essere inferiore o uguale a  $0,8 W/m^2K$ , nel caso di strutture divisorie verticali e orizzontali. Il medesimo limite deve essere rispettato per tutte le strutture opache, verticali, orizzontali e inclinate, che delimitano verso l'ambiente esterno gli ambienti non dotati di impianto di climatizzazione adiacenti agli ambienti climatizzati. In aggiunta, il rapporto tra l'area solare equivalente estiva dei componenti finestrati e la superficie utile,  $A_{sol,est}/A_{sup}$ , deve risultare inferiore al valore limite riportato nella seguente tabella.

Categoria edificio	Limite $A_{sol,est}/A_{sup}$
Categoria E.1 ed esclusione di collegi, conventi, case di pena, caserme ad edifici appartenenti alla categoria E.1(3)	$\leq 0,030$
Tutti gli altri edifici	$\leq 0,040$

Tabella 3.2 – Valore massimo ammissibile del rapporto tra area solare equivalente estiva dei componenti finestrati e l'area della superficie utile  $A_{sol,est}/A_{sup}$

Il parametro  $A_{sol,est}$  viene calcolato secondo la seguente relazione.

$$A_{sol,est} = \sum_k F_{sh,ob} \times g_{gl+sh} \times (1 - F_F) \times A_{w,p} \times F_{sol,est}$$

Dove:

$F_{sh,ob}$  è il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie vetrata k-esima, riferito al mese di luglio;

$g_{gl+sh}$  è la trasmittanza di energia solare totale della finestra calcolata nel mese di luglio, quando la schermatura solare è utilizzata;

$F_F$  è la frazione di area relativa al telaio, rapporto tra l'area proiettata del telaio e l'area proiettata totale del componente finestrato;

$A_{w,p}$  è l'area proiettata totale del componente vetrato (area del vano finestra) [m<sup>2</sup>];

$F_{sol,est}$  è il fattore di correzione per l'irraggiamento incidente, ricavato come rapporto tra l'irradianza media annuale nel mese di luglio, nella località e sull'esposizione considerata, e l'irradianza media annuale di Roma, sul piano orizzontale.

Gli indici  $EP_{H,nd}$  (indice di prestazione termica utile per il riscaldamento, ovvero del fabbisogno termico invernale dell'involucro edilizio al netto del contributo dei sottosistemi impiantistici),  $EP_{C,nd}$  (indice di prestazione termica utile per il raffrescamento, ovvero del fabbisogno termico estivo dell'involucro edilizio al netto del contributo dei sottosistemi impiantistici) e  $EP_{gl,tot}$  (indice di prestazione energetica globale, espresso in termini di energia primaria, comprensivo del contributo dei sottosistemi impiantistici) devono risultare inferiori ai valori dei corrispondenti indici limite calcolati per l'edificio di riferimento ( $EP_{H,nd,limite}$ ,  $EP_{C,nd,limite}$  e  $EP_{gl,tot,limite}$ ) per il quale i parametri energetici, le caratteristiche termiche e impiantistiche sono definiti nell'Appendice A del presente documento.

Le efficienze dei sottosistemi impiantistici dedicati al riscaldamento, produzione di ACS e raffrescamento, rispettivamente  $\eta_H$ ,  $\eta_W$  e  $\eta_C$ , devono risultare superiori ai valori delle corrispondenti efficienze indicate per l'edificio di riferimento ( $\eta_{H,limite}$ ,  $\eta_{W,limite}$ , e  $\eta_{C,limite}$ ), definito secondo quanto riportato nell'Appendice A del presente documento.

### 3.2.3) Requisiti e prescrizioni relative all'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili

Per quanto riguarda l'utilizzo di fonti rinnovabili, deve essere garantito il rispetto degli obblighi previsti a livello nazionale dall'Allegato 3 del D.Lgs 28/2011, ovvero;

- copertura, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, del 50% del fabbisogno di energia primaria per l'acqua calda sanitaria;
- copertura, tramite il ricorso ad energia prodotta da impianti alimentati da fonti rinnovabili, del 50% della somma dei fabbisogni di energia primaria per l'acqua calda sanitaria, la climatizzazione invernale e la climatizzazione estiva;

- installazione, sopra o all'interno o nelle relative pertinenze dell'edificio, di impianti alimentati da fonti rinnovabili di potenza elettrica, misurata in kW, calcolata secondo la formula:

$$P = 1/K \times S$$

Dove S è la superficie in pianta dell'edificio al livello del terreno, misurata in m<sup>2</sup>, e K è un coefficiente (m<sup>2</sup>/kW) avente valore pari a 50;

Ai fini della verifica degli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili si considera quanto segue:

- gli obblighi non possono essere assolti tramite impianti da fonti rinnovabili che producano esclusivamente energia elettrica la quale alimenti, a sua volta, dispositivi o impianti per la produzione di acqua calda sanitaria, la climatizzazione invernale e la climatizzazione estiva;
- in caso di utilizzo di pannelli solari termici e fotovoltaici disposti sui tetti degli edifici, i predetti componenti devono essere aderenti o integrati nei tetti medesimi, con la stessa inclinazione e lo stesso orientamento della falda;
- gli obblighi relativi all'installazione, sopra o all'interno o nelle relative pertinenze dell'edificio, di impianti alimentati da fonti rinnovabili della potenza elettrica minima precedentemente indicata, non si applicano qualora l'edificio sia allacciato ad una rete di teleriscaldamento che ne copra l'intero fabbisogno di calore per la climatizzazione invernale e la fornitura di acqua calda sanitaria; tali obblighi sono incrementati del 10% per gli edifici pubblici.

Per quanto riguarda gli obblighi precedentemente introdotti è utile analizzare le definizioni riportate nell'Allegato H del D.D.O. 6480, con particolare riferimento alle seguenti prescrizioni:

- L'edificio è definito come l'insieme del fabbricato e dei sistemi tecnici installati nelle sue pertinenze per il soddisfacimento dei fabbisogni energetici considerati.
- Il confine del sistema edificio è il confine che include il fabbricato o la porzione di fabbricato oggetto di valutazione e i sistemi tecnici a servizio del fabbricato e installati al suo interno, su di esso e/o nelle sue pertinenze.
- Il confine di valutazione è invece il confine sul quale viene effettuato il bilancio energetico dell'edificio. Tale confine è quello rispetto al quale vengono misurate o computate le quantità di energia consegnate (importate) ed eventualmente esportate (se l'edificio autoproduce qualche tipo di vettore energetico e non lo utilizza completamente internamente).

Si noti come il confine del sistema ed il confine di valutazione coincidono solo in assenza di apparati per lo sfruttamento delle fonti di energia rinnovabile in situ. La Figura seguente illustra la differenza tra i due confini e tra apparati per lo sfruttamento delle fonti di energia rinnovabile installati in situ o ex situ, cioè internamente ed esternamente alle pertinenze dell'edificio.

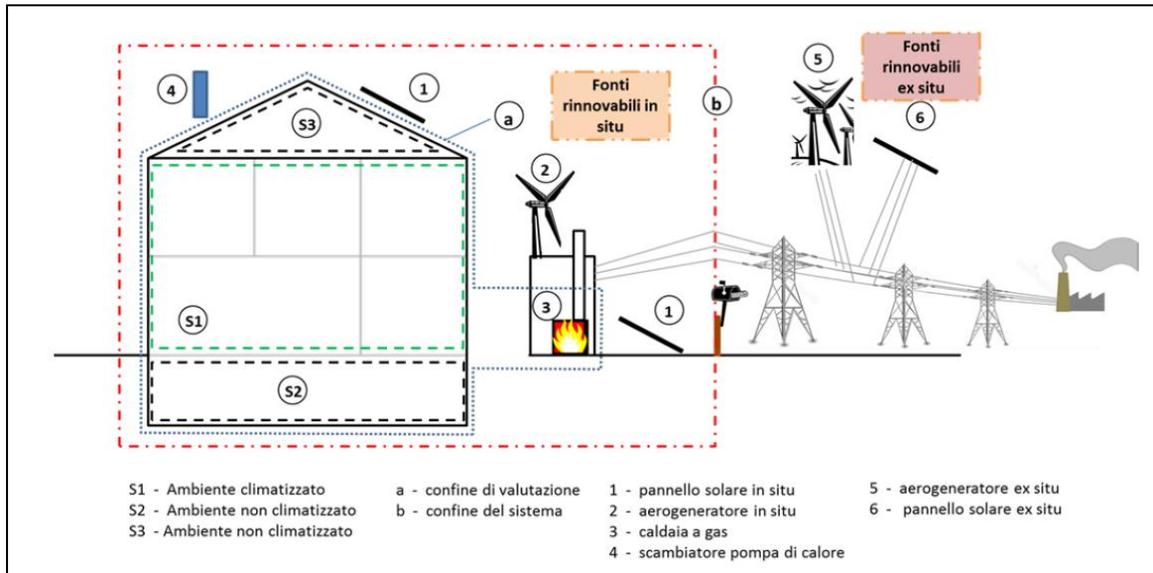


Figura 3.1 – Rappresentazione del confine di sistema e del confine di valutazione

I fabbisogni di energia finale dell'edificio possono essere soddisfatti attraverso:

- energia prodotta da fonte rinnovabile ottenuta installando gli apparati di conversione, parte integrante dei sistemi tecnici dell'edificio, all'interno del confine del sistema, definita energia finale rinnovabile prodotta "in situ";
- energia finale consegnata attraverso il confine del sistema da vettori energetici che possono essere prodotti sia da fonti non rinnovabili di energia sia da fonti rinnovabili.

Nel dettaglio, si considerano fonti rinnovabili di energia in situ:

- l'energia solare captata entro il confine del sistema da collettori solari e/o pannelli fotovoltaici;
- l'energia cinetica del vento intercettata entro il confine del sistema da generatori eolici;
- l'energia termica (aerotermica, geotermica, idrotermica) posseduta da aria, sottosuolo e acque di superficie e di falda che si trovino entro il confine del sistema.

Attraverso l'impiego delle fonti rinnovabili di energia in situ si può quindi produrre sia energia termica sia energia elettrica. Tali energie costituiscono i vettori energetici rinnovabili prodotti in situ che attraversano il confine di valutazione già nella forma di energia utile.

Di contro, i vettori energetici che attraversano il confine del sistema possono essere sia già in forma di energia utile (acqua calda o fredda da teleriscaldamento o teleraffreddamento, energia elettrica) sia in forme che necessitano la successiva conversione ai fini degli usi finali (gas, biomassa, ecc.). Il sottosistema tecnico di generazione dell'edificio converte tali vettori in energia termica oppure, con generazione combinata (cogenerazione), in energia termica ed elettrica.

Il calcolo dell'energia estratta da fonti rinnovabili ex situ e da fonti non rinnovabili che corrisponde ai vettori energetici, rinnovabili e non rinnovabili, consegnati è effettuato tramite opportuni fattori di conversione in energia primaria, secondo quanto riportato nell'Appendice B del presente documento.

Nella seguente immagine si riporta uno schema concettuale di quanto appena descritto.

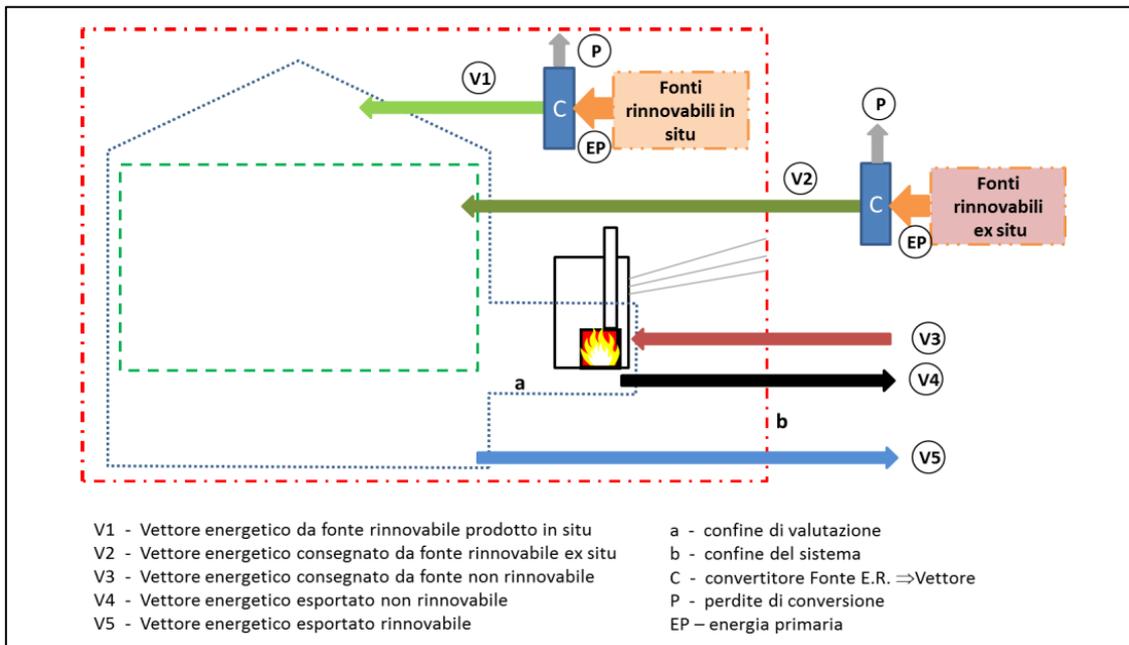


Figura 3.2 – Vettori energetici consegnati, esportati e prodotti in situ o ex situ

Il calcolo della quota di fabbisogno coperta mediante fonti rinnovabili e riferita ad un determinato servizio (ad esempio, produzione di ACS) viene effettuato utilizzando la seguente formula:

$$QER_S = E_{P,S,ren} / E_{P,S,tot}$$

Dove:

$E_{P,S,ren}$  è l'energia primaria rinnovabile riferita ad un determinato servizio, calcolata secondo la metodologia di calcolo riportata nell'Allegato H del D.D.O. 6480 utilizzando i fattori di conversione in energia primaria rinnovabile  $f_{P,x,ren}$  per ciascun vettore energetico consegnato o esportato, indicati nell'Appendice B del presente documento.

$E_{P,S,tot}$  è l'energia primaria totale riferita ad un determinato servizio, calcolata secondo la metodologia di calcolo riportata nell'Allegato H del D.D.O. 6480 utilizzando i fattori di conversione in energia primaria rinnovabile  $f_{P,x,tot}$  per ciascun vettore energetico consegnato o esportato, indicati nell'Appendice B del presente documento.

La quota di energia coperta da fonti rinnovabili per l'intero edificio, e quindi per la totalità degli  $N_s$  servizi presenti (ad esempio riscaldamento, raffrescamento e produzione di ACS) è calcolata con la seguente formula.

$$QER = \sum E_{P,S,ren} / \sum E_{P,S,tot}$$

Dove  $E_{P,S,ren}$  e  $E_{P,S,tot}$  sono rispettivamente i fabbisogni di energia rinnovabile e totale riferiti al singolo servizio, precedentemente definiti.

#### 4) IL SISTEMA EDIFICIO-IMPIANTO

Il progetto dell'insediamento Milano 4 You, come già introdotto, mira a sviluppare e validare un modello estremamente evoluto di edilizia, fortemente condizionato dalle logiche di sostenibilità ambientale, economica e sociale che, al giorno d'oggi, rappresentano l'imprescindibile presupposto per un'Architettura capace di rispondere concretamente alle necessità della società contemporanea. In quest'ottica, la prestazione energetica degli edifici, e quindi anche le relative ricadute in termini di impatti ambientali e costi di gestione, assumono un ruolo di primaria importanza.

Le costruzioni che sorgeranno nel nuovo quartiere espliciteranno l'ambizione di rappresentare il livello di eccellenza attualmente raggiungibile in termini di efficienza, eco-compatibilità e sfruttamento delle fonti rinnovabili, ma non solo. In una prospettiva di sviluppo avanzato, infatti, si suppone che l'orizzonte temporale corrispondente alla realizzazione di Milano 4 You consentirà di beneficiare degli ulteriori avanzamenti tecnologici rispetto allo stato dell'arte attesi per i prossimi anni.

Alla luce di queste considerazioni, l'intero progetto urbanistico ed architettonico sarà fondato sulla ridefinizione innovativa del sistema edificio-impianto-città, volta a conseguire efficaci sinergie operative a scala di quartiere, tese alla riduzione dei consumi complessivi ed all'eliminazione dei fenomeni di disaccoppiamento tra domanda ed offerta di elettricità e calore. L'obiettivo finale, estremamente lungimirante, è, quindi, il raggiungimento di una concreta efficienza energetica (ed economica) che possa fungere da metro di paragone e stimolo non solo per la realizzazione in oggetto, ma anche per tutte le trasformazioni dell'ambiente costruito previste nel prossimo futuro, con particolare riferimento al contesto lombardo.

In questo senso, i principali temi che verranno affrontati nella progettazione complessiva dell'insediamento possono essere individuati nei seguenti punti:

- prestazioni energetiche degli involucri;
- efficienza energetica dei sistemi impiantistici;
- integrazione edilizia dei sistemi per lo sfruttamento delle rinnovabili;
- generazione e distribuzione energetica a scala di quartiere;
- sistemi di accumulo;
- sistemi di controllo e regolazione;
- metodologie e sistemi di programmazione e gestione dei carichi;
- tecniche e tecnologie di interscambio e distribuzione.

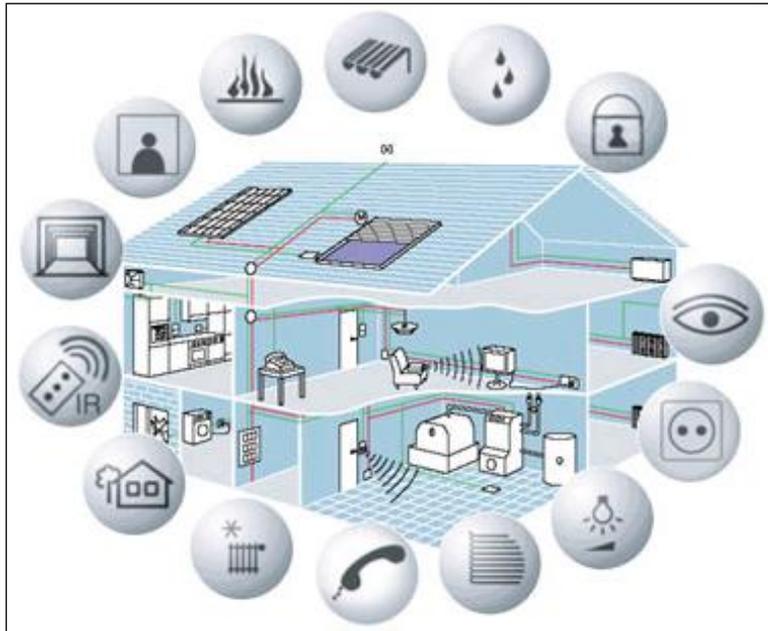


Figura 4.1 – Applicazioni energetiche dell'edificio

Queste tematiche non saranno trattate in modo disgiunto, ma piuttosto inserite in un quadro organico, capace di evidenziarne le singole caratteristiche e potenzialità anche e soprattutto alla luce delle necessarie applicazioni sinergiche.

In sostanza, la gestione e l'efficienza dello sfruttamento dell'energia all'interno dell'insediamento saranno organizzate secondo una logica olistica, che si tradurrà in un unico sistema articolato, caratterizzato da tanti nodi di produzione e/o consumo interconnessi, rappresentati a loro volta dagli edifici e dagli impianti di generazione sia localizzata che distribuita.

Le unità funzionali principali saranno costituite proprio dai fabbricati, residenziali e terziari, che saranno concepiti secondo i principi del Progetto Integrato, in qualità di organismi multifunzionali (energivori ed energigeni). L'impostazione funzionale degli edifici sarà basata sulla cosiddetta Piramide di Butera<sup>8</sup>, che attribuisce priorità innanzitutto alla minimizzazione dei fabbisogni energetici, conseguibile attraverso un'opportuna strutturazione dell'oggetto architettonico (forma, involucro, orientamenti, materiali, ecc.). Ottenuto questo primo traguardo, gli usi energetici, prima tra tutti la climatizzazione, devono essere serviti da dotazioni impiantistiche ad alta efficienza, capaci di valorizzare le scelte progettuali di base e trarne il massimo vantaggio. Dopodiché, solo dopo aver soddisfatto i primi due requisiti, è ragionevole ricorrere all'utilizzo delle fonti rinnovabili, ambientalmente pregiate, per la copertura dei consumi finali. Secondo questo paradigma, il microsistema energetico rappresentato dall'edificio è organizzato in maniera tale da evitare sprechi ed inefficienze, sfruttando le potenzialità e le sinergie delle varie tecnologie costruttive ed impiantistiche selezionate, a vantaggio di un'efficienza complessiva estremamente elevata e razionale.

Per quanto riguarda la rispondenza normativa, tutti gli edifici del nuovo quartiere saranno certificati in classe A3 o A4, anche se si ritiene che il loro specifico livello prestazionale sarà decisamente superiore rispetto a costruzioni omologhe ma sviluppate senza l'applicazione delle metodologie avanzate, appositamente messe a punto ed applicate al presente progetto.

<sup>8</sup> Federico M. Butera, "Zero-energy buildings: the challenges", Advances in Building Energy Research, 2013.

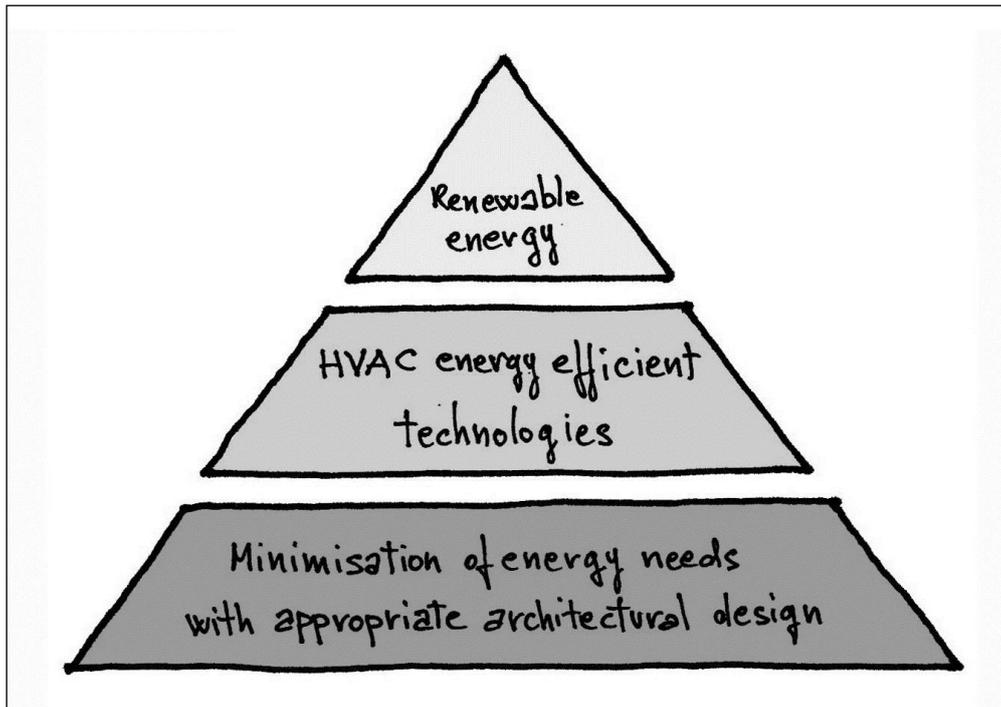


Figura 4.2 – Piramide di Butera

Pur essendo caratterizzato da elevati livelli di innovazione tecnologica, che saranno incrementati anche attraverso specifiche applicazioni sperimentali, Milano 4 You è stato comunque concepito come un “insediamento per la gente”, in cui le prestazioni estremamente avanzate saranno accompagnate da costi decisamente abbordabili e spese di gestione contenute. Il progetto recepisce infatti appieno la Direttiva Europea 2010/31/UE, (*EPBD recast - Energy Performance of Buildings Directive*), che definisce i principi relativi al miglioramento della prestazione energetica degli edifici, ma richiede contemporaneamente che i relativi requisiti minimi siano definiti e rispettati nell’ottica del raggiungimento di livelli ottimali di costo.

In questo senso, la progettazione architettonica ed energetica sarà organizzata secondo un processo circolare ed iterativo che, attraverso analisi multicriterio, consentirà il perfezionamento progressivo delle ipotesi realizzative, fino a convergere sulle soluzioni migliori in termini di prestazione, costo e sostenibilità.

La metodologia adottata (Progetto Integrato Circolare) è stata sviluppata dal Politecnico di Milano per conto della divisione delle Nazioni Unite UN-Habitat<sup>9</sup> e rappresenta uno degli strumenti decisionali attualmente più avanzati nel campo dell’Architettura Sostenibile.

Per ogni singolo edificio, partendo dal *concept* architettonico, si procederà alla simulazione dei flussi energetici correlati all’involucro (dispersioni, guadagni, ventilazione, daylighting). Le analisi verranno effettuate utilizzando modelli in regime dinamico, decisamente più precisi ed affidabili di quelli in regime stazionario attualmente adottati per le normali attività di certificazione energetica.

<sup>9</sup> F. M. Butera, N. Aste, R. S. Adhikari “Sustainable Building Design For Tropical Climates - Principles and Applications for Eastern Africa”, UNON, Publishing Services Section, Nairobi, 2015.

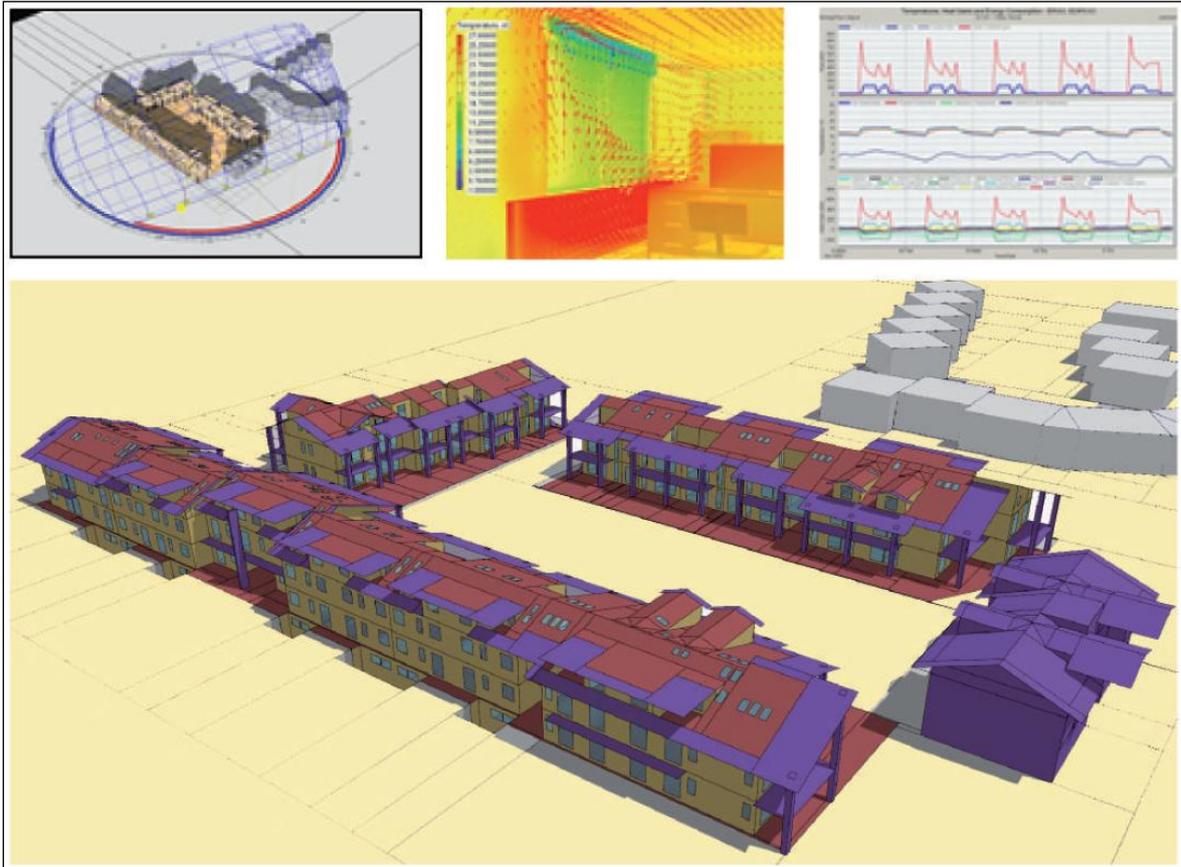


Figura 4.3 – Simulazioni energetiche in regime dinamico

Sulla base delle risultanze della prima fase si procederà poi alla selezione ed alla configurazione della dotazione impiantistica ed alla stima dei consumi effettivamente riscontrabili in condizione operativa. Tutti i dati, diversamente dalle pratiche professionali più comuni, verranno calcolati in modo puntuale ad intervalli orari o sub-orari e non si farà riferimento a valori medi. In questo modo si otterranno proiezioni assolutamente veritiere delle reali prestazioni attese.

Una volta definiti e ridotti al minimo i consumi previsti per la gestione dell'edificio, si procederà alla verifica della loro copertura da fonte rinnovabile ed alla configurazione dei relativi impianti tecnici, sia a scala di edificio (fotovoltaico, geotermia), che a scala di distretto (biomassa, fotovoltaico, geotermia).

L'ultima (ma non definitiva) fase del processo è rappresentata dall'accertamento della fattibilità economica (costi di costruzione e costi operativi). Solo a questo punto è possibile stabilire se il bilancio tecnico-energetico-economico ha raggiunto i traguardi prefissati e, in caso di esito negativo, o meglio non ottimale, la procedura viene reiterata per affinamenti successivi fino al soddisfacimento risolutivo degli obiettivi di progetto.

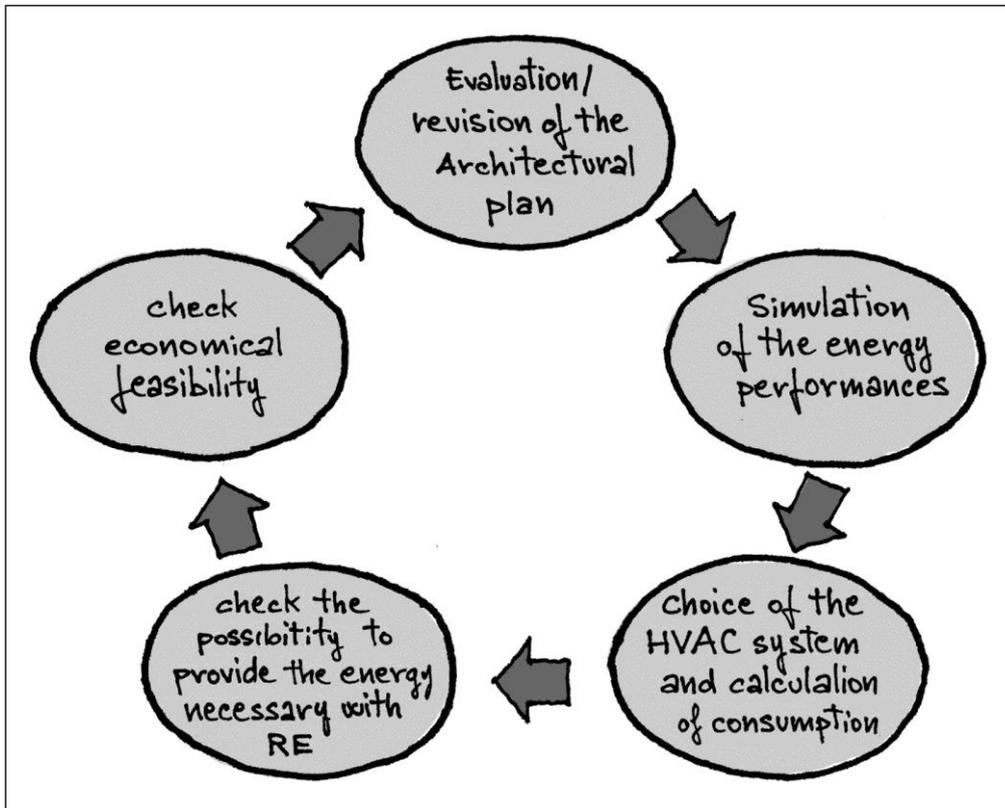


Figura 4.4 – Metodologia operativa del Progetto Integrato Circolare

Se l'unità di base dell'intero progetto è rappresentata dal singolo edificio, non bisogna dimenticare che l'approccio sistemico che caratterizza la progettazione di Milano 4 You considera il quartiere come un insieme articolato ed organico, sviluppato secondo un'armonia funzionale complessiva. In un tale contesto, la progettazione architettonica non rappresenta altro che un approfondimento, ad una scala di maggior dettaglio, dell'intera progettazione urbanistica. Anche quest'ultima viene sviluppata secondo una logica consequenziale che parte, in primis, dal programma generale dell'intervento, definito in base ai vincoli tecnici, economici, legislativi ed ambientali, e cioè da tutte le condizioni al contorno che hanno ripercussioni sulla fattibilità e la qualità dell'operazione.

Solo dopo un'attenta analisi di vincoli, opportunità ed obiettivi si passa alla progettazione del sistema-quartiere, costituito non dalla somma dei singoli fabbricati, ma dalla loro integrazione spaziale, formale e funzionale. Dal punto di vista energetico, ad esempio, sono stati studiati nel dettaglio gli orientamenti, le interdistanze, i rapporti soleggiamento-ombreggiamento, la ventilazione locale e tutti i fattori che influenzano la prestazione complessiva, al fine di strutturare la migliore configurazione possibile.

Il passo successivo è rappresentato dallo studio della forma e dell'organizzazione spaziale delle differenti costruzioni, in funzione dell'inserimento nel contesto, della destinazione d'uso e della prestazione specifica attesa.

Conseguentemente si passerà alla progettazione degli involucri, con particolare riferimento alle facciate, vere e proprie membrane interattive che mettono in relazione l'ambiente interno con quello esterno e ne determinano il rapporto funzionale.

Un ulteriore avanzamento del processo consiste, poi, nella scelta dei materiali di tetti, basamenti e facciate, che dovranno garantire i requisiti prefissati di selettività, isolamento ed inerzia termica, ma anche le prescrizioni in materia di salute e sicurezza e di sostenibilità (energia incorporata, riciclabilità, ecc.).

A conclusione del percorso progettuale si passa, infine, alla definizione dell'apparato impiantistico per climatizzazione, illuminazione, approvvigionamento di acqua e servizi generali e, a questo punto, il *concept* sviluppato è pronto per essere immesso nella procedura di affinamento del Progetto Integrato Circolare, precedentemente illustrata.

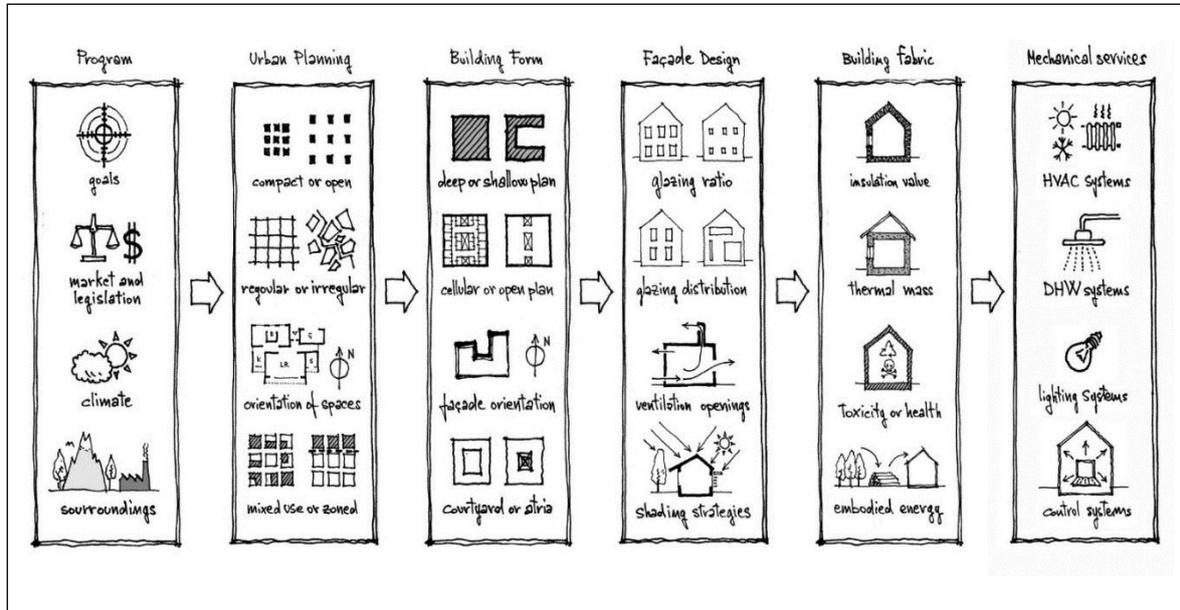


Figura 4.5 – Progettazione integrata per approfondimenti progressivi

## 5) ASSETTO ENERGETICO A SCALA DI EDIFICIO

Nel seguente capitolo viene descritto l'assetto energetico definito a scala di edificio nella progettazione di Milano 4 You, indicando tutti i dettagli relativi all'involucro, ai sistemi impiantistici interni ed ai sistemi di automazione e regolazione.

### 5.1) Involucro edilizio

Dalle analisi preliminari effettuate, si è delineata una configurazione dell'involucro edilizio ottimale a cui ci si può attenere al fine di garantire l'ottenimento delle prestazioni energetiche di alto livello volute. I parametri termofisici associati ai componenti sono anche stati verificati dal punto di vista dei limiti normativi, garantendo, specialmente, i limiti imposti per i coefficienti di dispersione termica specifica ( $H't$ ), per la cui trattazione si rimanda al Capitolo 3.

In particolare, i componenti opachi disperdenti sono stati definiti in modo da garantire una trasmittanza termica pari a  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$  ed una capacità termica di livello medio-alto, compresa indicativamente tra  $65$  e  $85 \text{ kJ/m}^2\text{K}$ . In merito a quest'ultimo punto, pur non essendo previsti dei requisiti normativi per la località in oggetto, si è comunque scelta per gli edifici un'inerzia termica medio-alta, allo scopo di garantire un miglior comportamento energetico dell'edificio in regime dinamico (il cui reale beneficio è stato valutato mediante sofisticate simulazioni al calcolatore), e maggiori livelli di comfort, specialmente nella stagione estiva.

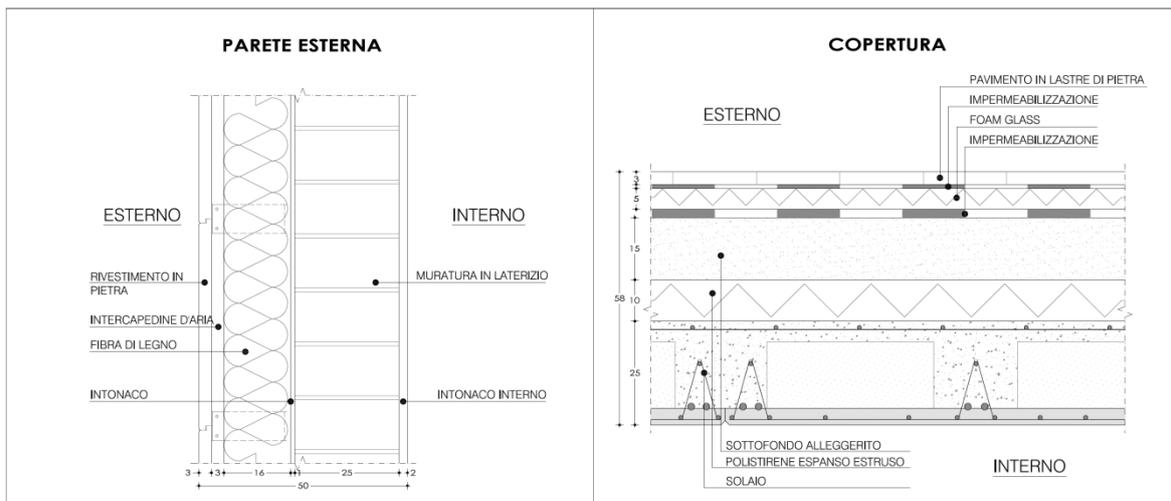


Figura 5.1 - Esempio di stratigrafia di parete e di copertura conformi alle caratteristiche prestazionali sopra descritte

Per quanto riguarda la geometria dell'involucro, si sono calcolati dei rapporti ottimali tra l'estensione della superficie trasparente e quella totale delle pareti verticali esterne. Tali valori sono stati distinti tra edifici residenziali e non, in quanto le diverse destinazioni presentano esigenze differenti, con particolare riferimento ai livelli di illuminazione. Nel dettaglio, tali rapporti vetro/opaco sono stati definiti come segue:

- 15% per edifici residenziali;
- 50% per gli edifici non residenziali.

Per lo stesso motivo, si sono anche differenziate le caratteristiche ottiche e termofisiche dei componenti trasparenti relativamente alle due destinazioni funzionali. In linea generale, si

è optato per vetri chiari di tipo selettivo, garantendo, pertanto una limitazione dell'ingresso degli apporti solari pur mantenendo una buona trasmissione della radiazione visibile, al fine di favorire l'illuminamento naturale. In particolare, per le vetrate installate negli edifici residenziali si è assunto quanto segue:

- trasmittanza termica media complessiva dei serramenti ( $U_w$ ):  $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- fattore solare (g): 0,47;
- coefficiente di trasmissione luminosa ( $\tau_v$ ): 0,6.

I sistemi di schermatura solare, previsti su tutti i componenti trasparenti come da normativa vigente, consistono in elementi esterni avvolgibili (es. tapparelle o tessuti tecnici), le cui caratteristiche sono state verificate in merito al rispetto del rapporto  $A_{\text{sol,est}}/A_{\text{sup utile}}$  (come indicato nel Capitolo 3).

Negli edifici non residenziali, invece, tenendo conto delle esigenze dell'attività svolta e dei sistemi di schermatura dinamica ipotizzati, si è ritenuta più adeguata l'applicazione di componenti trasparenti caratterizzati dai seguenti parametri termo-fisici:

- trasmittanza termica media complessiva dei serramenti ( $U_w$ ):  $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;
- fattore solare (g): 0,61;
- coefficiente di trasmissione luminosa ( $\tau_v$ ): 0,8.

In questo caso, al fine di gestire efficientemente gli apporti solari ed il livello di daylighting all'interno delle zone termiche, si è prevista l'installazione di sistemi esterni di schermatura solare mobili, costituiti da veneziane avvolgibili dotate di lamelle orientabili, la cui logica di controllo viene gestita da un sistema di controllo adattivo-predittivo. Analogamente agli edifici residenziali, tale previsione soddisfa i requisiti della normativa vigente in merito all'efficacia dei sistemi di schermatura, di cui si è trattato nel Capitolo 3.

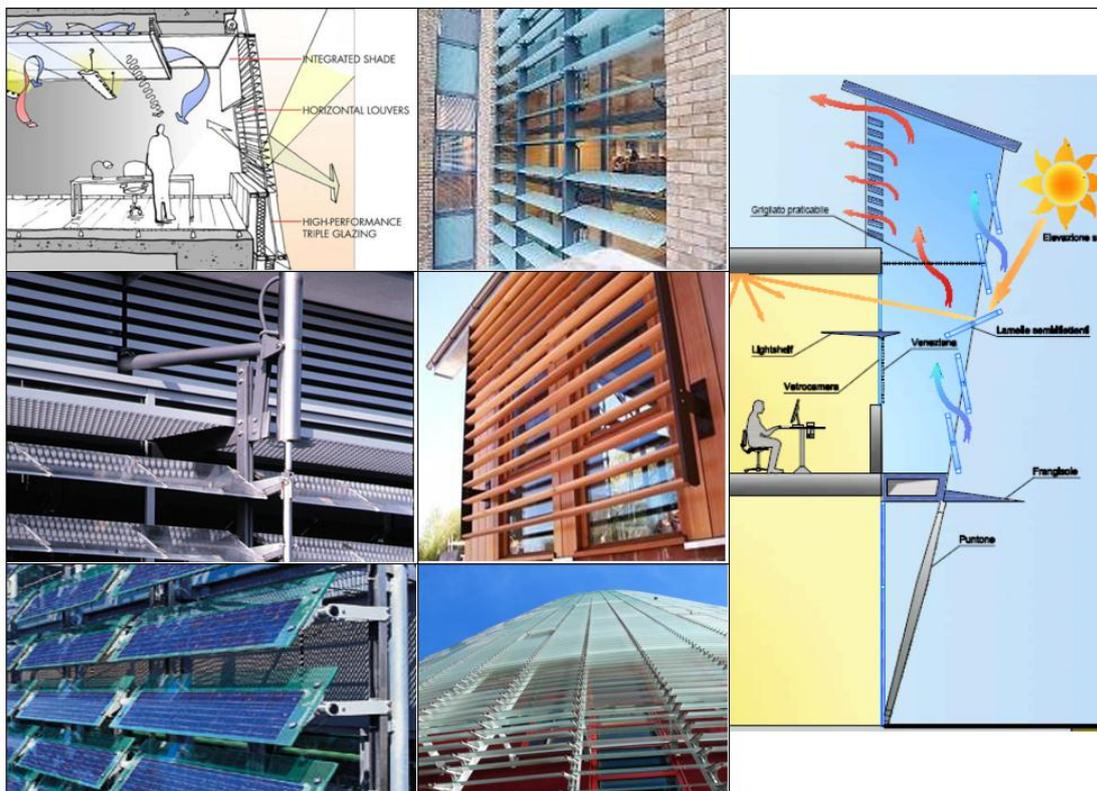


Figura 5.2 - Esempi applicativi dei citati sistemi di schermatura solare mobile.

## 5.2) Sistemi impiantistici

I sistemi impiantistici interni appartenenti alla dotazione degli edifici sono stati studiati e differenziati in funzione delle diverse destinazioni d'uso, tenendo conto delle peculiarità delle attività svolte dall'utenza.

Negli edifici residenziali, si prevede che i dispositivi terminali di emissione siano realizzati attraverso un sistema di pannelli radianti a pavimento, sia per l'impianto di riscaldamento che per quello di raffrescamento. Per quest'ultimo servizio, essi sono integrati da sistemi di deumidificazione allo scopo di controllare l'umidità relativa degli ambienti ed evitare formazione di condensa. Tale configurazione, piuttosto inerziale, ben si adatta a situazioni con carichi relativamente costanti come quelli delle abitazioni. Consente, inoltre, di mantenere più contenute le differenze di temperatura tra il fluido termovettore e l'aria, oltre a garantire una distribuzione omogenea della temperatura, annullando, di fatto le cause di discomfort locale. Inoltre, le temperature di mandata piuttosto contenute ottimizzano anche i rendimenti delle pompe di calore incluse nei sistemi di generazione.

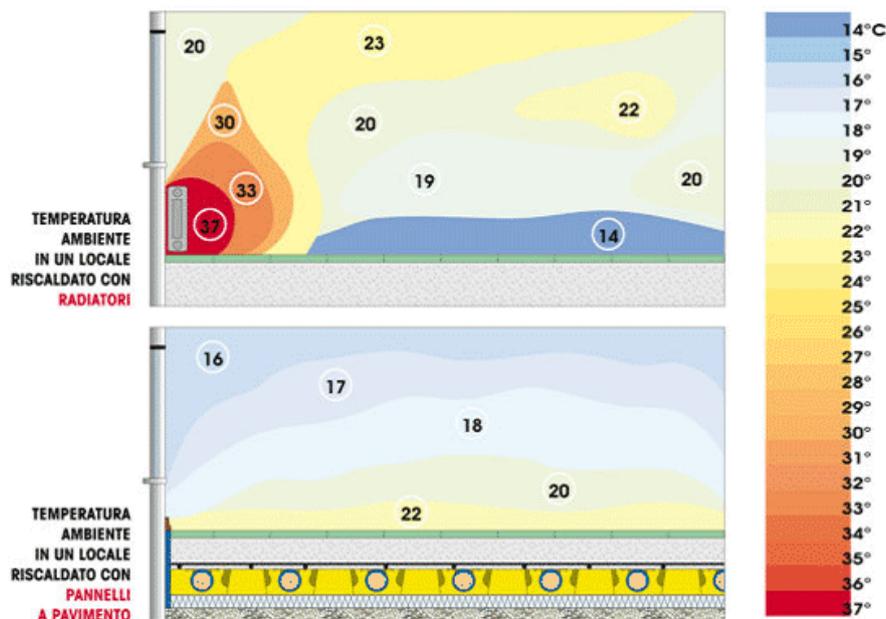


Figura 5.3 - Raffronto tra le distribuzioni spaziali dei valori di temperatura in un ambiente riscaldato mediante radiatori ed uno mediante pannelli radianti.

La ventilazione degli ambienti, infine, avviene preferibilmente senza l'ausilio di sistemi meccanici, demandando, pertanto, tale funzione all'apertura delle finestre da parte degli occupanti.

Negli edifici non residenziali, invece, si prevede l'impiego di ventilconvettori, i quali, grazie alla loro velocità di risposta, appaiono più adeguati in situazioni in cui i carichi termici possono variare rapidamente, come ad esempio gli spazi destinati ad uffici.

L'aerazione degli ambienti avviene in questo caso mediante un sistema di ventilazione meccanica controllata a doppio flusso con recupero di calore per la ventilazione/trattamento dell'aria. Tale sistema è stato previsto in ragione delle consistenti portate d'aria richieste, a fronte delle quali il recupero del calore dall'aria esausta fornisce un considerevole risparmio di energia, soprattutto durante la stagione di riscaldamento.

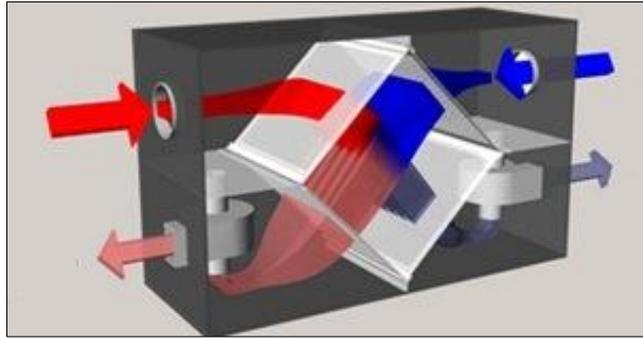


Figura 5.4 - Schema del recupero termico operato da uno scambiatore a piastre integrato in un sistema di ventilazione meccanica

### 5.3) Sistemi di automazione, regolazione e gestione tecnica

Le funzioni di automazione, regolazione e gestione tecnica degli edifici, generalmente identificate in maniera sintetica con gli acronimi BACS (*Building Automation and Control System*) e TBM (*Technical Building Management*), influenzano significativamente le prestazioni energetiche, agendo in particolare sul controllo del riscaldamento, del raffrescamento, della ventilazione, dell'acqua calda sanitaria, delle apparecchiature di illuminazione e dei sistemi di schermatura solare.

Inoltre, la gestione delle funzioni tecniche (TBM) agisce sul funzionamento, sulla manutenzione e sui servizi presenti all'interno dell'edificio tramite misurazioni, registrazioni di dati, segnalazioni di allarme e diagnostica automatica.

L'introduzione di BACS e TBM è legata alla necessità, da parte di diverse tipologie di utenza, di gestire funzioni complesse ed integrate per il risparmio energetico, configurate sulla base delle specifiche condizioni operative e delle reali esigenze, al fine di garantire in primo luogo l'uso razionale dell'energia, ma anche di prevenire malfunzionamenti o di diagnosticarli in maniera facile ed immediata.

Per questi motivi, ai BACS viene associato un potenziale di efficienza energetica che può essere valutato secondo le modalità descritte all'interno della norma UNI EN 15232:2012 "Prestazione energetica degli edifici - Incidenza dell'automazione, della regolazione e della gestione tecnica degli edifici", la quale definisce quattro diverse classi di efficienza dei sistemi BACS, determinate a partire dalle specifiche funzioni, sia in ambito residenziale che non residenziale:

1. Classe D "NON ENERGY EFFICIENT": sistemi obsoleti o che funzionano in maniera non corretta;
2. Classe C "STANDARD": sistemi dotati di funzioni basilari, assunte come riferimento minimo in termini di dotazione;
3. Classe B "ADVANCED": sistemi dotati di funzioni di livello avanzato, in grado di far comunicare il sistema di gestione centralizzata con i vari sottosistemi;
4. Classe A "HIGH ENERGY PERFORMANCE": sistemi dotati di funzioni in grado di garantire elevata efficienza energetica e di agire in maniera integrata rispetto alle specificità dell'utenza.

Attualmente, come già introdotto nel Capitolo 3, la normativa vigente prescrive la presenza, negli edifici di nuova costruzione con destinazione d'uso non residenziale, di sistemi di automazione di classe B come dotazione minima di legge. Pertanto, le classi ammissibili attualmente, nel caso di nuove costruzioni, sono la A e la B, identificate dalle caratteristiche riportate di seguito.

In modo più virtuoso di quanto previsto dalla normativa vigente, nel progetto Milano 4 You si prevede di adottare BACS in classe A per tutte le destinazioni d'uso non residenziali e classe B per quelle residenziali, secondo le specifiche descritte nella seguente tabella.

<b>Funzione</b>	<b>Classe BACS</b>	<b>Classe BACS</b>
<b>CONTROLLO RISCALDAMENTO</b>	<b>B (edifici residenziali)</b>	<b>A (edifici non residenziali)</b>
<u>Controllo di emissione</u>	Controllo automatico di ogni ambiente con comunicazione tra i regolatori e verso il BACS	Controllo integrato di ogni locale con gestione di richiesta (per occupazione, qualità dell'aria, etc.)
<u>Controllo temperatura acqua nella rete di distribuzione (mandata e ritorno)</u>	Controllo in base alla temperatura esterna	Controllo in base alla temperatura interna ed esterna
<u>Controllo delle pompe di distribuzione</u>	Controllo pompa a velocità variabile con prevalenza costante	Controllo pompa a velocità variabile con prevalenza proporzionale
<u>Controllo intermittente della generazione e distribuzione</u>	Controllo automatico con partenza/arresto ottimizzato	Controllo con valutazione della domanda
<b>CONTROLLO ACQUA CALDA SANITARIA</b>	<b>B (edifici residenziali)</b>	<b>A (edifici non residenziali)</b>
<u>Controllo della temperatura dell'accumulo ACS</u>	Controllo automatico ON/OFF, programmazione del processo di carica nel tempo e sensori di temperatura	Controllo automatico ON/OFF, programmazione del processo di carica nel tempo e sensori di temperatura
<u>Controllo delle pompe di circolazione ACS</u>	Con programmazione temporale	Programmazione orientata alla domanda dell'utente
<b>CONTROLLO RAFFRESCAMENTO</b>	<b>B (edifici residenziali)</b>	<b>A (edifici non residenziali)</b>
<u>Controllo di emissione</u>	Controllo automatico di ogni ambiente con comunicazione tra i regolatori e verso il BACS	Controllo integrato di ogni locale con gestione di richiesta (per occupazione, qualità dell'aria, etc.)
<u>Controllo temperatura acqua nella rete di distribuzione (mandata e ritorno)</u>	Controllo temperatura interna dei fluidi	Controllo temperatura interna dei fluidi
<u>Controllo delle pompe di distribuzione</u>	Controllo pompa a velocità variabile con $\Delta p$ (prevalenza) costante	Controllo pompa a velocità variabile con $\Delta p$ (prevalenza) proporzionale

<b>CONTROLLO DELLA VENTILAZIONE E DEL CONDIZIONAMENTO</b>	<b>B (edifici residenziali)</b>	<b>A (edifici non residenziali)</b>
<u>Controllo mandata aria in ambiente</u>	Nessuno	Controllo in funzione della domanda
<u>Controllo mandata aria nell'unità di trattamento</u>	Nessuno	Controllo automatico di flusso o pressione (prevalenza)
<u>Raffrescamento meccanico gratuito</u>	Raffrescamento gratuito (free-cooling)	Raffrescamento gratuito (free-cooling)/ Controllo con ricircolo e miscelazione aria interna-esterna
<u>Controllo della temperatura di mandata</u>	Set-point dipendente dalla temperatura esterna	Set-point dipendente dal carico
<u>Controllo umidità</u>	Controllo della condensa	Controllo diretto dell'umidità
<b>CONTROLLO ILLUMINAZIONE</b>		
	<b>B (edifici residenziali)</b>	<b>A (edifici non residenziali)</b>
<u>Controllo presenza</u>	Interruttore manuale	Automatico
<u>Controllo luce diurna</u>	Manuale	Automatico
<b>CONTROLLO SCHERMATURE SOLARI</b>		
	<b>B (edifici residenziali)</b>	<b>A (edifici non residenziali)</b>
	Motorizzato con azionamento manuale	Motorizzato con azionamento automatico in funzione dei parametri ambientali interni ed esterni
<b>GESTIONE CENTRALIZZATA DEGLI IMPIANTI DELL'EDIFICIO</b>		
	<b>B (edifici residenziali)</b>	<b>A (edifici non residenziali)</b>
<u>Rilevamento guasti diagnostica e fornitura del supporto tecnico</u>	<b>Si</b>	<b>Si</b>
<u>Rapporto riguardante consumi energetici, condizioni interne e possibilità di miglioramento</u>	<b>No</b>	<b>Si</b>

Tabella 5.5 - Tabella comparativa delle funzioni dei sistemi di automazione di classe A o B, previste per l'insediamento in esame

È importante sottolineare che, tramite un'automazione avanzata (quale quella corrispondente alla classe A o B) è possibile ottenere una riduzione della domanda di energia mediamente compresa tra il 10 ed il 20% rispetto ad un edificio dotato di sistemi di classe C. Questa osservazione rappresenta un'ulteriore conferma della validità e dell'efficacia delle scelte progettuali intraprese dalla progettazione dell'insediamento. Infine si precisa che i sistemi previsti consentiranno anche l'accesso ai dati di consumo energetico per controlli prestazionali periodici nonché l'accesso ai dati sulle condizioni di funzionamento operative (es. set-point di regolazione, stati accesso/spento di macchine, ecc.) a fini diagnostici e manutentivi.

#### **5.4) Relazione dell'edificio con l'impianto generale di quartiere**

I sistemi impiantistici previsti all'interno di ciascun edificio e destinati alla distribuzione, all'emissione del calore ed alla ventilazione sono pensati per interagire in maniera ottimale con l'assetto energetico a scala di quartiere illustrato nel successivo Capitolo 6.

In aggiunta, ciascun edificio integrerà sia i sistemi di generazione terminali della rete di approvvigionamento energetico di quartiere, costituiti da pompe di calore elettriche, sia gli impianti fotovoltaici collocati sugli elementi dell'involucro edilizio.

In questa fase si ipotizza che i singoli impianti fotovoltaici, collegati a ciascuna centrale termica contenente le pompe di calore, siano di taglia inferiore a 200 kW<sub>p</sub> e possano quindi beneficiare del meccanismo di scambio sul posto. È quindi necessario che le pompe di calore e gli impianti fotovoltaici afferenti a ciascun edificio o gruppo di edifici attigui siano elettricamente allacciati a dei punti di connessione alla rete separati per ciascun edificio o gruppo di edifici contigui, ed intestati al soggetto responsabile dell'intero sistema di approvvigionamento energetico del quartiere (supercondominio, ESCO o altro). Tali punti di connessione saranno quindi indipendenti da quelli di proprietà del singolo edificio asservito, utilizzati per la fornitura elettrica dei servizi comuni.

Da un punto di vista funzionale dunque, sia i generatori fotovoltaici che le centrali termiche dotate di pompe di calore posizionate presso i diversi edifici costituiranno degli elementi delocalizzati, ma fisicamente interconnessi, afferenti al sistema energetico di quartiere.

## 6) ASSETTO ENERGETICO A SCALA DI QUARTIERE

Nel presente capitolo viene descritto nel dettaglio l'assetto energetico complessivo del quartiere, fornendo un approfondimento sui principali macro-componenti costitutivi.

Si precisa che, prima di procedere alla definizione dello scenario descritto di seguito, come prescritto dalla normativa vigente è stata effettuata una ricognizione dei sistemi di teleriscaldamento urbano presenti in prossimità del nuovo insediamento, a valle della quale è stata individuata la società Cogeser SpA ([www.cogeser.it](http://www.cogeser.it)) come società disponibile a fornire il calore necessario nell'area oggetto dell'intervento. A tal fine verrebbe utilizzata la centrale di Pioltello, che al momento serve alcuni edifici pubblici del Comune e che a breve dovrebbe servire anche altri edifici privati.

La centrale è di tipo cogenerativo ed è alimentata a gas naturale.

Una delle dorsali della rete di teleriscaldamento urbano si trova a circa 1.600 m dal confine dell'area dell'intervento. L'eventuale estensione della rete dovrebbe essere oggetto di uno studio più approfondito, in cui andrebbe altresì effettuata una valutazione della titolarità dei terreni, sui quali potrebbe avvenire l'estensione, nonché di eventuali concessioni dei Comuni di Pioltello e Segrate.

Si stima che la realizzazione dell'intervento (rete da Pioltello a Segrate, sottostazione di interscambio, ecc.) comporterebbe un investimento nell'ordine dei 3-4 milioni di € ed i gestori della rete hanno espresso la necessità di effettuare valutazioni di dettaglio dei carichi di rete sul ramo interessato, al fine di verificare l'effettiva fattibilità dell'approvvigionamento.

Per le ragioni sopra elencate, quindi, l'allacciamento ad una rete urbana di teleriscaldamento non è stata considerata attuabile a causa della scarsa convenienza economica. La configurazione energetica di quartiere ipotizzata per Milano 4 You consente tuttavia l'agevole allaccio a future reti di teleriscaldamento/teleraffrescamento urbano in presenza di condizioni tecnico-economiche più vantaggiose di quelle attualmente riscontrate.

### 6.1) Introduzione generale dello scenario energetico

Lo scenario di approvvigionamento energetico definito per il nuovo insediamento fa riferimento a un impianto di generazione misto, composto da un sistema di cogenerazione (produzione combinata di energia termica ed elettrica) di piccola taglia alimentato a biomassa solida, che ha la funzione di preriscaldare acqua prelevata dalla falda mediante pozzi di emungimento, la quale, a sua volta, viene poi inviata a pompe di calore elettriche. Queste ultime sono grado di fornire la frazione rimanente di energia termica, non coperta dal cogeneratore, durante il periodo invernale e nelle mezze stagioni, e di sopperire all'intero fabbisogno di climatizzazione estiva. Sono inoltre previsti impianti fotovoltaici distribuiti ed integrati architettonicamente, in grado di coprire una frazione consistente del fabbisogno estivo delle pompe di calore.

Il sistema di cogenerazione sarà quindi in grado di fornire parte del calore necessario al riscaldamento durante l'inverno ed alla produzione di ACS durante l'inverno e nelle mezze stagioni. La produzione di ACS durante il periodo estivo ed il fabbisogno termico per il raffrescamento saranno invece interamente coperti dal sistema distribuito, composto dalle pompe di calore elettriche (anche con funzione di back-up) delocalizzate e disposte a coppie nei pressi delle utenze e collegate alla medesima rete di teleriscaldamento.

Durante i periodi in cui vi è una richiesta di raffrescamento, le coppie di pompe di calore afferenti agli edifici caratterizzati da fabbisogno di energia frigorifera saranno poste idraulicamente in serie mediante dei by-pass localizzati. Attraverso tale modalità sarà

possibile recuperare una frazione consistente dell'energia termica utilizzata per il raffrescamento, sfruttandola per la produzione di ACS posta in cascata. Il cogeneratore durante il periodo di raffrescamento si suppone spento mentre l'energia elettrica richiesta dalle pompe di calore durante il funzionamento estivo è generata quasi totalmente dagli impianti fotovoltaici installati sugli edifici. Durante il resto dell'anno, invece, l'intera produzione elettrica del cogeneratore verrà autoconsumata in loco per l'alimentazione delle pompe di calore e degli ausiliari elettrici di sistema.

Nella seguente immagine si riporta uno schema funzionale esemplificativo della configurazione descritta.

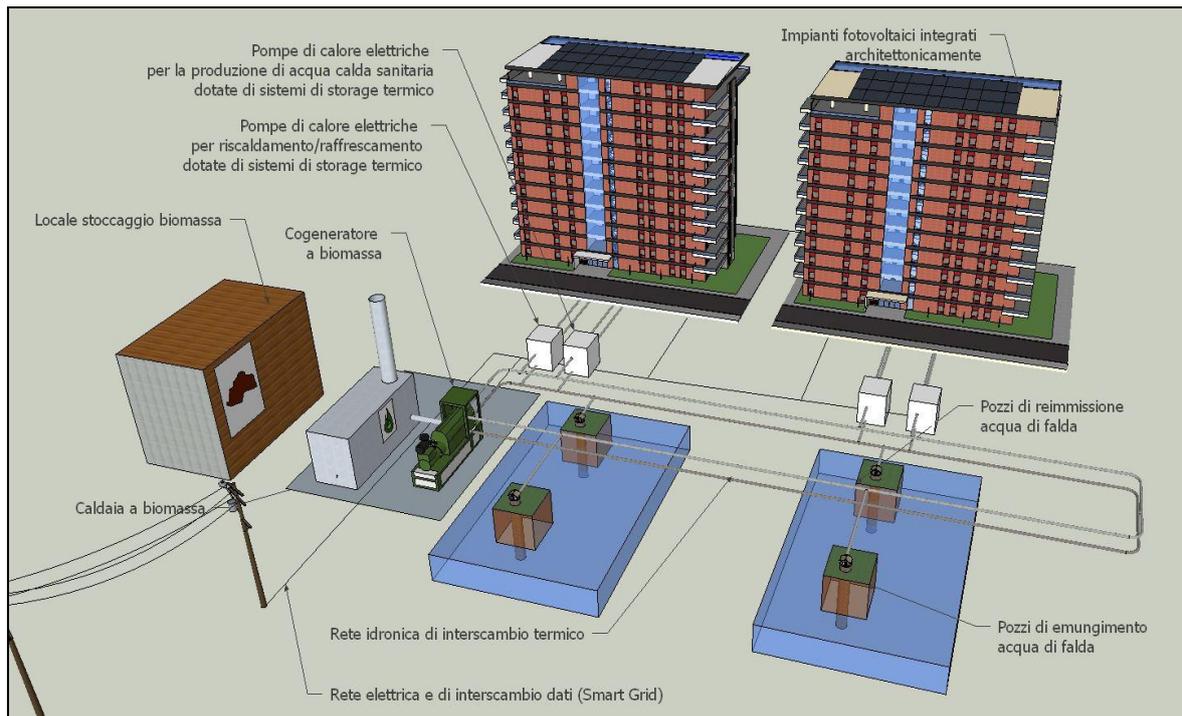


Figura 6.1 – Schema funzionale esemplificativo del sistema di approvvigionamento energetico a scala di quartiere

## 6.2) Impianto di cogenerazione a biomassa

La configurazione di progetto prevede la realizzazione di un impianto centralizzato di cogenerazione di piccola taglia, avente potenza elettrica pari a 100 kW e potenza termica utile pari ad 800 kW, costituito da una caldaia a biomassa abbinata ad un espansore a vapore a doppia vite per la generazione elettrica. Tale sistema è dimensionato per soddisfare circa il 60% del fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale dell'intero quartiere. Si prevede quindi la realizzazione di una rete di teleriscaldamento/teleraffrescamento che, durante l'inverno e nelle mezze stagioni, distribuisce acqua di falda preriscaldata dal cogeneratore, mentre durante la stagione estiva alimenta le pompe di calore elettriche con acqua di falda alla temperatura di prelievo.

Nell'immagine successiva si riportano i principali componenti della centrale, ovvero:

1. Sezione di stoccaggio della biomassa;
2. Sezione di combustione e produzione di vapore;
3. Espansore a vapore a doppia vite;
4. Scambiatore di calore per interfaccia con l'utenza termica;
5. Linea trattamento ed estrazione dei fumi.

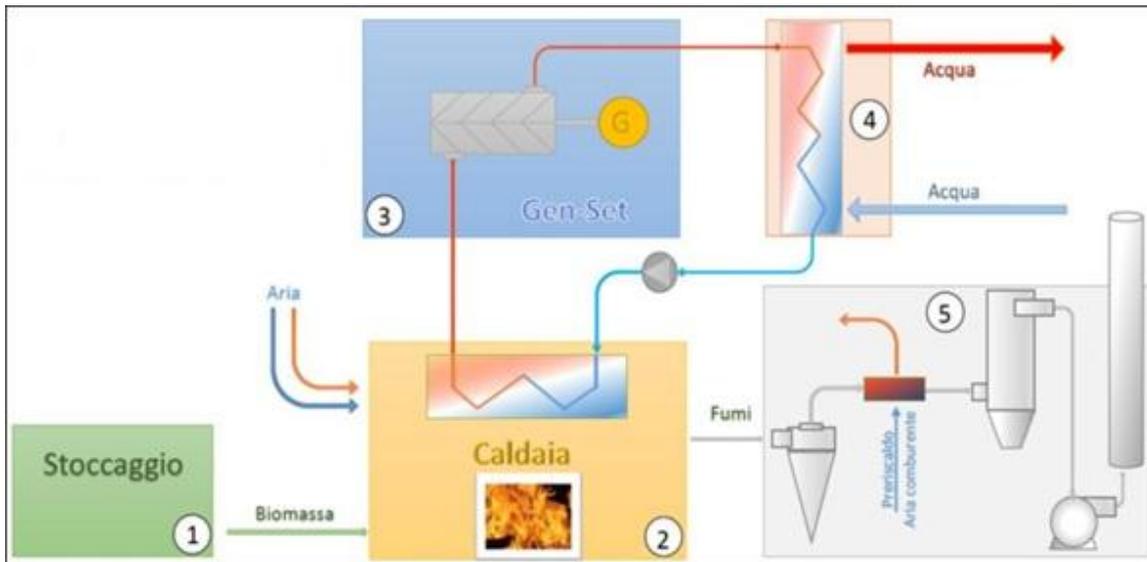


Figura 6.2 – Schema della centrale termica, principali componenti

La centrale sarà collocata nell'area indicata nella figura successiva, che coinvolge una superficie di 1000 m<sup>2</sup> ed è pertanto sufficiente a contenere gli ingombri della centrale termica, delle zone di stoccaggio del combustibile e del piazzale utile alla movimentazione degli automezzi. La vicinanza alle principali vie di collegamento e la posizione a margine dell'insediamento consentono di ottimizzare la logistica complessiva del sistema.

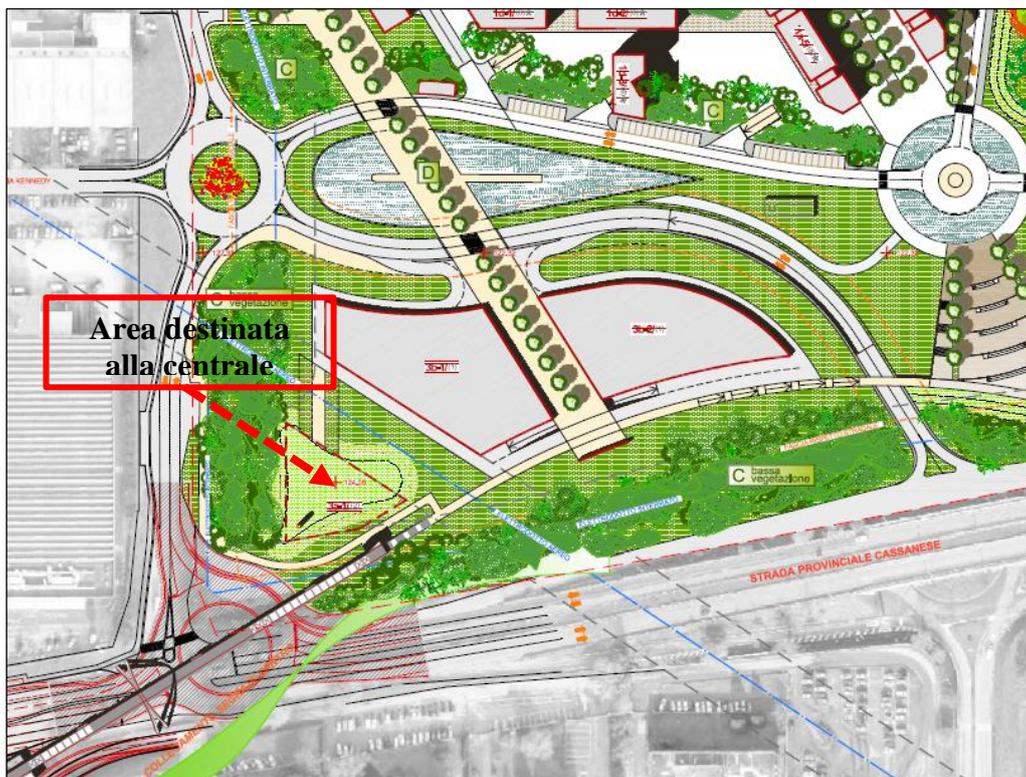
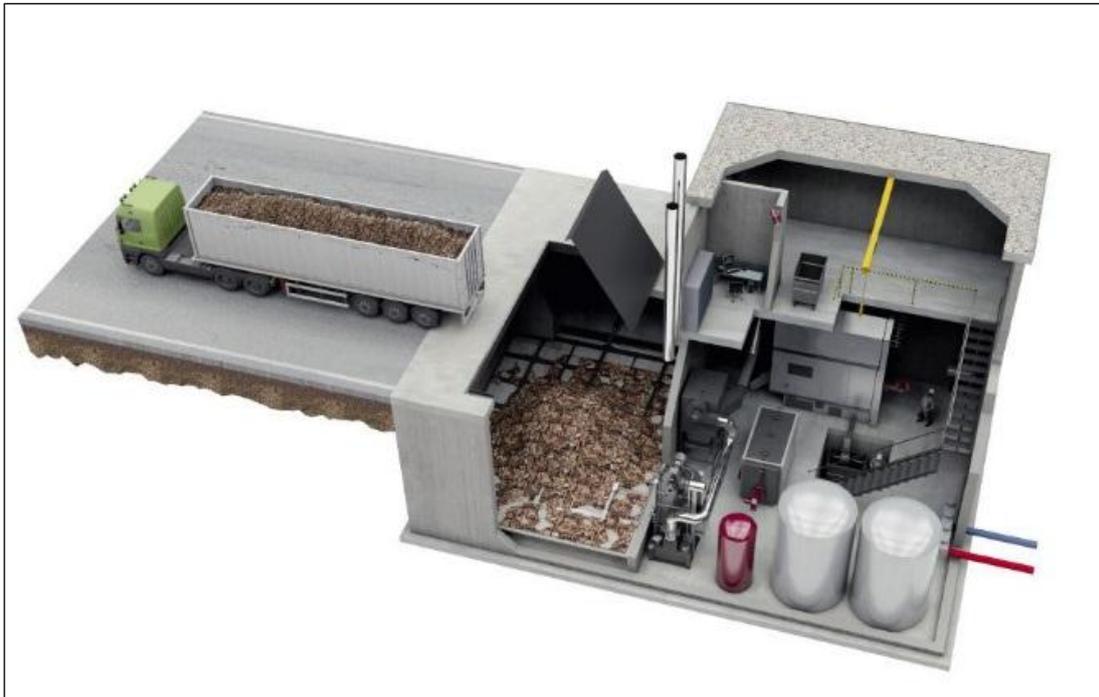


Figura 6.3 – Dettaglio della localizzazione della centrale termica e degli accessi

Si prevede di collocare tutte le sezioni di impianto all'interno di un fabbricato civile di dimensioni pari a circa 400 m<sup>2</sup> per 6 m di altezza.

Rispetto allo stoccaggio complessivo (deposito e altre aree coperte e ventilate), le dimensioni necessarie dipendono dal numero di giorni di autonomia che si intendono assicurare. Ad esempio, se di volesse garantire uno stoccaggio di cippato tale da poter alimentare il cogeneratore per 7 giorni a pieno carico (circa 60 t), bisognerebbe predisporre un volume pari a circa 200-250 m<sup>3</sup>.

Nella seguente figura si riporta uno spaccato esemplificativo della centrale comprensivo di opere civili e scarico del combustibile in ingresso.



*Figura 6.4 – Spaccato esemplificativo della centrale di cogenerazione*

### **6.2.1) Caratteristiche del combustibile in ingresso**

La fattibilità tecnico-economica del cogeneratore è direttamente connessa alla disponibilità sul medio/lungo periodo di biomassa a costi contenuti e con idonee caratteristiche qualitative e quantitative.

L'organizzazione dell'approvvigionamento e la relativa contrattualistica dovranno essere affrontati con estrema cura e lungimiranza durante le fasi attuative.

Nonostante l'area in esame non si trovi in prossimità di vaste zone forestali, la taglia dell'impianto è comunque compatibile con un bacino di approvvigionamento sufficientemente contenuto.

Si segnala, ad esempio, che in Lombardia sono presenti 25 consorzi agricoli forestali cui poter fare riferimento ai fini della definizione del piano di approvvigionamento della biomassa legnosa utile al funzionamento dell'impianto. La maggior parte di tali consorzi si trova al di fuori dei confini provinciali milanesi; tuttavia, numerosi consorzi si trovano a meno di 50 km di distanza dai confini di Segrate, a dimostrazione della possibilità di realizzare una filiera corta di approvvigionamento.

Eventuali sinergie legate alla valorizzazione dei residui della manutenzione del verde locale o ad altre tipologie di biomassa potranno essere oggetto di successivi approfondimenti.

In prima analisi si ipotizza di utilizzare, come combustibile, cippato di legna proveniente dal bacino lombardo con le seguenti caratteristiche:

- potere calorifico inferiore: 2,6-2,8 kWh/kg;
- umidità: 40-50%;
- contenuto in ceneri: 1-5%;
- pezzatura: 5-10 mm;
- costo: 45-60 €/t.

### **6.2.2) Sezione di approvvigionamento e stoccaggio**

Si ipotizza che il sistema di stoccaggio e dosaggio della biomassa sia caratterizzato da un fondo mobile, da collocare all'interno del fabbricato civile. Il sistema di movimentazione del cippato viene azionato da una centralina oleodinamica. La capacità di accumulo è dimensionata in modo da garantire un'autonomia di almeno 24 ore.

Il combustibile estratto tramite i rastrelli del fondo mobile è convogliato in una tramoggia intermedia la quale, a sua volta, alimenta l'ingresso della caldaia. L'immissione regola la quantità di combustibile introdotto in camera di combustione, in modo da mantenere stabili e costanti le condizioni di set-point, per la cogenerazione di elettricità e calore.

### **6.2.3) Sezione di generazione termica**

La caldaia a biomassa può avere caratteristiche variabili in funzione delle necessità di installazione. È opportuno scegliere caldaie in grado di produrre vapore fino a 15 bar. Generalmente, viene utilizzato un forno a griglia mobile, in questo caso alimentato da cippato di legna (umidità pari al 40-50% e PCI medio pari a 2,6 – 2,8 kWh/kg). Un elemento importante della camera di combustione è il rivestimento in mattoni refrattari con elevato spessore che favorisce l'essiccazione del combustibile e rende omogeneo il flusso dei gas in entrata allo scambiatore al variare della tipologia di combustibile che viene immesso nella camera di combustione. In questa è integrata anche un'ampia camera di post-combustione utile ad ottimizzare il trattamento termico della biomassa consentendo una combustione più completa, utile anche a ridurre le emissioni in atmosfera. L'integrazione di un'adeguata camera di calma favorisce la decantazione delle polveri.

La corretta gestione della combustione consente di limitare i danni dovuti all'eventuale rammollimento e fusione delle ceneri presenti nei fumi che possono intaccare le pareti della camera di combustione e della prima parte della caldaia. Tale fenomeno va evitato perché costringe a grossi interventi di pulizia durante le fermate ordinarie, con ovvie ripercussioni negative sul funzionamento complessivo dell'impianto.

L'immissione dell'aria è regolata su più livelli tramite serrande ad alette contrapposte azionate da un comando proporzionale. All'interno della camera di combustione trova posto anche un sistema di estrazione delle ceneri mediante coclea. Le ceneri sono evacuate in continuo e smaltite/riutilizzate in funzione della composizione chimica e dell'eventuale contenuto di inquinanti.

### **6.2.4) Espansore a vapore a doppia vite**

I sistemi cogenerativi a biomassa basati su tecnologie consolidate, come ad esempio i cicli a vapore o i cicli Rankine a fluido organico (ORC), fanno riferimento a taglie commerciali nettamente superiori a quella ipotizzata nel progetto.

Per tale motivo è stato necessario orientarsi verso tecnologie differenti. Tra le possibili, non sono stati considerati sistemi basati su pirolisi/gassificazione della biomassa legnosa perché molto complessi e costosi e ancora poco maturi e scarsamente diffusi in casi

applicativi analoghi. Lo stesso dicasi per alternative tecnologiche come ad esempio quella rappresentata da motori di tipo Stirling.

Fatta tale premessa, per il progetto Milano 4 You si è cercata una tecnologia alternativa, utile a valorizzare la produzione di calore e di elettricità in riferimento alla taglia scelta. In particolare si è fatto riferimento ad un sistema di cogenerazione con un espansore a vapore a doppia vite, che rappresenta, nella pratica, l'unica opzione fattibile sotto il profilo tecnico-economico. Come verrà approfondito in seguito, tale sistema è caratterizzato da un'ottima valorizzazione della componente termica, mentre consente di produrre elettricità con rendimenti lordi dell'ordine del 10%.

L'espansore a vapore a doppia vite è costituito essenzialmente da una coppia di rotori elicoidali, che ruotano all'interno di una voluta fissa che li racchiude completamente.

Lo scopo dell'espansore è quello di generare una coppia positiva all'albero di uscita che, accoppiata ad un generatore elettrico, possa convertire la potenza meccanica in potenza elettrica. Da un punto di vista termodinamico, l'espansore opera convertendo l'energia meccanica del vapore in pressione in energia meccanica all'albero. La potenza meccanica generata dipende dalla portata massica di vapore, dalla sua pressione in ingresso e dalla sua pressione in uscita.

La potenza meccanica generata dall'espansore è utilizzata per alimentare un generatore elettrico di tipo asincrono tramite una cinghia di trasmissione. L'espansore viaggia a velocità costante e non c'è bisogno né di un sistema meccanico per la variazione della velocità né di un inverter elettrico.

Per gestire la variazione di portata in ingresso è presente una valvola di controllo all'ingresso dell'espansore che modifica la pressione del vapore e, di conseguenza, la sua densità in ingresso. Tale sistema è in grado di generare energia elettrica adattandosi completamente alle condizioni al contorno dell'impianto, lavorando da 1 kW fino alla potenzialità massima dell'alternatore.

### **6.2.5) Abbattimento delle emissioni ed espulsione dei fumi al camino**

Nei fumi al camino di impianti a combustione che utilizzano biomassa legnosa vergine si ha l'emissione, oltre che di acqua e anidride carbonica, principalmente di monossido di carbonio (CO), polveri (particolato solido totale), ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>) e sostanze organiche sotto forma di gas e vapori, quali composti organici volatili (COV) e idrocarburi policiclici aromatici (IPA). La presenza di macroinquinanti e microinquinanti è direttamente dipendente sia dalla composizione della biomassa che dalla qualità del processo di combustione, dello scambio termico e del raffreddamento dei fumi.

Per limitare l'emissione in atmosfera di queste sostanze si interviene contrastandone la formazione mediante l'ottimizzazione ed il controllo delle condizioni di funzionamento dell'impianto (misure primarie) e rimuovendole dai fumi mediante l'utilizzo di opportuni sistemi di trattamento (misure secondarie).

Le misure primarie hanno l'obiettivo di prevenire, ridurre o contrastare la formazione di inquinanti all'interno della camera di combustione e del successivo percorso dei fumi e comprendono, oltre alle azioni volte al miglioramento delle caratteristiche del combustibile in ingresso (composizione, tenore idrico, pezzatura, ecc.), l'ottimizzazione della combustione all'interno del generatore di calore. Una combustione il più possibile completa in ogni condizione di funzionamento si ottiene mediante il raggiungimento di adeguati valori di temperatura, tempi di residenza, grado di turbolenza ed ottimizzazione nella ripartizione tra aria primaria e secondaria, nonché attraverso il controllo e regolazione dei relativi parametri di funzionamento.

Dati i valori limite di emissione in vigore ed i livelli tipicamente raggiunti, negli impianti di combustione che utilizzano biomasse legnose vergini è necessario adottare opportuni sistemi di contenimento e riduzione solo per il particolato solido. L'alimentazione continua abbinata ad un efficace controllo della combustione garantisce il rispetto dei limiti imposti alle emissioni di CO; inoltre l'introduzione di aria di combustione su più livelli assicura valori di NO<sub>x</sub> sotto il valore previsto dalla normativa vigente. Il contributo netto di CO<sub>2</sub> emessa in atmosfera è da ritenersi nullo poiché la quantità rilasciata durante la conversione termica della biomassa è pari a quella assorbita durante il ciclo di vita della stessa.

In genere, un buon sistema di depolverazione, dotato di cicloni e filtri a maniche, è sufficiente a garantire emissioni compatibili con la normativa in materia (D.Lgs 152/2006). Nel caso di progetto, si ipotizza che i fumi in uscita dalla caldaia vengano fatti fluire in un filtro ciclone in modo che le particelle di diametro maggiore vengano rimosse dal flusso gassoso. I fumi ancora parzialmente caldi incontrano uno scambiatore fumi-aria in cui viene fatta fluire l'aria di combustione secondaria e terziaria. Questa aria pre-riscaldata verrà introdotta in camera di combustione al fine di migliorare il rendimento termico della fase di combustione. È possibile prevedere l'inserimento di un ulteriore economizzatore per massimizzare il recupero energetico dai fumi.

A valle del recuperatore di calore, la temperatura dei gas è compatibile con l'abbattimento polveri fini tramite maniche filtranti.

Il filtro è opportunamente dimensionato in modo da permettere efficienze di rimozione assai elevate anche per le frazioni più fini e leggere, tali per cui il contenuto di polveri nei fumi al camino risulta essere estremamente limitato.

Indicativamente, possono essere indicate le seguenti concentrazioni al camino<sup>10</sup>:

- Polveri totali: 5-10 mg/Nm<sup>3</sup>;
- NO<sub>x</sub>, come NO<sub>2</sub>: 120-180 mg/Nm<sup>3</sup>;
- SO<sub>x</sub>, come SO<sub>2</sub>: 10-15 mg/Nm<sup>3</sup>.

Completano la linea fumi il ventilatore, posto a valle dello scambiatore, per mantenere in depressione l'intera linea fumi e il camino<sup>11</sup>.

### 6.2.6) Estrazione delle scorie/ceneri

Il contenuto di materiale inerte dei residui della combustione dipende dal tipo di biomassa e dall'organizzazione della filiera di produzione.

In genere, tale contenuto può variare all'interno di un intervallo compreso tra l'1 ed il 10%. Nella presente valutazione si assume un valore pari al 5%.

Le ceneri che vengono raccolte nelle tramogge di scarico poste sotto le varie parti della caldaia (camere radianti e banchi convettivi) possono essere convogliate dai sistemi di movimentazione automatici insieme alle ceneri pesanti raccolte sotto la griglia mobile della camera di combustione.

Le ceneri raccolte dal filtro sono quelle più fini e più leggere e vengono movimentate in automatico con sistemi analoghi a quelli descritti precedentemente per essere raccolte in un container dedicato e venire poi smaltite secondo le modalità previste dalla normativa.

<sup>10</sup> I valori riportati sono indicativi e dovranno essere valutati in funzione dell'analisi chimica della biomassa combustibile effettivamente utilizzata. Tali valori sono riferiti ad un tenore di ossigeno pari al 11% in volume dell'effluente gassoso anidro.

<sup>11</sup> Si ipotizza un camino non autoportante, con diametro di 65 cm e altezza da stabilire, realizzato in acciaio al carbonio a singola canna, parzialmente coibentato esternamente, completo di presa analisi in quota.

### 6.2.7) Gestione e controllo

Sistemi cogenerativi di questo tipo possono funzionare in totale automazione, senza quindi la necessità di personale dedicato all'esercizio dell'impianto. Il funzionamento della caldaia è gestito da un quadro di comando e controllo con PLC, in grado di regolare i parametri della combustione in funzione della richiesta di potenza termica e/o elettrica dell'impianto.

### 6.3) Impianto geotermico ad acqua di falda

Ogni edificio o gruppo di edifici è dotato di una sottocentrale in cui sono installate due pompe di calore del tipo acqua – acqua, di cui una dedicata alla climatizzazione invernale ed estiva ed una seconda asservita alla produzione di acqua calda sanitaria.

Per la definizione dei parametri prestazionali di ciascuna macchina sono state prese in esame pompe di calore con potenze comprese tra i 5 e i 350 kW per le macchine dedicate alla climatizzazione e tra 1 e 270 kW per le quelle dedicate alla produzione di ACS.

Dall'anello di distribuzione viene spillato il fluido vettore che carica un primo accumulo da cui vengono alimentate le due pompe di calore.

Durante il periodo invernale le pompe di calore sono alimentate in parallelo dall'accumulo del circuito primario. Nel periodo estivo, il collegamento idraulico delle due macchine viene modificato e la pompa di calore asservita alla produzione di ACS è collegata in serie con quella per la climatizzazione. Questa soluzione consente di recuperare l'energia termica sottratta dagli ambienti climatizzati che può essere riadoperata per la produzione di ACS.

Le prestazioni della pompa di calore dedicata alla produzione di ACS risultano in questo modo sensibilmente migliorate, con valori di COP raggiungibili superiori a 4,5 ed un conseguente notevole risparmio energetico ed economico.

Di seguito è indicato uno schema-tipo di una delle sottocentrali termiche a servizio di ciascuno degli edifici.

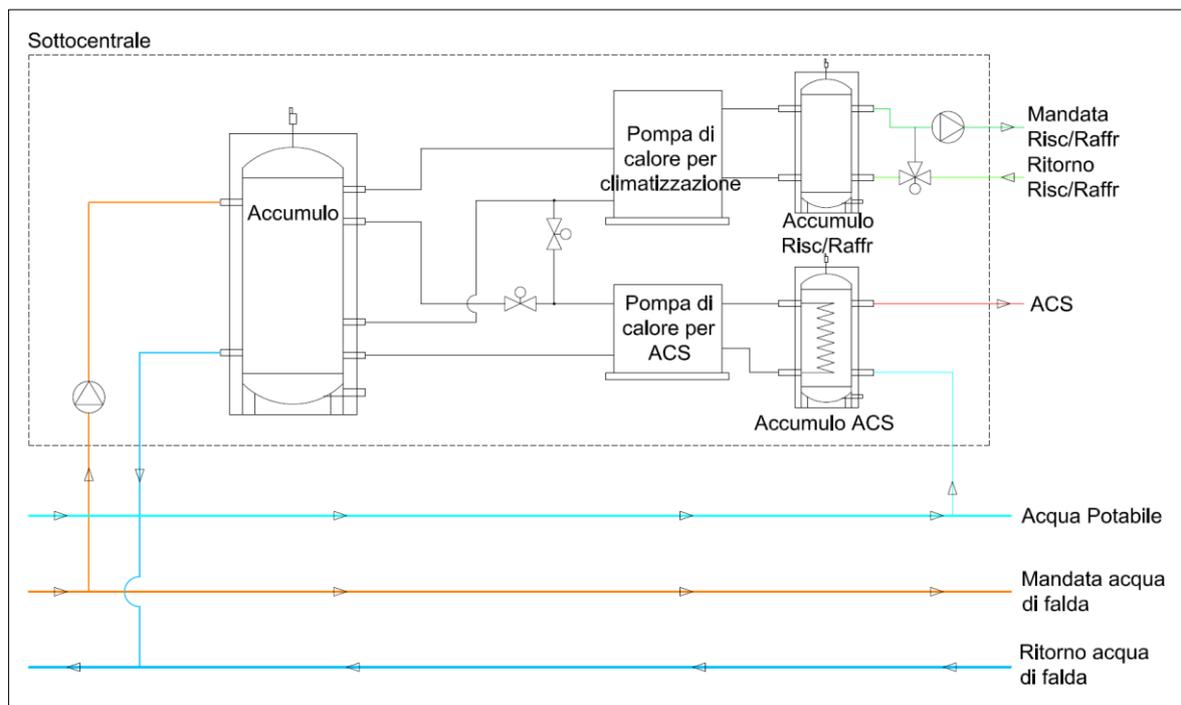


Figura 6.5 – Schema tipo sottocentrale termica con pompe di calore

Il fluido vettore trasportato all'interno dell'anello di distribuzione è spillato dalle singole sottocentrali e reimmesso nella linea di ritorno. Sulla stessa linea sono collegati i pozzi di emungimento che forniscono l'acqua di falda alla centrale termica, secondo quanto riportato nello schema mostrato nella seguente immagine.

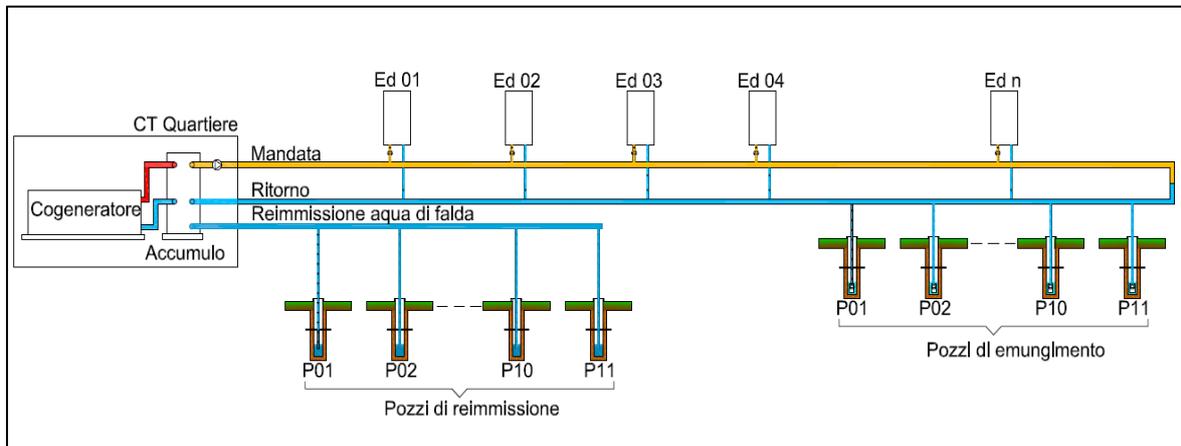


Figura 6.6 – Schema anello di distribuzione acqua di falda

Conoscendo il valore massimo di potenza termica assorbita nel periodo invernale ed estivo e considerando un valore massimo di temperatura dell'acqua di reimmissione in falda, pari a 20 °C, si è definito un  $\Delta T$  di progetto pari a 5 °C sul circuito primario di alimentazione ed una portata massima pari a 165 l/s.

Per l'alimentazione della rete sono stati previsti in totale 11 pozzi di emungimento ed 11 pozzi di reimmissione; ogni doppietta di pozzi è dimensionata per una portata massima pari a 15 l/s, garantendo una portata complessiva pari a 165 l/s.

La stessa quantità d'acqua prelevata dai pozzi di emungimento viene smaltita attraverso una linea dedicata che collega la centrale termica alla batteria di pozzi di reimmissione posta sul confine sud del lotto di intervento.

Nella seguente immagine viene rappresentato lo schema costruttivo esemplificativo di un pozzo di emungimento.

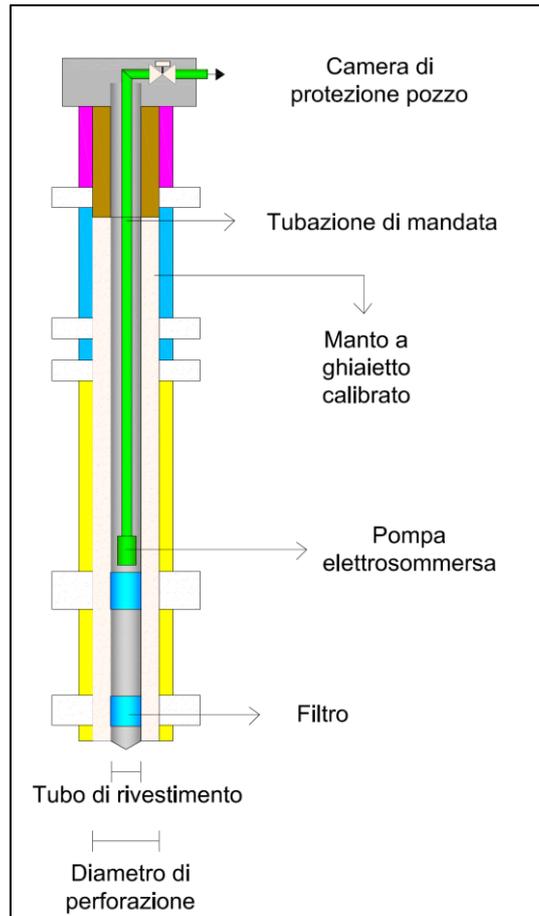


Figura 6.7 – Schema costruttivo di un pozzo di emungimento

#### 6.4) Rete di teleriscaldamento a bassa temperatura

Come già introdotto, l'assetto energetico di quartiere prevede la realizzazione di una rete di teleriscaldamento e teleraffrescamento che, durante l'inverno e nelle mezze stagioni, distribuisce acqua di falda preriscaldata dal cogeneratore alle pompe di calore delocalizzate, mentre durante la stagione estiva alimenta le medesime pompe di calore con acqua di falda alla temperatura di prelievo.

Nel dettaglio, la rete è costituita da un sistema a singola tubazione di mandata e di ritorno, entrambe collocate nei cunicoli tecnologici di quartiere.

Data la bassa densità di carico e la dislocazione distribuita delle utenze si è optato per una rete ramificata con fluido a bassa temperatura, al fine di migliorare l'efficienza complessiva del sistema e la sua durabilità. La rete è organizzata secondo una dorsale principale, dalla quale si diramano rami secondari fino alle singole sottostazioni, che parte dalla centrale termica e segue l'andamento dell'asse viario principale. Tale scelta progettuale è avvalorata dalla volontà di ottimizzare i tempi di esecuzione e la logistica del cantiere, ma anche ci facilitare l'allaccio di nuove utenze in tempi successivi a quelli della realizzazione del quartiere.

Al fine di determinare la configurazione della rete, si sono organizzate le utenze in cluster, ovvero agglomerati di edifici limitrofi, distinguendo:

- un cluster centrale che comprende buona parte degli edifici multipiano collocati nella zona centrale della lottizzazione, servito dalla dorsale principale;
- un cluster nord che comprende le ville unifamiliari, il centro sportivo e il centro culturale;

- un cluster sud-est che comprende le residenze per anziani;
- un cluster sud-ovest che include la stessa centrale di cogenerazione ed il centro commerciale.

Si è optato per l'utilizzo di tubazioni in PE isolato con poliuretano e rivestito esternamente con strato protettivo in PE-LLD, così come riportato nella seguente immagine. Le giunture fra gli elementi possono essere realizzate con appositi manicotti, garantendo la tenuta all'aria e le altre caratteristiche necessarie a preservare il corretto funzionamento della rete.



*Figura 6.8 – Vista esemplificativa di una tubazione in PE isolato della rete di teleriscaldamento*

Per incrementare ulteriormente la facilità di intervento sulla rete in caso di manutenzione o imprevisti, vengono previsti nei cunicoli tecnologici dei pozzetti di ispezione ad hoc nei punti nodali della rete, in corrispondenza dei manicotti di giuntura o di altri elementi speciali.

I punti di interconnessione tra la rete descritta e le utenze sono le sottocentrali delocalizzate presso gli edifici, in cui saranno installate le pompe di calore e gli scambiatori di calore interconnessi alle reti di distribuzione interna delle diverse costruzioni. Le sottostazioni rappresentano quindi l'insieme dei componenti che servono per scambiare energia termica con la rete e per utilizzarlo, attraverso le pompe di calore, per la climatizzazione e la produzione di acqua calda sanitaria. Ciascuna sottocentrale conterrà anche i sistemi di contabilizzazione energetica e di telecontrollo.

Nella tavola di progetto allegata alla presente relazione (Allegato 1) viene riportato il layout preliminare della rete descritta ed il posizionamento indicativo di tutti i principali elementi interconnessi. Si precisa che l'ubicazione dei pozzi di emungimento e reimmissione è puramente indicativa: la loro esatta collocazione andrà definita nel dettaglio nelle successive fasi di progetto dell'intervento nell'ambito delle procedure autorizzative previste dalla normativa vigente.

### **6.5) Impianti fotovoltaici**

Analizzando le caratteristiche delle superfici disponibili e le esigenze di progetto, si ritiene che i moduli fotovoltaici potranno essere installati sia sulle coperture degli edifici, sia su strutture a pensilina appositamente realizzabili allo scopo sulle zone adibite a parcheggio.

In questa fase di progetto non sono ancora state effettuate le scelte di dettaglio relative alle modalità di integrazione dei moduli sulle aree potenzialmente idonee, quindi in via preliminare si è ipotizzato che le superfici attive siano caratterizzate da due tipologie specifiche, secondo quanto illustrato di seguito.

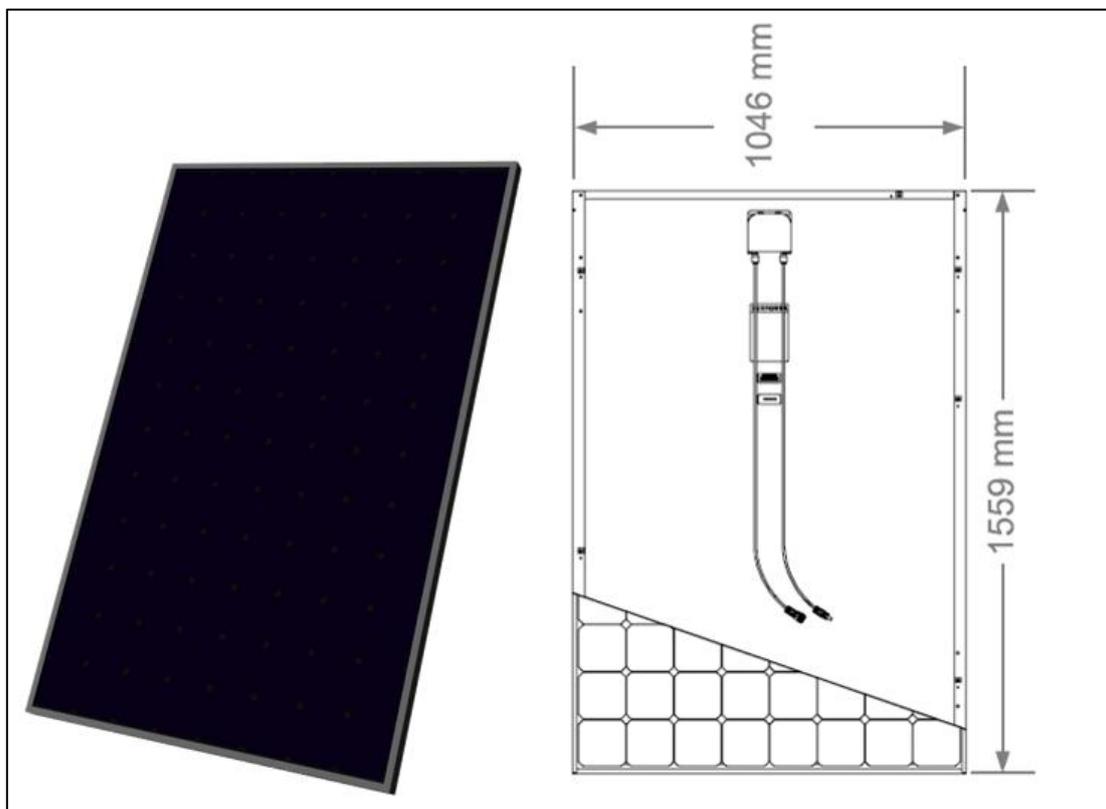
- A. Superfici di tipo A: inclinazione di 10° rispetto al piano orizzontale ed orientamento sud-ovest (coperture degli edifici con asse principale parallelo alla direttrice nord-ovest/sud-est);

- B. Superfici di tipo B: inclinazione di  $10^\circ$  rispetto al piano orizzontale ed orientamento Sud (coperture degli edifici con asse principale parallelo alla direttrice Est-Ovest od alla direttrice nord-sud e coperture delle pensiline sulle aree destinate a parcheggio).

Considerando le caratteristiche delle superfici disponibili, si è scelto di utilizzare laminati fotovoltaici al silicio mono/policristallino ad alta densità di potenza per tutte le superfici presenti nel complesso, al fine di massimizzare la potenza installabile a parità di superficie disponibile.

Nel dettaglio, si è individuato come prodotto di riferimento per il calcolo della potenza installabile e dell'energia producibile, il modulo Sunpower X21 335, con celle al silicio monocristallino, caratterizzato da una potenza nominale di  $335 W_p$  e da un'efficienza del 21%.

Nella seguente immagine si riportano una vista e le principali caratteristiche dimensionali del prodotto descritto.



*Figura 6.1 – Vista frontale e principali caratteristiche dimensionali del modulo Sunpower X21 335*

Per quanto riguarda invece gli inverter, si ipotizza di dotare l'impianto di componenti modulari senza trasformatore di isolamento, caratterizzati da elevate efficienze di conversione. In particolare, si prevede l'applicazione di inverter trifase ABB Trio 50.0 TL, con potenza nominale pari a 50 kW.



Figura 6.2 – Vista dell’inverter ABB Trio 50.0 TL

Come già introdotto in precedenza, i singoli impianti fotovoltaici saranno di taglia inferiore a  $200 \text{ kW}_p$  al fine di poter beneficiare del meccanismo di scambio sul posto.

In questa fase preliminare risulta prematuro eseguire dettagliate simulazioni volte a stabilire con precisione l’energia elettrica producibile dalle diverse configurazioni ammissibili. Tuttavia, al fine di poter effettuare delle considerazioni circa l’energia elettrica generabile delle diverse soluzioni ipotizzate, è stata stimata, a livello indicativo, la produttività ottenibile in funzione dell’inclinazione delle superfici e della tipologia dei moduli previsti.

Le valutazioni sono state eseguite con il software specialistico PVSyst ed ipotizzando di utilizzare componenti del BOS (*Balance of System*) aggiuntivi agli inverter (quadri elettrici e cablaggi) caratterizzati da livelli prestazionali medi.

I risultati sono riportati nella seguente tabella.

Superfici	Inclinazione/ Orientamento	Potenza installabile [ $\text{kW}_p$ ]	Produttività specifica [ $\text{kWh}/\text{kW}_p$ ]	Produttività totale [ $\text{kWh}$ ]
Superfici tipo A	$10^\circ$ /sud-ovest	600	1080	648.000
Superfici tipo B	$10^\circ$ /sud	1270	1110	1.410.000

Tabella 6.9 – Produttività specifica attesa per le diverse tipologie di superfici disponibili

Si prevede quindi che siano installabili circa  $600 \text{ kW}_p$  sulle superfici di tipologia A e  $1270 \text{ kW}_p$  su quelle di tipologia B, per una potenza installata totale di  $1870 \text{ kW}_p$ . Tali impianti saranno in grado di generare, a livello annuo, circa  $2.058.000 \text{ kWh}$  di energia elettrica, totalmente da fonte rinnovabile.

A livello esemplificativo si riporta nella seguente immagine la distribuzione mensile della produzione specifica di energia elettrica, per un impianto con moduli orientati a sud ed inclinati di  $10^\circ$  rispetto al piano orizzontale.

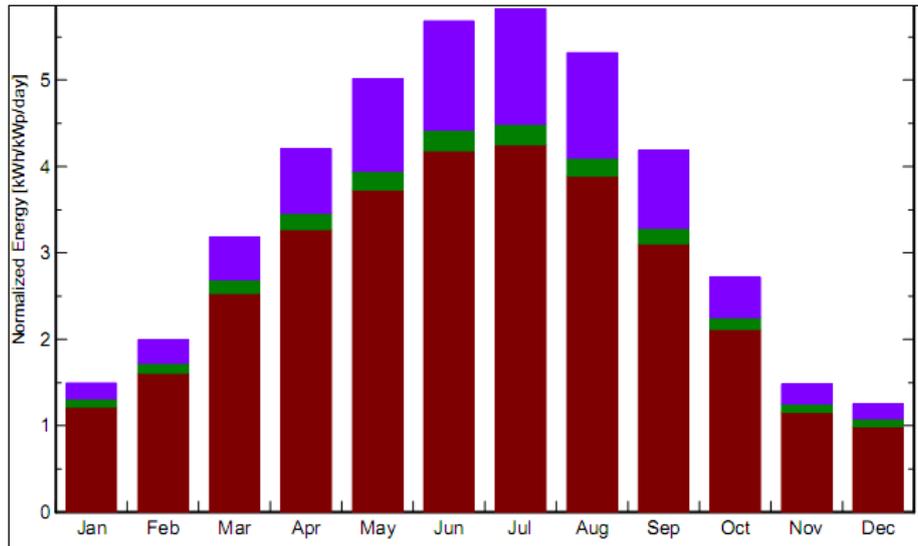


Figura 6.3 – Andamento mensile della produzione di energia fotovoltaica

Nelle fasi di progettazione definitiva, sulla base delle configurazioni spaziali e tecnologiche definitive di ciascun impianto, dovranno essere effettuate stime analitiche di dettaglio in grado di valutare l'entità effettiva di tutti i fattori in grado di influenzarne la produttività finale.

### 6.6) Benefici ottenibili

Da un punto di vista tecnico ed energetico, la configurazione prevista consente seguenti vantaggi:

- possibilità di utilizzare in loco ed in modo ottimale l'intera produzione energetica del sistema di cogenerazione, combinando le richieste di energia termica ed elettrica del complesso attraverso l'utilizzo sinergico di pompe di calore elettriche;
- elevata affidabilità garantita dalla presenza di sistemi di generazione ridondanti a servizio di un'unica rete di distribuzione dell'energia;
- ridotte perdite di energia termica sulla rete di teleriscaldamento grazie al funzionamento a bassa temperatura.

Alle voci precedentemente elencate si aggiunge il maggior beneficio legato alla possibilità di poter soddisfare un'elevata quota del fabbisogno energetico mediante fonti di energia rinnovabile.

Lo sviluppo di un sistema di approvvigionamento a biomassa come quello previsto può inoltre originare un processo di sostegno e di sviluppo della filiera di tale tipologia di combustibile, in particolare per i residui della manutenzione del verde locale e per la materia prima forestale.

## 7) FABBISOGNI E CONSUMI ENERGETICI

In questo capitolo viene descritta la metodologia di valutazione dei fabbisogni di energia e potenza del complesso e sono definite le specifiche condizioni al contorno imposte per il calcolo.

Per poter procedere alla pianificazione generale dell'assetto energetico del complesso immobiliare, si è reso necessario definire preliminarmente i fabbisogni di energia e potenza dei vari edifici da utilizzare come riferimento.

L'obiettivo della valutazione è dunque quello di stimare, per ciascun edificio e quindi per l'interno insediamento, le seguenti quantità:

- fabbisogno di energia termica per la climatizzazione invernale;
- fabbisogno di energia termica per la produzione di acqua calda sanitaria (ACS);
- fabbisogno di energia termica per la climatizzazione estiva;
- fabbisogno di energia elettrica per l'alimentazione degli ausiliari elettrici afferenti agli impianti di climatizzazione e produzione di ACS interni agli edifici;
- fabbisogno di energia elettrica per l'illuminazione artificiale degli edifici a destinazione d'uso non residenziale.

In secondo luogo, ed in modo correlato, devono essere definite le seguenti potenze termiche:

- massima potenza termica per climatizzazione invernale in condizioni di progetto;
- massima potenza termica per climatizzazione estiva in condizioni di progetto;
- massima potenza termica per produzione di ACS in condizioni di massima richiesta.

Successivamente, sulla base dei dati di fabbisogno di energia termica/elettrica e delle scelte impiantistiche effettuate, sono state calcolate le quantità finali di energia primaria rinnovabile, non rinnovabile e totale, e più precisamente:

- per le destinazioni d'uso residenziali, il fabbisogno totale di energia primaria per climatizzazione invernale, estiva e produzione di ACS, inclusi i consumi di tutti gli ausiliari elettrici legati alla climatizzazione ed alla produzione di ACS;
- per le altre destinazioni d'uso, il fabbisogno totale di energia per climatizzazione invernale, estiva, produzione di ACS ed illuminazione artificiale, inclusi i consumi di tutti gli ausiliari elettrici legati alla climatizzazione ed alla produzione di ACS.

Le quantità sopra elencate costituiscono il riferimento di base per calcolare l'indice di prestazione energetica globale ( $EP_{gl,nren}$ ), espresso in termini di energia primaria totale non rinnovabile, alla base della classificazione energetica degli edifici. Si precisa che, rispetto a quanto definito dalla normativa vigente in Regione Lombardia, in questa fase preliminare è stato trascurato il fabbisogno di energia elettrica per i sistemi di trasporto delle persone negli edifici a destinazione non residenziale, in quanto la sua stima richiederebbe una definizione di maggior dettaglio dei singoli progetti edilizi. Si ritiene in ogni caso che l'incidenza di tale voce sul fabbisogno complessivo possa essere ritenuta trascurabile ai fini della presente analisi.

Nel dettaglio, allo scopo di definire una base attendibile di riferimento capace di anticipare il dettaglio ottenibile dalla progettazione architettonica definitiva, sono stati individuati due edifici-tipo, il primo dei quali rappresentativo degli immobili a destinazione residenziale, il secondo di tutte le altre destinazioni d'uso.

La geometria degli edifici-tipo è stata strutturata in maniera tale da essere rappresentativa delle tipologie insediative previste nel PII ed i medesimi sono stati orientati secondo l'allineamento più ricorrente negli elaborati del piano, ovvero con il lato maggiore lungo l'asse nord ovest-sud est. Le proprietà termofisiche caratteristiche degli involucri edilizi sono state assunte sulla base di alcune simulazioni preliminari, con le quali si è verificata l'adeguatezza delle stesse al fine del raggiungimento, con un discreto margine cautelativo, degli obiettivi di efficienza energetica di cui in premessa.

I parametri relativi all'utenza (in particolare carichi interni, portate di ventilazione e condizioni termo-igrometriche degli ambienti interni) sono stati assunti coerentemente con quanto previsto dalle vigenti norme della serie UNI/TS 11300, ipotizzando per il momento solo valori medi, in ragione del livello di dettaglio del progetto attualmente disponibile.

I valori di fabbisogno calcolati mediante le simulazioni sugli edifici-tipo sono stati poi rapportati ad una superficie unitaria climatizzata e successivamente estesi all'intero complesso immobiliare, operando una distinzione tra le due categorie di destinazione d'uso.

Come espresso nel capitolo precedente, la valutazione delle prestazioni energetiche è stata svolta utilizzando il motore di calcolo EnergyPlus. I dati climatici impiegati per le simulazioni fanno riferimento al file statistico contenente i dati meteorologici con cadenza oraria del database De Giorgio, raccolti presso la stazione climatica di Milano Linate, ritenuta la più rappresentativa del contesto in cui è collocato il progetto.

È doveroso sottolineare che i risultati ottenuti in questa fase preliminare dovranno essere dettagliatamente verificati in fase di redazione del progetto architettonico definitivo, a seguito del quale alcune assunzioni fatte in questa fase potrebbero necessitare di modifiche e/o aggiustamenti. A titolo esemplificativo, i valori massimi della trasmittanza termica media pesata dell'involucro sono imposti a livello normativo in funzione del rapporto tra la superficie lorda disperdente ed il relativo volume a temperatura controllata, pertanto le specifiche caratteristiche morfologiche di ciascuna costruzione ed i rapporti tra superficie opaca e trasparente influenzeranno le caratteristiche termiche di ciascun involucro edilizio, ipotizzate invece in questa fase omogenee per ciascuna destinazione d'uso. Tuttavia, i risultati ottenuti dalle simulazioni e qui riportati possono fornire un'attendibile indicazione di massima sulle prestazioni ottenibili attraverso un'attenta progettazione architettonica ed energetica, e rappresentano quindi un valido riferimento per le stime riportate nei paragrafi seguenti.

### **7.1) Stima dei fabbisogni energetici**

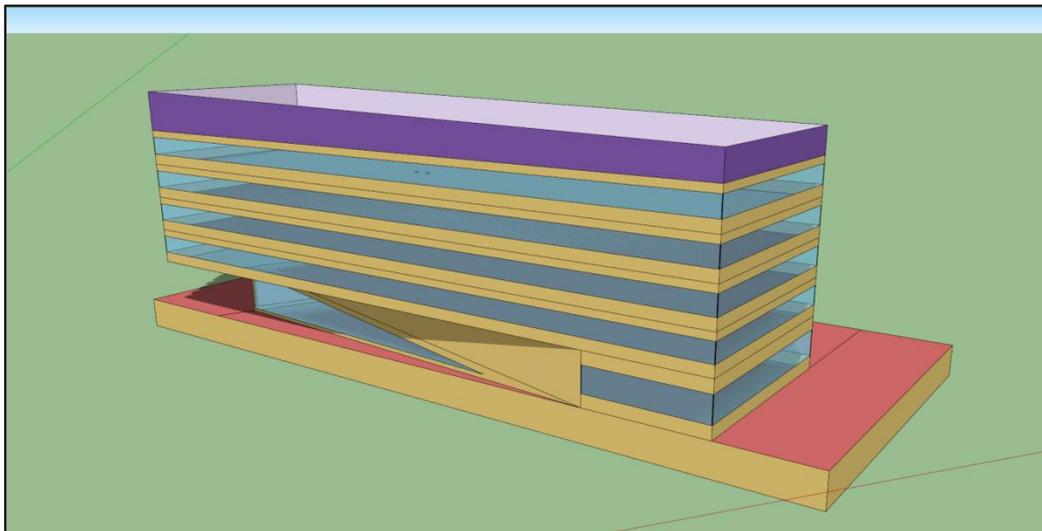
Le attuali disposizioni normative prevedono il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici sulla base delle norme UNI/TS-11300. Tuttavia, come già introdotto, queste adottano degli algoritmi di calcolo semplificati in regime stazionario, sicuramente di facile applicazione, ma inadatti alla corretta stima del comportamento energetico complessivo dell'edificio. Infatti, essi assumono delle condizioni al contorno medie e fisse (in merito ai dati climatici ed ai carichi termici) durante l'intervallo di calcolo mensile, determinando l'impossibilità di valutare i picchi e gli effetti dovuti alla variazione nell'arco della giornata delle temperature, della radiazione solare e delle altre condizioni al contorno. Inoltre, presuppongono che la massa dell'involucro edilizio mantenga sempre la stessa condizione termica, sottovalutando la sua capacità inerziale.

In generale è possibile dire che i modelli di simulazione di tipo stazionario presentano una minore precisione (cioè una maggiore variabilità nei dati in uscita) rispetto a quelli dinamici, per i quali sono stati sviluppati degli specifici protocolli di validazione, volti a confrontare la differenza tra il valore ottenuto dal singolo software di simulazione rispetto

al valore medio dei risultati ottenuti con altri strumenti di calcolo validati<sup>12</sup>. I modelli dinamici garantiscono inoltre un'elevata accuratezza, poiché devono rispondere a specifici metodi di confronto tra i risultati della simulazione ed i dati reali di consumo (processo di calibrazione). Tali metodi sono descritti a livello internazionale in 3 standard di riferimento: la ASHRAE Guideline 14-2002, l'International Performance Measurement & Verification Protocol (IPMVP) e le FEMP Measurement and Verification Guidelines. In tutti e tre i casi citati, infatti, il massimo scostamento tra i valori simulati e quelli misurati deve essere inferiore al 10% in caso di calibrazione oraria. In questo senso, i risultati ottenuti mediante simulazioni su edifici campione ed attività sperimentali confermano la maggiore accuratezza di modelli dinamici, quali ad esempio quello implementato nello strumento di simulazione EnergyPlus, rispetto al modello stazionario adottato a livello nazionale nelle norme UNI/TS 11300. L'errore commesso da quest'ultimo può raggiungere in alcuni casi quote prossime al 30% relativamente alla prestazione energetica invernale mentre fornisce dati spesso completamente inattendibili, con errori superiori al 100%, in termini di prestazione energetica estiva<sup>13,14</sup>.

Per questi motivi, pur garantendo le verifiche normative secondo le procedure previste, ai fini della stima della prestazione energetica degli edifici oggetto di analisi si sono creati dei modelli di calcolo per la simulazione energetica in regime dinamico mediante il motore EnergyPlus, ritenuto dalla comunità scientifica lo stato dell'arte in tale ambito.

A livello esemplificativo nelle seguenti immagini si riportano, rispettivamente, una vista del modello di simulazione costruito relativamente all'edificio-tipo non residenziale ed a quello residenziale.



*Figura 7.1 – Modello di simulazione energetica dell'edificio-tipo non residenziale*

<sup>12</sup> ANSI/ASHRAE Standard 140:2007, Standard method of test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs, Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method (IEA 1995).

<sup>13</sup> L. Tronchin, K. Fabbri, Energy performance building evaluation in Mediterranean countries: Comparison between software simulations and operating rating simulation, Energy and Buildings, Volume 40, 2008.

<sup>14</sup> L. Evangelisti, G. Battista, C. Guattari, C. Basilicata, R. De Lieto Vollaro, Analysis of Two Models for Evaluating the Energy Performance of Different Buildings, Sustainability, Volume 6, 2014.



Figura 7.2 – Modello di simulazione energetica dell'edificio-tipo residenziale

Si riassumono dunque nelle seguenti tabelle le stime di fabbisogno ottenute estendendo i risultati delle simulazioni in regime dinamico effettuate sugli edifici-tipo all'interno complesso edilizio. In particolare, è stata considerata una superficie totale netta climatizzata, al lordo però dello spessore delle pareti divisorie interne, pari a 89.090 m<sup>2</sup>, di cui 64.490 m<sup>2</sup> con destinazione residenziale e 24.600 m<sup>2</sup> non residenziale.

<b>Fabbisogno specifico di energia termica</b>			
	Residenziale	Non residenziale	Totale
	<i>kWh/m<sup>2</sup>anno</i>	<i>kWh/m<sup>2</sup>anno</i>	<i>kWh/m<sup>2</sup>anno</i>
Climatizzazione invernale	25,0	38,7	28,8
Climatizzazione estiva	33,0	49,5	37,5
Produzione di ACS	27,9	31,2	28,8
<b>Fabbisogno specifico di energia elettrica</b>			
	<i>kWh/m<sup>2</sup>anno</i>	<i>kWh/m<sup>2</sup>anno</i>	<i>kWh/m<sup>2</sup>anno</i>
Ausiliari elettrici	10,3	15,9	11,8
Illuminazione artificiale	0,0	10,9	3,0

Tabella 7.1 – Fabbisogno specifico di energia termica (climatizzazione e produzione di ACS) e di energia elettrica (ausiliari ed illuminazione artificiale)

<b>Fabbisogno totale di energia termica</b>			
	Residenziale	Non residenziale	Totale
	<i>kWh/anno</i>	<i>kWh/anno</i>	<i>kWh/anno</i>
Climatizzazione invernale	1.613.105	952.891	2.565.996
Climatizzazione estiva	2.126.090	1.216.913	3.343.003
Produzione di ACS	1.797.719	767.089	2.564.808
<b>Fabbisogno totale di energia elettrica</b>			
	<i>kWh/anno</i>	<i>kWh/anno</i>	<i>kWh/anno</i>
Ausiliari elettrici	662.795	391.342	1.054.137
Illuminazione artificiale	0	268.043	268.043

Tabella 7.2 – Fabbisogno totale di energia termica (climatizzazione e produzione di ACS) e di energia elettrica (ausiliari ed illuminazione artificiale)

Analogamente, si riportano di seguito i dati relativi alle potenze termiche in condizioni di progetto, utili per effettuare il dimensionamento di massima degli impianti di generazione e distribuzione dell'energia termica.

<b>Potenze termiche specifiche in condizioni di progetto</b>			
	Residenziale	Non residenziale	Totale
	$W/m^2$	$W/m^2$	$W/m^2$
Climatizzazione invernale	20,8	45,6	27,6
Climatizzazione estiva	27,9	53,7	35,0
Produzione di ACS	9,7	10,9	10,0

Tabella 7.3 – Potenze termiche specifiche calcolate in condizioni di progetto

<b>Potenze termiche totali in condizioni di progetto</b>			
	Residenziale	Non residenziale	Totale
	$kW$	$kW$	$kW$
Climatizzazione invernale	1.341	1.122	2.463
Climatizzazione estiva	1.802	1.320	3.122
Produzione di ACS	626	269	895

Tabella 7.4 – Potenze termiche totali calcolate in condizioni di progetto

## 7.2) Stima dei consumi finali di energia primaria

Considerando il valori di fabbisogno energetico precedentemente calcolati si è provveduto ad effettuare il calcolo del consumo finale di energia primaria, inteso:

- per le destinazioni d'uso residenziali, come somma del fabbisogno di climatizzazione invernale, estiva e produzione di ACS, inclusi tutti gli ausiliari elettrici legati alla climatizzazione ed alla produzione di ACS;
- per le altre destinazioni d'uso, come somma del fabbisogno di climatizzazione invernale, estiva, produzione di ACS ed illuminazione artificiale, inclusi tutti gli ausiliari elettrici legati alla climatizzazione ed alla produzione di ACS.

In conformità a quanto stabilito dalla normativa vigente, il calcolo è stato effettuato utilizzando i fattori di conversione in energia primaria riportati nell'Appendice B del presente documento.

<b>Fabbisogno specifico di energia primaria</b>			
	Residenziale	Non residenziale	Totale
	$kWh/m^2\text{anno}$	$kWh/m^2\text{anno}$	$kWh/m^2\text{anno}$
Energia primaria non rinnovabile	33,7	51,9	38,7
Energia primaria rinnovabile	98,7	151,9	113,4
Energia primaria totale	132,4	203,8	152,1

Tabella 7.5 – Fabbisogno specifico totale di energia primaria

<b>Fabbisogno totale di energia primaria</b>			
	Residenziale	Non residenziale	Totale
	<i>kWh/anno</i>	<i>kWh/anno</i>	<i>kWh/anno</i>
Energia primaria non rinnovabile	2.173.500	1.276.500	3.450.000
Energia primaria rinnovabile	6.363.000	3.737.000	10.100.000
Energia primaria totale	8.536.500	5.013.500	13.550.000

*Tabella 7.6 – Fabbisogno totale di energia primaria*

Come possibile desumere dai dati riportati, complessivamente circa il 75% del fabbisogno energetico totale del quartiere sarà coperto mediante fonti energetiche rinnovabili.

Si ribadisce che i risultati sono stati ottenuti utilizzando metodologie di calcolo in regime dinamico in grado di garantire un'elevata accuratezza rispetto ai futuri consumi reali degli edifici attualmente simulati. Il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile stimato è quindi da considerarsi più conservativo rispetto al corrispondente valore calcolato mediante la procedura definita dall'Allegato H del D.D.O. 6480.

Sulla base delle considerazioni espone in questa sezione, infine, si precisa che tutti gli edifici dell'insediamento saranno classificati "A3" o "A4" ai sensi della normativa vigente.

## 8) SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

Lo studio della sostenibilità ambientale del complesso è stato svolto considerando l'uso globale di risorse e le emissioni di sostanze climalteranti, secondo quanto riportato nei seguenti paragrafi.

### 8.1) Valutazioni energetico-ambientali

Le valutazioni di tipo energetico effettuate nel Capitolo 7 sono state utilizzate per determinare il risparmio di energia primaria non rinnovabile ed il correlato risparmio di emissioni di sostanze climalteranti, rispetto ad edifici rappresentativi del livello qualitativo minimo richiesto dalle normative vigenti in Regione Lombardia per edifici di nuova costruzione.

In particolare, sono stati considerati come riferimento edifici-tipo identici a quelli oggetto di analisi, in termini di geometria (sagoma, volumi, superficie calpestabile, superfici degli elementi costruttivi e dei componenti), orientamento, ubicazione territoriale, destinazione d'uso e situazione al contorno, aventi però caratteristiche termiche, parametri energetici ed efficienze dei sistemi impiantistici determinati conformemente a quanto descritto nell'Appendice A del presente documento. Per tali edifici si è inoltre previsto il rispetto dei requisiti minimi relativi all'utilizzo di fonti rinnovabili definiti al paragrafo 3.2.3.

Si è quindi provveduto a simulare, con i medesimi strumenti di calcolo, anche la prestazione energetica degli edifici di riferimento, confrontandola successivamente con quella già calcolata relativamente agli edifici previsti dal progetto.

I risultati ottenuti sono riportati nelle seguenti tabelle.

	<b>Milano 4 You</b>	<b>Edifici di riferimento</b>
	<i>kWh/m<sup>2</sup>anno</i>	<i>kWh/m<sup>2</sup>anno</i>
Energia primaria non rinnovabile	38,7	100,6
Energia primaria rinnovabile	113,4	102,3
Energia primaria totale	152,1	202,9

Tabella 8.1 – Comparazione tra il fabbisogno specifico totale di energia primaria del complesso Milano 4 You e quello degli edifici di riferimento

	<b>Milano 4 You</b>	<b>Edifici di riferimento</b>	<b>Risparmio ottenibile</b>
	<i>kWh/anno</i>	<i>kWh/anno</i>	<i>kWh/anno</i>
Energia primaria non rinnovabile	3.450.000	9.055.760	5.605.760

Tabella 8.2 – Comparazione tra il fabbisogno totale di energia primaria non rinnovabile del complesso Milano 4 You e quello degli edifici di riferimento

	<b>Milano 4 You</b>	<b>Edifici di riferimento</b>	<b>Risparmio ottenibile</b>
	<i>tCO<sub>2eq</sub>/anno</i>	<i>tCO<sub>2eq</sub>/anno</i>	<i>tCO<sub>2eq</sub>/anno</i>
Emissioni di CO <sub>2eq</sub>	690	1.902	1.212

Tabella 8.3 – Comparazione tra le emissioni climalteranti totali del complesso Milano 4 You e quello di edifici di riferimento

Come è possibile desumere dai dati riportati nelle precedenti tabelle, le scelte progettuali adottate per il progetto consentono un risparmio di energia primaria non rinnovabile, e

dunque delle emissioni climalteranti correlate, superiore al 60% rispetto ad edifici di nuova costruzione, analoghi per caratteristiche dimensionali a quelli previsti per Milano 4 You, realizzati però con il livello qualitativo minimo richiesto dalle normative attualmente vigenti in Regione Lombardia.

### **8.2) Recupero acque piovane**

La riduzione dei consumi di acqua potabile sarà ottenuta utilizzando per tutte le attività di irrigazione acqua di falda prelevata dagli stessi pozzi di emungimento realizzati per fini energetici.

L'utilizzo di acqua di prima falda per usi non potabili è infatti una strategia tipicamente adottabile per ridurre il ricorso ad acqua di acquedotto. Nel caso in esame saranno quindi sfruttati i pozzi di emungimento, già previsti per l'adduzione di acqua di falda al sistema di cogenerazione ed alle pompe di calore, anche per alimentare la rete di distribuzione di acqua non potabile. Tale operazione non richiede alcun sovradimensionamento dei pozzi perché l'acqua sarà prelevata nei periodi di ridotto carico termico e stoccata in appositi serbatoi di accumulo.

### **8.3) Controllo degli agenti inquinanti**

Per tutti gli ambienti con destinazione d'uso residenziale, in ottemperanza alle raccomandazioni della Comunità Europea, sarà prevista una completa sigillatura dell'involucro verso il terreno, mediante il rivestimento delle solette in cls con apposite guaine in polietilene.

### **8.4) Materiali ecosostenibili**

I materiali ed i componenti utilizzati nel settore edilizio vengono estratti, fabbricati, trasportati, lavorati nella fase di costruzione e, alla fine del loro ciclo di vita, smaltiti. Tutte queste fasi comportano generalmente un notevole consumo di energia, che rappresenta il contenuto energetico dei materiali stessi, o energia incorporata.

Nella maggior parte dei casi, la sua entità dipende principalmente dall'uso di combustibili fossili nei vari stadi, con conseguenti emissioni di CO<sub>2</sub>. È stato ampiamente dimostrato come il risparmio energetico connesso alla scelta di materiali da costruzione appropriati si ripercuota positivamente sull'impatto ambientale degli edifici. Materiali di origine naturale, come isolanti in fibra di legno o sughero, ad esempio, hanno contenuti energetici di un ordine di grandezza inferiore rispetto a quelli di origine sintetica.

Il contenuto energetico di uno specifico prodotto, tuttavia, non è di facile determinazione, in quanto dipende da molteplici variabili (ciclo produttivo, fonti energetiche sfruttate, tipo di trasporto, ecc.), spesso non controllabili. In considerazione di ciò, a scopo rappresentativo, si può ricorrere a specifici database, in grado di fornire dati medi ed indicativi. Per il contesto italiano si può fare riferimento al Protocollo ITACA, che riporta un elenco sintetico (ma non esaustivo) sulle voci di principale interesse (metalli, materiali inerti, materiali termoisolanti, materie plastiche, legno e affini). Informazioni più complete si possono reperire all'estero, ad esempio consultando la banca dati dell'IBO - Istituto di Ricerca Austriaco del Costruire Sano ed Ecologico, che comprende un censimento dettagliato di centinaia di materiali e componenti. Si noti, tuttavia, che ad un differente contesto geografico possono corrispondere differenti parametri energetici (mix nazionale, modalità di trasporto, ecc.). Per gli edifici presenti all'interno di Milano 4 You verrà valutata l'incidenza dell'energia incorporata nei materiali e nelle soluzioni costruttive e verranno date delle indicazioni al fine di limitarne la quantità e di garantire un contenimento complessivo dei fabbisogni energetici, sia diretti che indiretti. Al giorno

d'oggi nel panorama italiano non vi sono sufficienti dati per effettuare una completa valutazione circa la sostenibilità dei materiali da costruzione, ma il parametro dell'energia incorporata può sicuramente rappresentare un primo indicatore utile ai fini della sostenibilità.

## 9) STIMA DI MASSIMA DEI COSTI DI INTERVENTO

In questo capitolo si riporta il calcolo sommario dei costi di investimento totali per la realizzazione di tutte le opere impiantistiche legate all'approvvigionamento energetico a scala di quartiere.

Come già descritto nelle altre relazioni di progetto, l'intervento prevede la realizzazione di un'infrastruttura di distribuzione sotterranea ideata per accogliere tutti i servizi tecnologici necessari al funzionamento del complesso edilizio e per agevolare l'eventuale adeguamento futuro dei sistemi impiantistici mediante l'inserimento di nuove infrastrutture. Tale assetto infrastrutturale è in grado di garantire la possibilità di accogliere nuove infrastrutture tecnologiche ed eseguire interventi di manutenzione senza dover intervenire con scavi o altre lavorazioni che risulterebbero invasive all'interno del tessuto urbano del nuovo quartiere.

In tal senso, nella stima economica elaborata non sono stati considerati i costi di realizzazione delle opere civili per l'alloggiamento delle reti energetiche, in quanto sono stati già stati trattati nella stima economica di massima delle opere civili generali. In questa sede, non vengono, inoltre, presi in considerazione tutti gli impianti interni ai singoli edifici e quindi non facenti parte del sistema energetico di quartiere, come ausiliari e terminali.

Più nel dettaglio, si precisa che per le presenti stime si è fatto riferimento a prezziari, casi-studio e best-practice. Tutti i costi di investimento non includono l'IVA, gli oneri legati alle attività progettuali/autorizzative, ed i costi eventualmente necessari per specifiche indagini di carattere tecnico o ambientale (ed esempio perizie idrogeologiche).

Sulla base delle assunzioni fatte, è possibile dunque quantificare un costo complessivo di tutte le opere impiantistiche previste nell'assetto energetico di quartiere pari a circa 5.850.000 €, ripartiti secondo le seguenti macro-voci.

Voce di costo	Importo
Sistema di generazione con espansore a vite con potenza elettrica pari a 100 kW	€ 200,000
Caldaia alimentazione con potenza termica pari a 1000 kW	€ 600,000
Rete di teleriscaldamento e distribuzione acqua di falda	€ 400,000
Linea fumi e opere civili della centrale di teleriscaldamento	€ 500,000
Sottocentrali di interscambio presso gli edifici	€ 100,000
Pompe di calore elettriche per una potenza termica totale pari a 3300 kW	€ 850,000
Pozzi di emungimento e reimmissione in falda per una portata totale pari a 165 l/s	€ 500,000
Impianti fotovoltaici per una potenza totale pari a 1870 kW <sub>p</sub>	€ 2,250,000
Impianti elettrici e dati a servizio del sistema energetico di quartiere	€ 450,000
<b>Totale</b>	<b>€ 5,850,000</b>

*Tabella 9.1 – Stima di massima dei costi di investimento relativi agli impianti afferenti al sistema energetico di quartiere*

## **10) BUONE PRATICHE**

Con buone pratiche si intendono in questa sede scelte progettuali di sccondaria importanza, ma ugualmente capaci di influenzare le prestazioni energetico-ambientali del complesso e lo sfruttamento delle fonti energetiche rinnovabili.

### **10.1) Efficienza nell'illuminazione artificiale**

Tutti i punti luce afferenti all'impianto di illuminazione delle parti comuni del complesso utilizzeranno corpi illuminanti fluorescenti o a LED ad elevata efficienza.

Per quanto riguarda le singole unità abitative e le parti comuni degli edifici verrà suggerita e stimolata l'adozione di corpi illuminanti ad alta efficienza.

In sede preliminare, si stima di poter realizzare un risparmio di almeno il 50% rispetto ad un fabbisogno standard per illuminazione artificiale.

### **10.2) Efficienza degli elettrodomestici**

Per quanto riguarda gli elettrodomestici, un soluzione ad alta efficienza è rappresentata dalle lavatrici e lavastoviglie predisposte per un doppio allacciamento. Tali apparecchi sono dotati di un collegamento per l'acqua fredda e di uno per l'acqua calda proveniente dall'impianto di produzione di ACS, che viene impiegata per le fasi di lavaggio con acqua calda, evitando l'impiego di serpentine elettriche altamente energivore.

Sulla base di questa considerazione, tutti i punti di allaccio presenti nel complesso edilizio saranno predisposti con una doppia connessione per acqua fredda e calda.

### **10.3) Riduzione del consumo di acqua potabile**

Il progetto prevede l'applicazione di efficaci misure per il contenimento dei consumi idrici, che, stimando un fabbisogno standard per usi domestici di circa 250 litri per persona al giorno, possono essere ridotti almeno del 30%. L'obiettivo finale è una riduzione fino al 50%, tuttavia non si ritiene fattibile imporre dei limiti normativi, in quanto gli effettivi consumi sono strettamente legati al comportamento dei singoli utenti e difficilmente controllabili. La sperimentazione prevista, tuttavia, si propone di innescare comportamenti virtuosi negli abitanti, fornendo innanzitutto tecnologie idonee al risparmio e sensibilizzando l'attenzione per le tematiche energetico-ambientali.

Si prevede che, per quanto riguarda la componentistica degli impianti idrici a servizio degli alloggi, verranno adottate soluzioni ad elevato grado di risparmio.

In questo studio si ipotizza di poter ottenere una riduzione dei consumi legati ai vari utilizzi specifici, rispettivamente del 15% grazie all'installazione di erogatori con miscelatore o frangigetto, del 25% grazie all'impiego di cassette di scarico ad erogazione differenziata, del 20% grazie all'utilizzo di elettrodomestici di nuova generazione. Si stima, inoltre, che l'installazione di dispositivi di controllo della pressione riduca le perdite generali del 20%. Non si considerano, invece, riduzioni sui consumi relativi all'alimentazione, agli usi vari ed ai servizi esterni.

Si noti come i parametri di riduzione adottati non corrispondano ai migliori risultati ottenibili, al fine di mantenere un margine di sicurezza sulle stime e di tenere in considerazione il fatto che, per motivi di natura economica, non tutti gli utenti potrebbero essere disponibili a sostenere gli extracosti relativi alla componentistica innovativa.

Si suppone che gli effetti di risparmio ottenibili grazie all'adozione di componenti più efficienti si vadano a sommare a quelli relativi a comportamenti consapevoli.

Il fattore di risparmio viene calcolato secondo quanto riportato nella seguente tabella.

Usi	Consumo annuo specifico standard (m <sup>3</sup> /ab anno)	Fattore di risparmio	Consumo annuo specifico ridotto (m <sup>3</sup> /ab anno)
Igiene personale	19,7	0,77	15,2
Scarichi WC	23	0,75	17,2
Alimentazione	3,3	/	3,3
Lavaggio stoviglie	8,2	0,72	5,9
Lavaggio biancheria	11,5	0,72	8,3
Usi vari	11,5	/	11,5
Perdite	5,5	0,8	4,4
<b>Totale</b>	<b>82,7</b>	<b>/</b>	<b>65,8</b>

Tabella 10.1 - Fabbisogni complessivi per l'insediamento (usi domestici) ridotti attraverso l'adozione di comportamenti consapevoli e componentistica innovativa

L'adozione concomitante di misure gestionali e tecnologiche comporta una riduzione complessiva di circa il 20% del fabbisogno per soli usi domestici e del 7% di quello totale (usi domestici + servizi vari), con la distribuzione indicata nel seguente grafico.

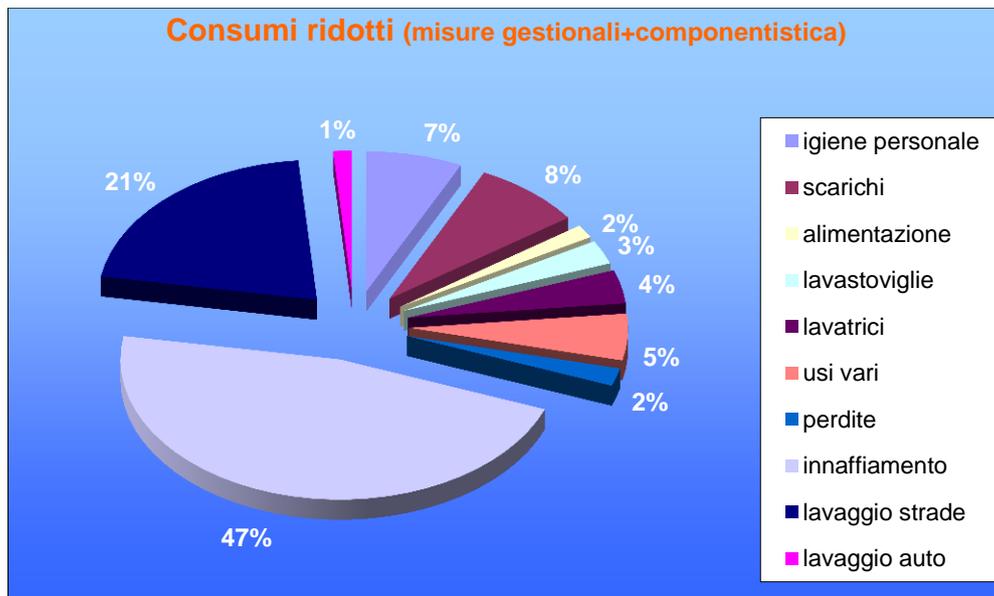


Figura 10.1 - Distribuzione del fabbisogno idrico complessivo, ridotto attraverso l'applicazione di misure di risparmio gestionali e tecnologiche.

## 11) CASO STUDIO

Allo scopo di esemplificare le strategie energetico-ambientali che stanno alla base di Milano 4 You, è stato effettuato, già in fase di progettazione urbanistica, un approfondimento analitico su un edificio particolarmente rappresentativo. Il caso studio selezionato consiste nell'edificio sperimentale per uffici, collocato nella fascia occidentale dell'insediamento. In questa struttura le metodologie e le tecnologie per l'efficienza energetica, applicate diffusamente sulla totalità del progetto, verranno esasperate e spinte fino ai massimi esiti conseguibili, grazie all'applicazione di soluzioni estremamente innovative, alcune delle quali non ancora immesse sul mercato. Lo scopo è quello di creare un *benchmark* di riferimento, sul quale verranno preliminarmente testati materiali, configurazioni e componenti avanzati, anche allo stato prototipale, al fine di oltrepassare il livello prestazionale generale del quartiere, già di per se attestato sull'eccellenza, e delineare ulteriori traguardi futuribili, ma al contempo validati nel concreto.

Le operazioni di ricerca, sviluppo e progettazione saranno seguite direttamente dal Politecnico di Milano, che si occuperà anche di supportare il trasferimento dei risultati e delle acquisizioni tecnico-scientifiche sulle altre costruzioni.

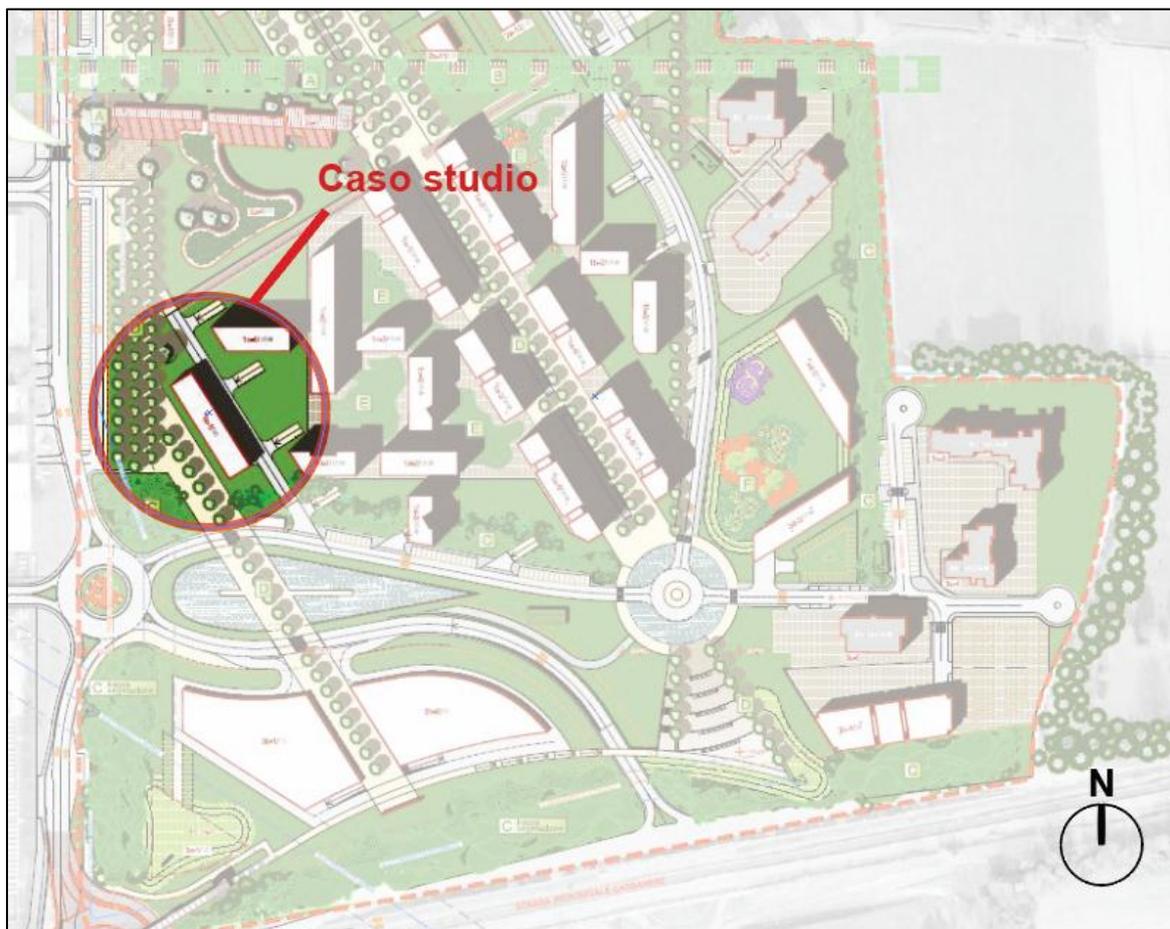
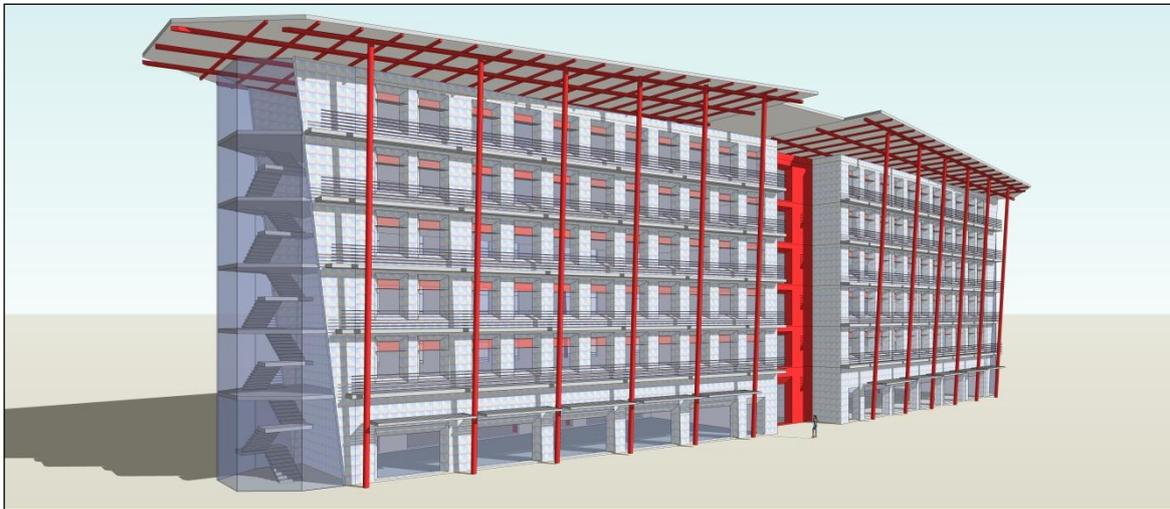


Figura 11.1 – Ubicazione dell'edificio sperimentale

Nello specifico, la morfologia sviluppata per l'edificio sperimentale consente un efficace controllo della radiazione solare e lo sfruttamento ottimale della ventilazione naturale, ottimizzando il comfort termico e minimizzando contemporaneamente il relativo fabbisogno energetico. La struttura portante dell'edificio, posta all'esterno dell'involucro,

permette di minimizzare le dispersioni e i ponti termici. I ballatoi che circondano l'edificio ai vari piani sono stati dimensionati per ombreggiare le finestre durante il periodo estivo e permettere la penetrazione della radiazione solare durante il periodo invernale. Il rapporto tra involucro trasparente ed opaco, l'elevato livello di coibentazione, la notevole massa termica delle strutture e delle murature perimetrali, nonché l'utilizzo di *Smart Windows* capaci di fornire una rapida risposta alle specifiche esigenze di comfort dell'utenza, insieme ai sistemi predittivo-adattivi di controllo dei flussi energetici, rappresentano accorgimenti mirati e strategici per incrementare significativamente l'efficienza operativa dell'edificio.

Nelle figure seguenti sono riportate una vista tridimensionale dell'edificio e lo schema delle principali tecnologie che vi sono integrate. Si noti che le analisi del presente capitolo sono basate su un livello preliminare della progettazione architettonica, per cui è possibile che ulteriori affinamenti vengano svolti nelle successive fasi di progettazione definitiva ed esecutiva, sviluppate specificamente dal Politecnico di Milano.



*Figura 11.2 – Vista 3 D dell'edificio*

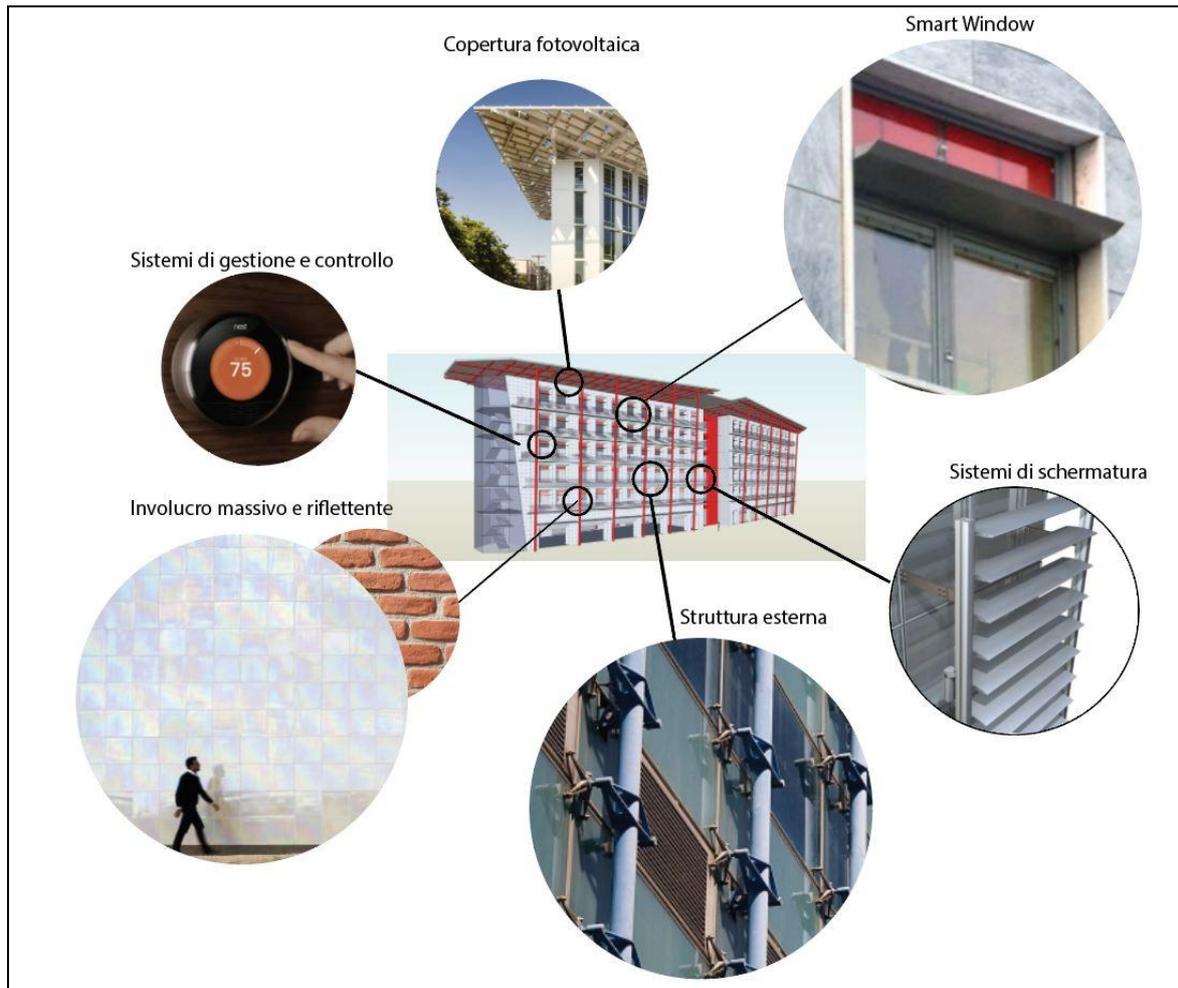


Figura 11.3 – Principali tecnologie integrate nell'edificio

### 1.1) Configurazione geometrica

La progettazione della morfologia del caso studio è stata sviluppata al fine di minimizzare il fabbisogno energetico dell'edificio attraverso il controllo ottimale dei guadagni esterni, della ventilazione naturale e delle dispersioni termiche attraverso l'involucro. Nello specifico, l'edificio si configura come un fabbricato di 6 piani fuori terra, con sviluppo longitudinale, articolato in due blocchi principali connessi tra loro dal vano di risalita centrale.

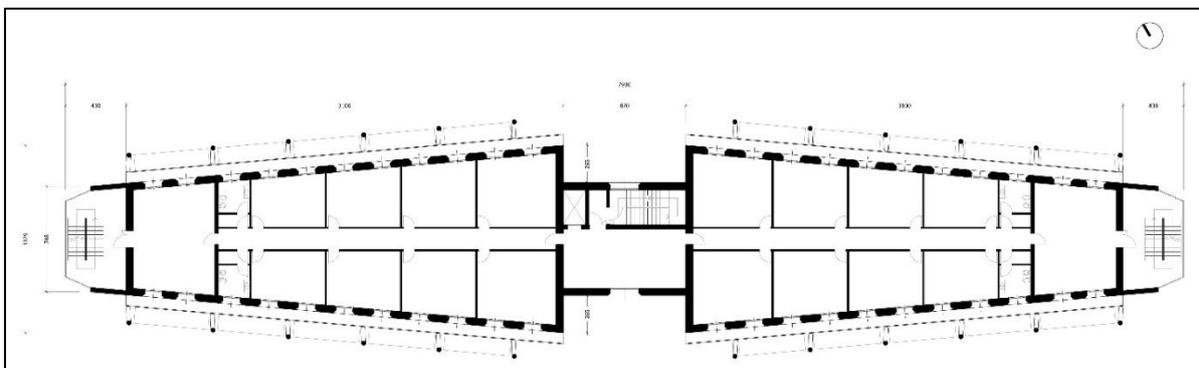


Figura 11.4 – Pianta del piano tipo

L'organizzazione degli spazi interni e la distribuzione delle aperture consentono, nelle stagioni intermedie, di sfruttare ed ottimizzare la ventilazione naturale di tipo "single-side", realizzata con aperture di ventilazione collocate su di un solo lato degli ambienti. Ogni ambiente infatti è stato dotato di due aperture tali da garantire un ricambio d'aria ottimale anche in condizioni di velocità del vento ridotte. Gli ambienti più grandi adibiti a sale riunione o open space, disposti alle estremità dell'edificio, sono invece stati dotati di aperture su lati opposti tali da garantire un maggior ricambio d'aria, attraverso lo sfruttamento della ventilazione naturale passante.

Le principali caratteristiche geometriche dell'edificio sono riportate nella tabella successiva.

Componente	Valore
Numero di piani	6
Volume totale	15.120 m <sup>3</sup>
Superficie lorda complessiva	4.000 m <sup>2</sup>
Superficie involucro opaco	3.581 m <sup>2</sup>
Superficie involucro trasparente	762 m <sup>2</sup>
Superficie disperdente	5.024 m <sup>2</sup>
Coefficiente di forma (S/V)	0,33
Percentuale di superficie vetrata rispetto all'involucro	21%

*Tabella 11.1 – Dati geometrici*

## 1.2) Caratteristiche degli involucri opachi

L'involucro dell'edificio di riferimento è stato concepito con il fine di ridurre i fabbisogni di energia sia per riscaldamento che per raffrescamento, abbattendo drasticamente i costi di gestione operativa. In tal senso, particolare attenzione è stata posta nella selezione di stratificazioni ad elevata inerzia e bassa trasmittanza termica. In particolare, le pareti perimetrali sono composte, partendo dall'esterno, da piastrelle in materiale ceramico altamente riflettente (1 cm), mattoni forati (12 cm), isolante termico in polistirene (10 cm), mattoni forati ad elevata resistenza termica (20 cm) e intonaco interno. Le piastrelle scelte come finitura del paramento esterno sono caratterizzate da elevati coefficienti di riflessione ed emissione nell'infrarosso, tali da ridurre drasticamente i fenomeni di surriscaldamento superficiale estivo. La muratura così realizzata garantisce, dunque, insieme ad un elevato livello di isolamento, anche ottimi valori di attenuazione e sfasamento dell'onda termica.

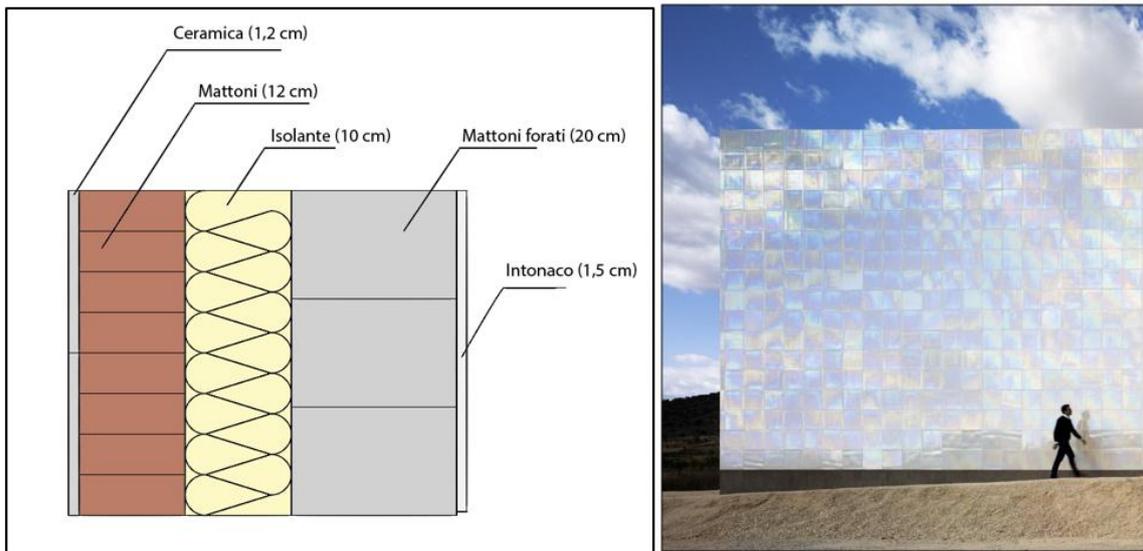


Figura 11.5 – Stratigrafia dell’ involucro opaco esterno ed esempio di finitura superficiale

I solai interpiano sono stati pensati per essere realizzati con sistemi prefabbricati leggeri del tipo *predalle*, tali da non gravare eccessivamente sulla struttura portante esterna.

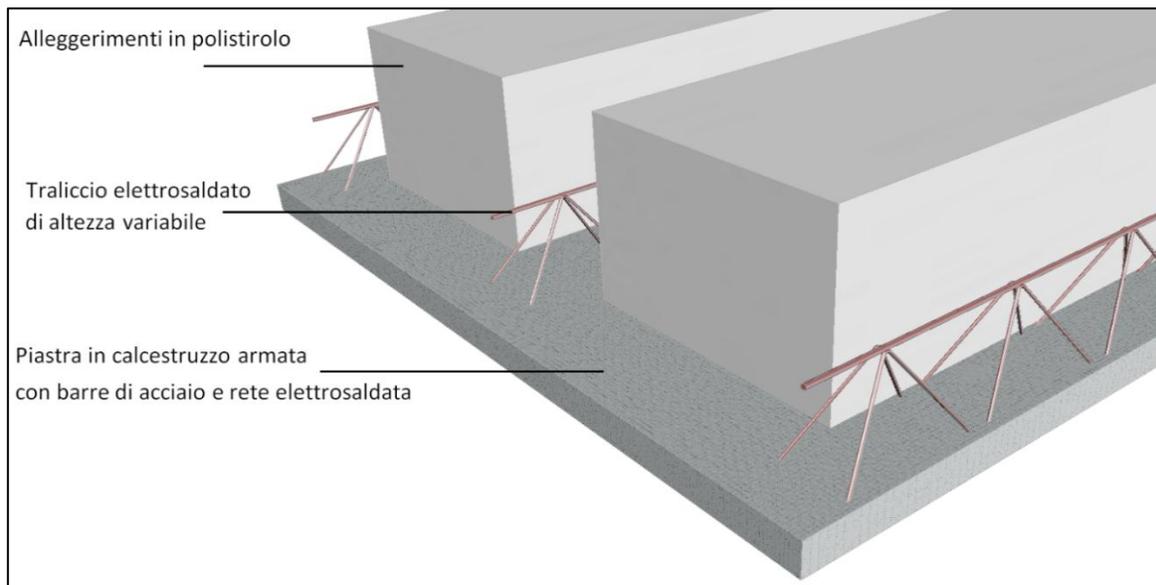


Figura 11.6 –Solaio predalle

Si riportano di seguito le principali caratteristiche degli elementi opachi dell’involucro edilizio calcolati secondo la norma *UNI EN ISO 13786:2008 - “Prestazione termica dei componenti per l’edilizia – Caratteristiche termiche dinamiche – Metodi di calcolo”*.

Elemento	Materiali (dall’esterno all’interno)	U [W/m <sup>2</sup> K]	Coefficiente di attenuazione	Sfasamento [ore]	Massa superficiale, M [kg/m <sup>2</sup> ]
Parete esterna	Ceramica/mattone/isolante/mattone forato/intonaco	0,2	0,098	15	533

Pavimento su terreno	Lastra di cemento a pavimento/isolante termico/piastrelle	0,25	0,94	2	35
Pavimento interzona	piastrelle/isolante termico/solaio predalle	0,7	0,92	1,8	275
Copertura	Piastrelle/isolante termico/solaio predalle	0,2	0,87	3,8	517

Tabella 11.2 –Materiali dell'involucro e caratteristiche termofisiche

### 1.3) Caratteristiche degli involucri trasparenti

Come anticipato, l'edificio sarà dotato di finestre intelligenti multifunzionali. In questo senso, si prevede l'installazione della tipologia di *Smart Window* sviluppata in collaborazione tra ENI e Politecnico di Milano, concepita per offrire prestazioni energetiche avanzate (soprattutto in termini di controllo solare), garantendo al contempo la propria autonomia operativa ed autosufficienza energetica. Ogni finestra è infatti suddivisa in due sezioni orizzontali, delle quali quella superiore è capace di produrre energia fotovoltaica che viene utilizzata per alimentare i sistemi di controllo solare mobili sottostanti, senza necessità di cablaggio. Il sopralucente, inoltre, realizzato con concentratori solari luminescenti (*Luminescent Solar Concentrators*, LSC) semitrasparenti di colore rosso, sarà in grado di abbassare la temperatura di colore della luce che filtra all'interno e quindi di migliorare il comfort visivo degli occupanti. Tra le due sezioni della finestra viene posizionato un *light shelf*, posto al di sopra del livello di vista degli occupanti e configurato per riflettere la luce naturale sul soffitto, permettendole di penetrare in profondità all'interno dell'ambiente. Grazie alla sua doppia sporgenza interna ed esterna, questo componente fornisce anche ombreggiamento in prossimità della finestra, riducendo i fenomeni di abbagliamento.

La sezione inferiore della finestra è dotata di vetrocamera ad alta trasparenza (70%) e resistenza termica ( $1,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ ), all'esterno del quale verranno installate delle veneziane mobili per un controllo solare puntuale. Un sensore esterno collegato ad un'apposita logica di controllo guiderà il movimento delle veneziane in funzione delle condizioni termiche ed illuminotecniche desiderate. Il movimento delle lamelle avverrà grazie ad un motore elettrico, integrato nel telaio e alimentato dalla *Smart Window* stessa.

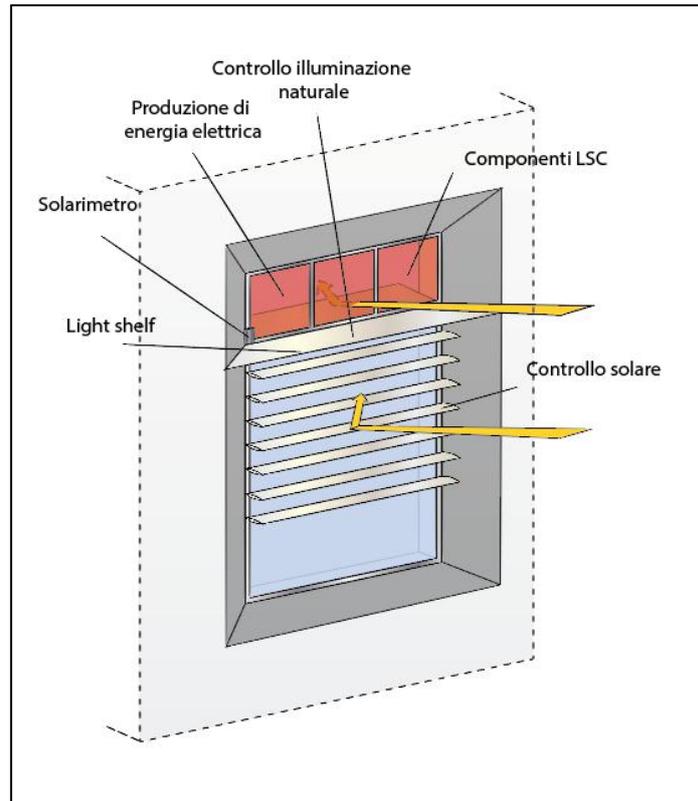


Figura 11.7 – Schema preliminare della Smart Window

Le funzioni principali della *Smart Window* possono dunque essere così riassunte:

- Controllo dell'illuminazione naturale: il componente opera un controllo della quantità e della tipologia di radiazione solare trasmessa nella banda del visibile (diretta, diffusa e riflessa) per l'ottimizzazione del livello di illuminazione naturale ed il controllo dell'abbagliamento all'interno degli spazi asserviti.
- Controllo dei carichi/guadagni solari: analogamente al punto precedente, il componente opera un controllo della quantità di radiazione solare trasmessa su tutte le lunghezze d'onda per il controllo dei carichi/guadagni solari all'intero dell'edificio.
- Controllo delle dispersioni termiche: la *Smart Window* è pensata per minimizzare il flusso di energia termica disperso verso l'ambiente esterno, garantendo bassi livelli di trasmittanza termica.
- Produzione di energia elettrica: il componente è in grado di generare energia elettrica da utilizzare per coprire il proprio fabbisogno operativo (carichi elettrici ed elettronici) o esportabile nella rete dell'edificio.

#### 1.4) Sistemi di controllo e gestione (BACS)

L'edificio sperimentale integrerà le più avanzate tecnologie di automazione, regolazione e gestione, generalmente identificate in maniera sintetica dall'acronimo BACS (*Building Automation and Control Systems*). Tali sistemi saranno capaci di influenzare le prestazioni energetiche dell'edificio agendo opportunamente sulla gestione del riscaldamento, del raffrescamento, della ventilazione meccanica, delle apparecchiature di illuminazione e dei sistemi di schermatura solare.

Nello specifico i singoli componenti tecnologici dell'edificio saranno gestiti da un sistema di controllo basato su logiche predittivo-adattive MPC (*Model Predictive Control*), ad oggi

la tecnologia più complessa ma anche più promettente in un'ottica di gestione intelligente ed integrata dell'edificio.

### 1.5) Dotazioni impiantistiche

L'impianto di distribuzione dei fluidi vettori all'interno dell'edificio sperimentale si distingue in due impianti principali: quello di distribuzione dell'aria primaria, che integra l'aria di rinnovo degli ambienti interni, e la rete di distribuzione dell'acqua (refrigerata nel periodo estivo, riscaldata nel periodo invernale).

L'aria primaria verrà trattata all'interno di unità di trattamento del tipo a doppio canale con un recuperatore di calore entalpico. I fluidi trattati saranno poi distribuiti nell'edificio attraverso canalizzazioni realizzate negli appositi cavedi, posizionati nel nucleo centrale di risalita.

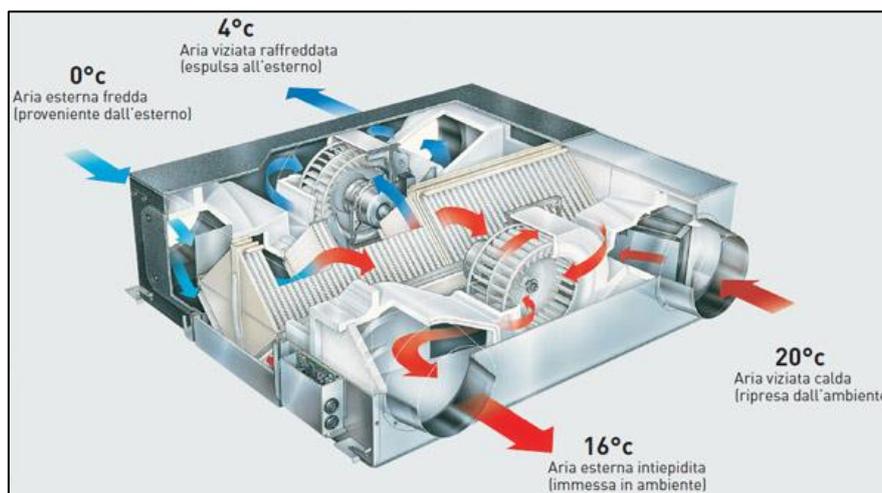


Figura 11.8 – Schema del recuperatore di calore

Ad ogni livello, la distribuzione avverrà tramite canalizzazioni poste nel controsoffitto dei corridoi, con diffusori di immissione posti nei corridoi stessi ed in prossimità delle porte di accesso ai singoli locali, sul lato interno. La ripresa avverrà con un percorso inverso rispetto alla mandata, sempre tramite canalizzazioni poste nel controsoffitto della zona corridoi e con bocchette di ripresa collocate sia in questa zona che sulle pareti dei singoli locali confinanti con i corridoi.

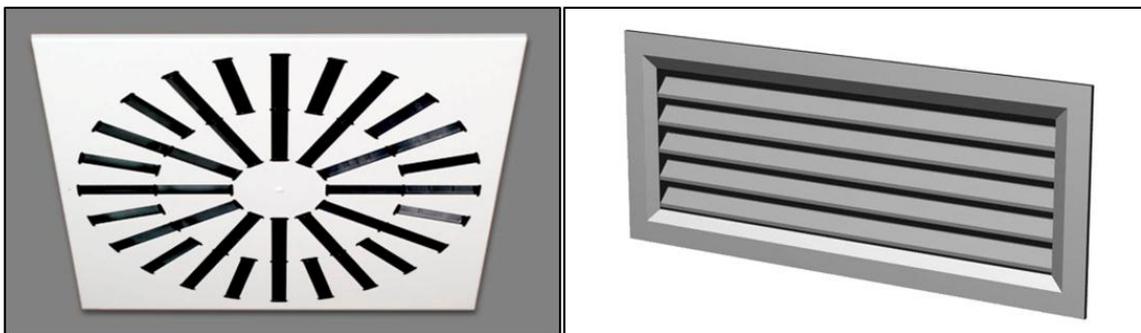


Figura 11.9 – Possibili tipologie di diffusori di mandata e griglie ripresa dell'aria primaria

I fluidi caldi e refrigerati verranno prodotti dal sistema energetico di quartiere precedentemente descritto ed immessi in terminali rappresentati da pannelli radianti a

soffitto tali da garantire livelli di comfort termico elevati e consumi contenuti.

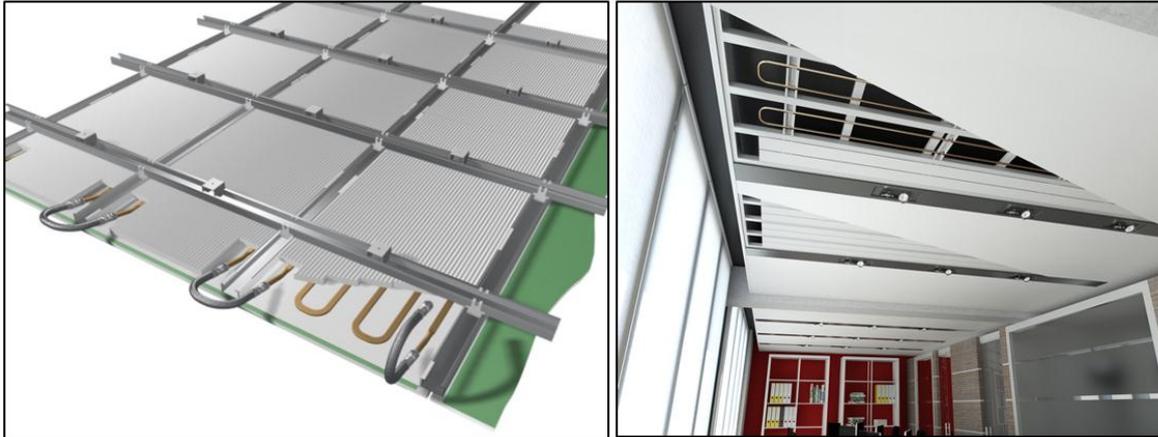


Figura 11.10 – Schema e applicazione di sistemi radianti a soffitto

### 1.6) Valutazione delle prestazioni energetiche

I calcoli dei fabbisogni energetici del caso studio sono stati eseguiti utilizzando il software EnergyPlus<sup>15</sup>, che effettua analisi dinamiche su base oraria, con un grado di dettaglio molto maggiore rispetto alle procedure standard di calcolo in regime stazionario, generalmente utilizzate in ambito di certificazione energetica. In particolare, è noto come i metodi statici sottostimino soprattutto i carichi durante il periodo estivo e non tengano conto delle fluttuazioni delle condizioni al contorno.

I dati climatici orari utilizzati per la simulazione sono corrispondenti ad un anno tipo meteorologico, riferito al sito di Milano Linate.

I dati di input utilizzati per le presenti analisi comprendono, ovviamente, le caratteristiche termofisiche dell'involucro edilizio precedentemente illustrate. Per quanto riguarda gli altri fattori di influenza sulla performance energetica, quali gli apporti di calore dovuti alle apparecchiature o alle persone e le dispersioni dovute alla ventilazione, si sono assunti parametri standard desunti dalle normative di riferimento<sup>16</sup>, così come illustrato nelle tabelle riportate di seguito.

<sup>15</sup> EnergyPlus, versione 7.0 – U.S. Department of Energy (<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>)

<sup>16</sup> UNI EN 832 - Thermal Performance of Buildings, Calculation of Energy Use for Heating, Residential Buildings, 2001;

UNI 10339:1995 - Impianti aeraulici al fini di benessere. Generalità, classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura.

UNI/TS 11300-1:2016: Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale

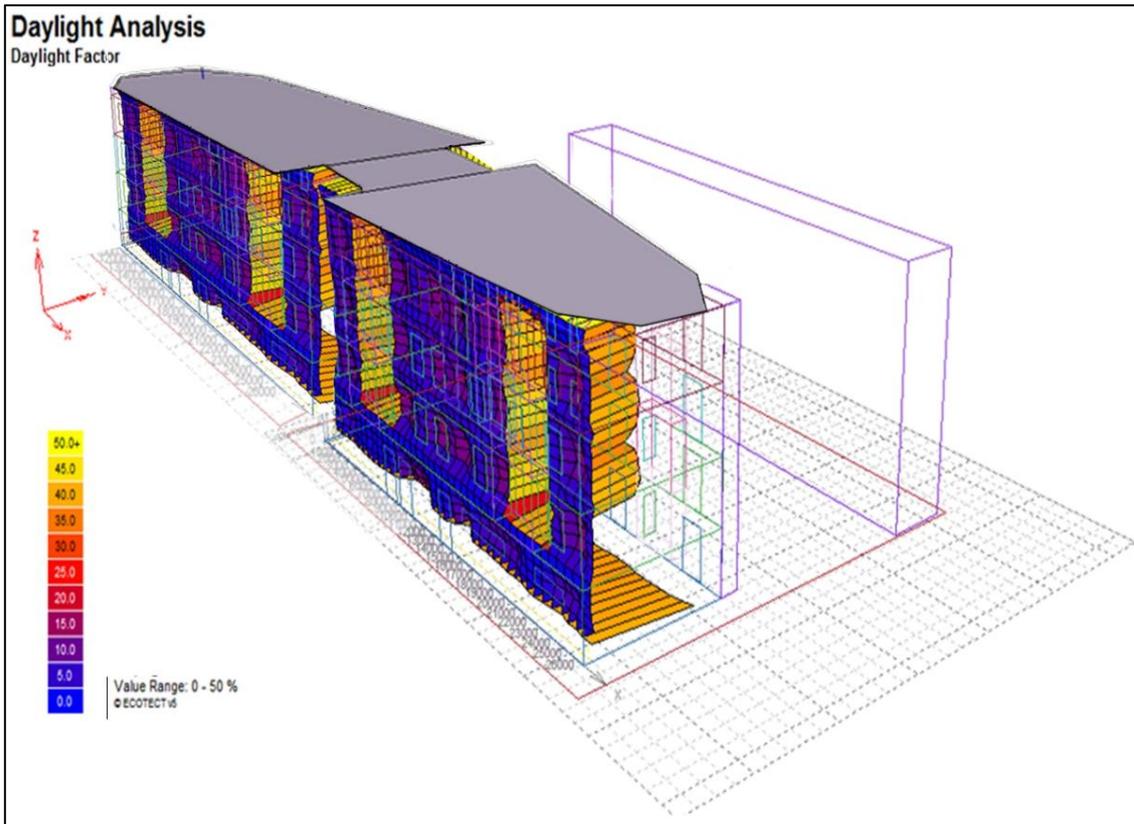


Figura 11.11 – Modello di simulazione dell'edificio

Vista la gravosità dei consumi per raffrescamento che caratterizza in generale il contesto lombardo, sono state considerate anche specifiche strategie per il controllo solare e la ventilazione notturna durante il periodo estivo. Per simulare il controllo solare, attuabile tramite schermature del tipo a veneziane orientabili, si è ipotizzato che se la radiazione incidente sulle finestre supera un valore di  $200 \text{ W/m}^2$ , i dispositivi di ombreggiamento mobili entrano in funzione.

Allo scopo di trarre il massimo beneficio dai fenomeni inerziali, inoltre, è stato ipotizzato un funzionamento intermittente degli impianti termici, in funzione degli orari di lavoro degli uffici.

Giorni		Ambienti adibiti ad ufficio [ $\text{W/m}^2$ ]	Spazi di servizio [ $\text{W/m}^2$ ]
Lunedì-Venerdì	dalle ore 7:00 alle ore 17:00	20	8
	dalle ore 17:00 alle ore 23:00	2	1
	dalle ore 23:00 alle ore 7:00	2	1
Sabato - Domenica	dalle ore 7:00 alle ore 17:00	2	1
	dalle ore 17:00 alle ore 23:00	2	1
	dalle ore 23:00 alle ore 7:00	2	1

Tabella 11.3 – Distribuzione oraria dei carichi interni

Parametro	Set-point
Ventilazione naturale	Inverno - 1 V/h (dalle 7:00 a.m. alle 17:00 p.m.) Estate - 2,3 V/h (dalle 7:00 p.m. alle 17:00 a.m.)
Controllo solare	Attivo se l'irradianza sul piano verticale supera $200 \text{ W/m}^2$
Set point riscaldamento	$20^\circ\text{C}$ (dalle 7:00 a.m. alle 17:00 p.m.)

	16°C (dalle 17:00 p.m. alle 7:00 a.m.)
Set point raffrescamento	26°C (dalle 7:00 a.m. alle 17:00 p.m.) off (dalle 17:00 p.m. alle 7:00 a.m.)

Tabella 11.4 – Descrizione dei parametri di simulazione

### 1.6.1 Fabbisogni di energia utile

Per energia utile si intende il calore, in entrata o in uscita dall'edificio, necessario per garantire all'interno le condizioni di comfort di progetto, al netto delle perdite impiantistiche. La domanda di energia utile dell'edificio in oggetto, calcolata mensilmente per il riscaldamento ed il raffrescamento viene mostrata nel seguente grafico. Come si può notare, il fabbisogno per il raffrescamento è stato suddiviso in sensibile e latente.

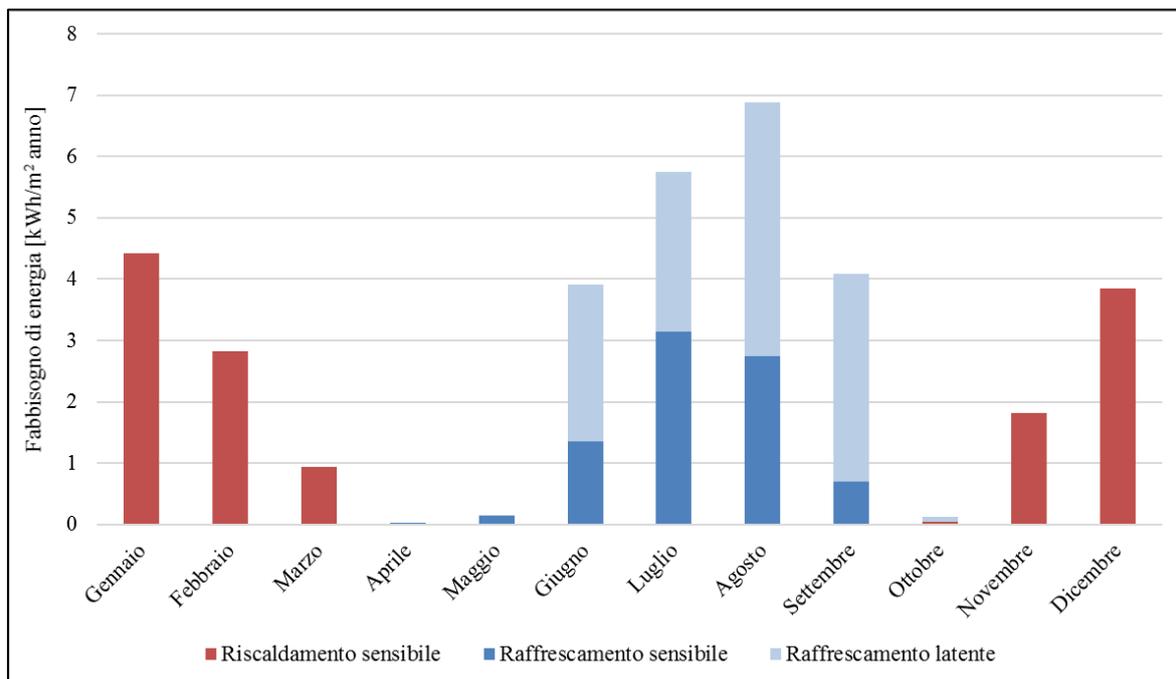


Figura 11.12 – Stima della domanda di energia mensile per riscaldamento e raffrescamento

Come si può osservare la domanda annuale complessiva di energia può considerarsi molto bassa e pari a circa 13 kWh/m<sup>2</sup> per riscaldamento e 8 kWh/m<sup>2</sup> per raffrescamento sensibile. A quest'ultima quota va aggiunto il fabbisogno di energia dovuto ai carichi latenti pari a 12 kWh/m<sup>2</sup>. Si noti che il fabbisogno di calore latente non è funzione dalle caratteristiche termofisiche dell'edificio, in quanto dipende solo dalle condizioni climatiche e dai ricambi d'aria imposti dalla destinazione d'uso dell'edificio.

Analizzando nel dettaglio la distribuzione dei carichi, è possibile rilevare come la combinazione dell'elevata resistenza ed inerzia termica dell'involucro opaco e l'uso di dispositivi di schermatura intelligenti, comandati da sistemi di gestione e controllo avanzati, permetta all'edificio di minimizzare le dispersioni di calore in inverno ed i carichi solari in estate. La prestazionalità energetica è particolarmente evidente nelle mezze stagioni, periodi nei quali il fabbisogno di energia termica può considerarsi quasi nullo.

### 1.6.2 Potenze termiche di picco e consumi di energia

Le potenze di picco per riscaldamento e raffrescamento dell'edificio sperimentale,

calcolate secondo i dati di progetto forniti dalla normativa di riferimento<sup>17</sup> e riportate nel grafico seguente, risultano essere in linea con le stime effettuate nei capitoli precedenti per gli edifici ad uso terziario, anche se migliorative.

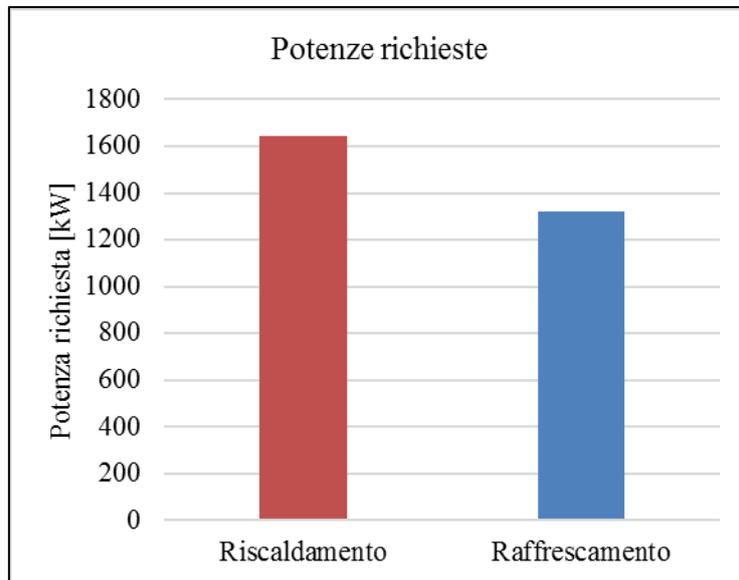


Figura 11.13 – Potenze termiche di picco

Sulla base dei fabbisogni di energia precedentemente valutati e delle potenze in gioco è stato quindi possibile stimare le quantità di energia termica ed elettrica da fornire per mantenere le condizioni di comfort desiderate.

Considerando quindi che l'edificio sarà servito da terminali di emissione a soffitto radiante ad alta efficienza, regolati da un sistema di controllo a singola zona, il consumo di energia termica del cogeneratore ammonterebbe a 8 kWh/m<sup>2</sup> anno, mentre il consumo di energia elettrica per alimentare le pompe di calore e gli ausiliari sarebbe pari a 10,5 kWh/m<sup>2</sup> anno (2,5 kWh/m<sup>2</sup> anno per il riscaldamento e 8 kWh/m<sup>2</sup> anno per il raffrescamento).

Al fine di rendere questi due consumi comparabili, è necessario far riferimento al relativo ammontare in energia primaria, ovvero una forma di energia presente in natura che non derivi dalla trasformazione di nessuna altra forma di energia. Nella prassi comune, si usa considerare energia primaria anche il contenuto termico dei combustibili fossili, riferito al loro potere calorifico inferiore. Tuttavia, secondo la normativa vigente, solo il 20% dei consumi relativi alla combustione della biomassa viene computato come fonte non rinnovabile.

Per convertire il consumo di energia elettrica in energia primaria è stato utilizzato il valore di 2,16 (kWh<sub>primaria</sub>/kWh<sub>el</sub>), che corrisponde all'efficienza del Sistema Elettrico Nazionale italiano<sup>18</sup>.

Il consumo annuo di energia primaria dell'edificio considerato è dunque pari a 25,3 kWh/m<sup>2</sup> anno, composto da 8 kWh/m<sup>2</sup> anno per riscaldamento e 17,3 kWh/m<sup>2</sup> anno per raffrescamento. I consumi riportati tengono in considerazione anche i consumi di tutti gli ausiliari elettrici, quali le pompe di circolazione e le centraline di controllo, necessari per il

<sup>17</sup> UNI 10349-2:2016 - Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 2: Dati di progetto.

<sup>18</sup> AEEG, 2008. Delibera EEN 3/08: Aggiornamento del fattore di conversione dei kWh in tonnellate equivalenti di petrolio connesso al meccanismo dei titoli di efficienza energetica.

funzionamento ottimale del sistema edificio-impianto.

### 1.7) Scenari energetici

Come dagli standard previsti dal progetto Milano 4 You, l'edificio oggetto di analisi, è dotato di una copertura di circa 1400 m<sup>2</sup> che ospita un impianto fotovoltaico per lo sfruttamento dell'energia solare.

Al fine di valutare diverse opzioni energetiche e di consentire una maggiore flessibilità progettuale, mediante il software di simulazione PVSYST, si sono stimate dettagliatamente le prestazioni energetiche di 2 diverse configurazioni impiantistiche, differenti per potenza installata e quindi per possibilità di copertura dei consumi. Nello specifico, nel primo scenario è stato previsto di installare un sistema fotovoltaico tale da coprire totalmente i consumi elettrici delle pompe di calore e dei sistemi ausiliari, mentre nel secondo la taglia del sistema fotovoltaico viene incrementata per soddisfare anche i consumi dovuti al sistema di ventilazione meccanica ed all'illuminazione artificiale.

#### 1.7.1 Scenario 1

Sulla base delle simulazioni energetiche appena descritte, nel primo scenario il sistema fotovoltaico dovrà garantire la produzione di circa 42.000 kWh elettrici all'anno. A tale scopo sarà necessario installare sulla copertura dell'edificio un impianto da 44 kW<sub>p</sub>. Ipotizzando quindi di usare dei moduli al silicio monocristallino, si stima di produrre annualmente circa 43.000 kWh elettrici da fonte solare.

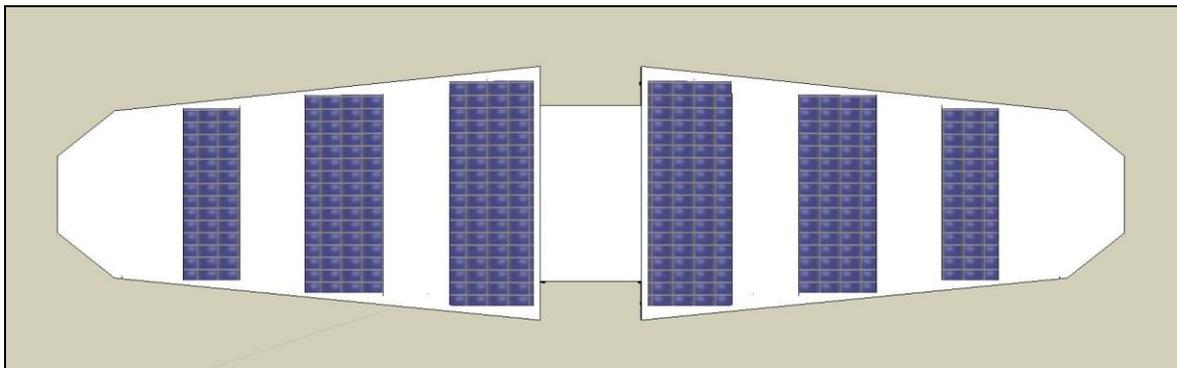


Figura 11.14 – Copertura fotovoltaica dello scenario 1

Nella tabella e nel grafico seguenti sono riportati gli estremi della configurazione impiantistica considerata ed i risultati della simulazione effettuata.

<b>Caratteristiche dell'impianto</b>			
	Potenza globale dell'impianto	kW <sub>p</sub>	44
	Tipologia moduli	-	Silicio cristallino
	Potenza di picco singolo modulo	W <sub>p</sub>	140
	Quantità totale moduli	n°	314
	Superficie occupata	m <sup>2</sup>	413
<b>Gruppo di conversione</b>			
	Tipologia inverter	-	Trifase 14 kW
	Numero di inverter		3
<b>Perdite energetiche</b>			

	Perdite per basso irraggiamento	%	-2,8
	Perdite per temperatura	%	-5,8
	Perdite per qualità del modulo	%	-5,2
	Perdite per mismatch delle stringhe	%	-2,1
	Perdite resistive dei cablaggi	%	-0,7
	Perdite per conversione	%	-3,5
<b>Energia producibile dall'impianto</b>			
	Energia in uscita dall'inverter	kWh	43.032
	Produttività specifica	kWh/kW <sub>p</sub>	978
	Coefficiente di prestazione	%	78

Tabella 11.5 – Caratteristiche dell'impianto e risultati della simulazione prestazionale

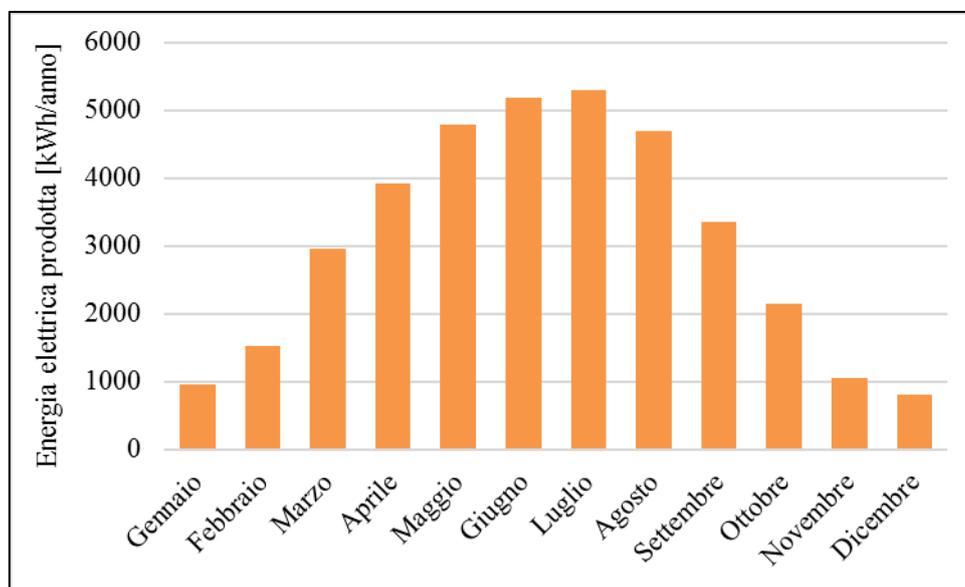


Figura 11.15 - Produttività mensile dell'impianto fotovoltaico previsto per l'edificio tipo (kWh/mese)

### 1.7.2 Scenario 2

Nel secondo scenario, incrementale rispetto al primo, si prevede di coprire non solo i consumi elettrici relativi ai sistemi di riscaldamento e raffrescamento, ma anche quelli dovuti all'illuminazione artificiale ed alla ventilazione meccanica controllata.

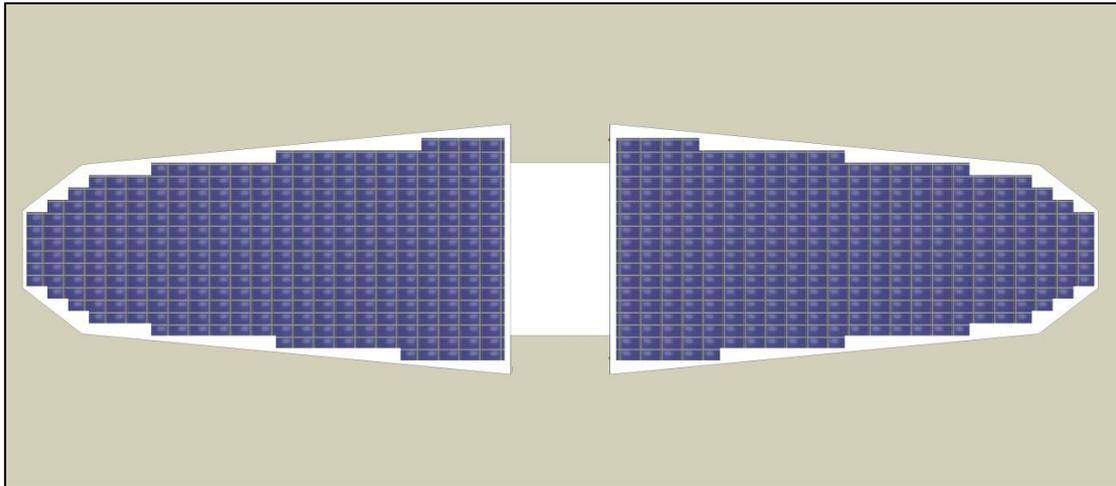


Figura 11.16 – Copertura fotovoltaica dello scenario 2

In tal senso, è stato necessario prima di tutto quantificare i consumi elettrici relativi all'illuminazione artificiale, i quali sono stati stimati ipotizzando di voler garantire un livello di illuminamento generale di 300 lux sul piano di lavoro posto a 85 cm dal piano di calpestio, tramite l'ausilio di lampade al LED ad elevata efficienza (120 lm/W). Attraverso il metodo del flusso totale<sup>19</sup> è quindi stato calcolato il carico elettrico specifico e il relativo assorbimento elettrico annuale, pari a 43.000 kWh.

A questi consumi occorre aggiungere quelli relativi alla ventilazione meccanica che possono essere stimati, tramite calcoli preliminari, pari a 15.000 kWh/anno. L'impianto fotovoltaico dovrà quindi essere dimensionato per produrre circa 100.000 kWh all'anno.

Nella tabella e nel grafico seguenti sono riportati gli estremi della seconda configurazione impiantistica ed i risultati della simulazione effettuata.

<b>Caratteristiche dell'impianto</b>			
	Potenza globale dell'impianto	kW <sub>p</sub>	112
	Tipologia moduli	-	Silicio cristallino
	Potenza di picco singolo modulo	W <sub>p</sub>	140
	Quantità totale moduli	n°	804
	Superficie occupata	m <sup>2</sup>	1.059
<b>Gruppo di conversione</b>			
	Tipologia inverter	-	Trifase 17 kW
	Numero di inverter		6
<b>Perdite energetiche</b>			
	Perdite per basso irraggiamento	%	-2,8
	Perdite per temperatura	%	-5,8
	Perdite per qualità del modulo	%	-5,2
	Perdite per mismatch delle stringhe	%	-2,4
	Perdite resistive dei cablaggi	%	-0,9
	Perdite per conversione	%	-3,5

<sup>19</sup> F. Butera, "Architettura e ambiente - Manuale per il controllo della qualità termica, luminosa e acustica degli edifici". Etaslibri, 1995.

<b>Energia producibile dall'impianto</b>			
	Energia in uscita dall'inverter	kWh	107.696
	Produttività specifica	kWh/kW <sub>p</sub>	966
	Coefficiente di prestazione	%	77

Tabella 11.6 – Caratteristiche dell'impianto e risultati della simulazione prestazionale

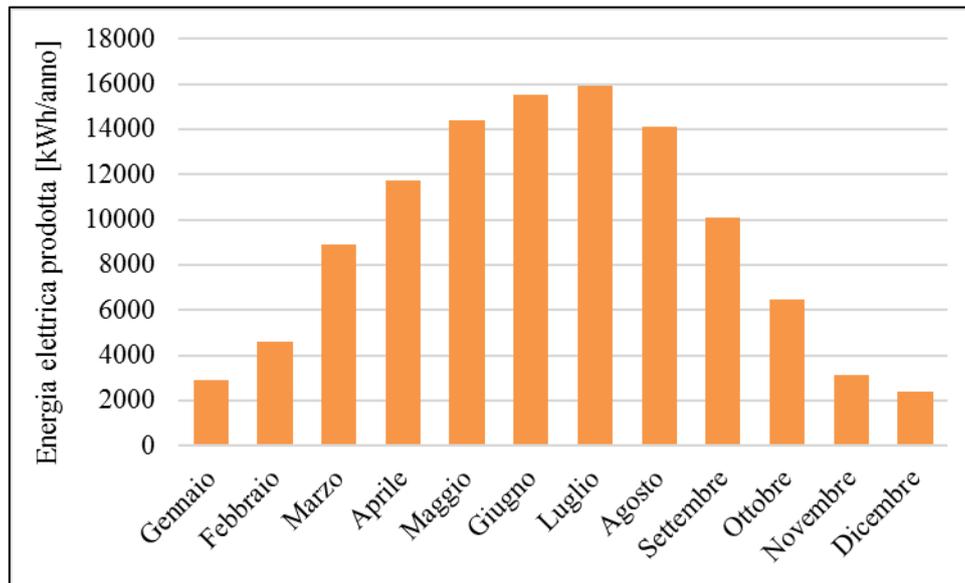


Figura 11.17 - Produttività mensile dell'impianto fotovoltaico previsto per l'edificio tipo (kWh/mese)

Come è possibile osservare dai dati riportati, utilizzando la configurazione impiantistica proposta, il sistema fotovoltaico è in grado di generare annualmente circa 966 kWh/kW<sub>p</sub>, prodotti in corrente alternata in bassa tensione. Tale produttività, se rapportata alla potenza complessiva dell'intero impianto, corrisponde ad una quota di energia elettrica pari a circa 107 kWh/anno leggermente superiore ai consumi di energia elettrica precedentemente stimati.

## Appendice A - Definizione dei parametri dell'edificio di riferimento

Con edificio di riferimento o target si intende un edificio identico a quello oggetto di valutazione in termini di geometria (sagoma, volumi, superficie calpestabile, superfici degli elementi costruttivi e dei componenti), orientamento, ubicazione territoriale, destinazione d'uso e situazione al contorno e avente caratteristiche termiche e parametri energetici predeterminati conformemente a quanto elencato nella presente appendice. In particolare si riportano nella seguente tabella i valori limite della trasmittanza termica  $U$  dei componenti di involucro dell'edificio di riferimento, validi per la zona climatica E.

Componenti	Limite della trasmittanza termica $U$ [W/m <sup>2</sup> K]
Strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra	0,26
Strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati	0,22
Strutture opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra	0,26
Chiusure tecniche trasparenti e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati	1,4
Strutture opache verticali ed orizzontali di separazione tra unità immobiliari confinanti	0,8

Tabella A.1 – Valori limite della trasmittanza termica dei componenti di involucro validi per la zona climatica E

I componenti finestrati con orientamento da est ad ovest passando da sud dovranno inoltre essere caratterizzati da un fattore di trasmissione solare totale  $g_{gl+sh}$  inferiore a 0,35. Per quanto riguarda invece i componenti impiantistici, l'edificio di riferimento si considera dotato degli stessi impianti di produzione di energia dell'edificio reale, aventi le efficienze di riferimento, comprensive dell'effetto dei consumi di energia elettrica ausiliaria, indicate nelle seguenti tabelle.

Efficienza dei sottosistemi di utilizzazione	Riscaldamento	Raffrescamento	Produzione di ACS
Distribuzione idronica	0,81	0,81	0,7
Distribuzione aeraulica	0,83	0,83	-
Distribuzione mista	0,82	0,82	-

Tabella A.2 – Efficienze medie dei sottosistemi di utilizzazione dell'edificio di riferimento

Sottosistemi di generazione	Produzione di energia termica			Produzione di energia elettrica in situ
	Riscaldamento	Raffrescamento	Produzione di ACS	
Generatore a combustibile liquido	0,82	-	0,8	-
Generatore a combustibile gassoso	0,95	-	0,85	-
Generatore a combustibile solido	0,72	-	0,7	-
Generatore a biomassa solida	0,72	-	0,65	-
Generatore a biomassa liquida	0,82	-	0,75	-
Pompa di calore a compressione di vapore con motore elettrico	3	(*)	2,5	-
Macchina frigorifera a compressione di vapore a motore elettrico	-	2,5	-	-
Pompa di calore ad assorbimento	1,2	(*)	1,1	-
Macchina frigorifera a fiamma indiretta	-	$0,6 \times \eta_{gn} (**)$	-	-
Macchina frigorifera a fiamma diretta	-	0,6	-	-
Pompa di calore a compressione di vapore a motore endotermico	1,15	1	1,05	-
Cogeneratore	0,55	-	0,55	0,25
Riscaldamento con resistenza elettrica	1	-	-	-
Teleriscaldamento	0,97	-	-	-
Teleraffrescamento	-	0,97	-	-
Solare termico	0,3	-	0,3	-
Solare fotovoltaico	-	-	-	0,1
Mini eolico e mini idroelettrico	-	-	-	(**)
$\eta_{gn}$ è l'efficienza del generatore collegato all'assorbitore				
(*) per pompe di calore che prevedono la funzione di raffrescamento si considera lo stesso valore delle macchine frigorifere della stessa tipologia				
(**) si assume l'efficienza media del sistema installato nell'edificio reale				

Tabella A.3 – Efficienze medie dei sottosistemi di generazione dell'edificio di riferimento

Relativamente all'illuminazione artificiale, per l'edificio di riferimento si considerano gli stessi parametri (occupazione, sfruttamento della luce naturale) dell'edificio reale e sistemi automatici di regolazione di classe B (UNI EN 15232).

Si assumono infine i fabbisogni specifici di energia elettrica per la ventilazione riportati nella tabella successiva.

Tipologia	$E_{ve}$ [Wh/m <sup>3</sup> ]
Ventilazione meccanica a semplice flusso per estrazione	0,25
Ventilazione meccanica a semplice flusso per immissione con filtrazione	0,3
Ventilazione meccanica a doppio flusso senza recupero	0,35
Ventilazione meccanica a doppio flusso con recupero	0,5
UTA: rispetto dei regolamenti di settore emanati in attuazione alle direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE, assumendo la portata e la prevalenza dell'edificio reale.	

*Tabella A.4 – Fabbisogno di energia elettrica specifico per m<sup>3</sup> di aria movimentata*

## Appendice B – Fattori di conversione in energia primaria e fattori di emissione

<b>Fattori di conversione in energia primaria</b>			
<i>Vettore energetico</i>	$f_{P,ren}$	$f_{P,ren}$	$f_{P,tot}$
Gas naturale	1,05	0	1,05
GPL	1,05	0	1,05
Gasolio o olio combustibile	1,07	0	1,07
Carbone	1,10	0	1,10
Biomasse solide	0,2	0,8	1
Biomasse liquide e gassose	0,4	0,6	1
Energia elettrica da rete	1,95	0,47	2,42
Teleriscaldamento (*)	1,5	0	1,5
Teleraffrescamento (*)	0,5	0	0,5
RSU (ad uso teleriscaldamento)	0,2	0,2	0,4
Solare termico	0	1	1
Fotovoltaico, mini-eolico e mini-idraulico	0	1	1
Energia termica dall'ambiente esterno – free cooling	0	1	1
Energia termica dall'ambiente esterno – pompa di calore	0	1	1

(\*) in assenza di valori dichiarati e asseverati dal fornitore

Tabella B.1 – Fattori di conversione in energia primaria

<b>Fattori di emissione</b>	
<b>Tipo di combustibile</b>	<b>Valore [kg CO<sub>2eq</sub>/kWh]</b>
Gas naturale	0,1998
GPL	0,2254
Gasolio	0,2642
Olio combustibile	0,2704
Carbone	0,3402
Biomasse	0
RSU	0,1703
Energia elettrica	0,4332
Teleriscaldamento (*)	0,36
Teleraffrescamento (*)	0,1688

(\*) in assenza di valori dichiarati e asseverati dal fornitore

Tabella B.2 – Fattori di emissione per il calcolo della quantità di CO<sub>2eq</sub>

