

POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Ingegneria Edile-Architettura

Corso di laurea Magistrale in Ingegneria dei Sistemi Edilizi



**L'INTEGRAZIONE DI SISTEMI PER LO SFRUTTAMENTO DI
FONTI ENERGETICHE RINNOVABILI IN CONTESTI URBANI DI
PREGIO STORICO E ARTISTICO**

Relatore: Prof. Ing. Angelo LUCCHINI

Co-Relatori: Prof. Ing. Enrico Sergio MAZZUCHELLI

Ing. Sergio FIORATI

Tesi di laurea di:

Anna CANETTI

Matricola 786927

Anno Accademico 2013-2014

Ai miei genitori.

*“Credo che avere la terra e non rovinarla sia la più bella forma d'arte che si
possa desiderare.”*

ANDY WARHOL

Artista, (1928 - 1987)

Sommario

ABSTRACT	1
ABSTRACT (ENGLISH VERSION)	3
1. INTRODUZIONE	5
1.1 PREMESSA	5
1.2 OBIETTIVI E METODOLOGIA	8
2. LO SCENARIO ATTUALE: L'EDILIZIA ITALIANA TRA INNOVAZIONE ENERGETICA E PATRIMONIO COSTRUITO	11
2.1 L'EDILIZIA E I CONSUMI ENERGETICI	11
2.2 L'IMPORTANZA DEL PATRIMONIO STORICO E TUTELATO	14
2.2.1 I CENTRI URBANI STORICI E IL PAESAGGIO.....	16
3. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	21
3.1 EFFICIENZA ENERGETICA	21
3.1.1 PANORAMA INTERNAZIONALE.....	22
3.1.1.1 Il Protocollo di Kyoto	22
3.1.1.2 L'Agenda 21	23
3.1.2 NORMATIVE EUROPEE.....	24
3.1.2.1 Le direttive comunitarie	27
3.1.3 NORME E REGOLAMENTI IN ITALIA.....	29
3.1.3.1 La legislazione italiana precedente alla Direttiva 2002/91/CE	29
3.1.3.2 Il recepimento della Direttiva 2002/91/CE	31
3.2 EDIFICI TUTELATI E A VALENZA STORICO-ARTISTICA	34
3.2.1 I DOCUMENTI INTERNAZIONALI.....	34
3.2.2 IL CODICE DEI BENI CULTURALI E DEL PAESAGGIO	36
3.2.3 LEGGI REGIONALI E REGOLAMENTI EDILIZI COMUNALI.....	37
3.3 CONSIDERAZIONI SUL TEMA	42
4. ENERGIE RINNOVABILI	45
4.1 PREMESSA	45
4.2 ENERGIA RINNOVABILE IN ITALIA	47
4.2.1 FONTI RINNOVABILI: COSA E QUALI SONO.....	47
4.2.2 I CONSUMI DI ENERGIA	51
4.2.3 QUADRO REGIONALE DELL'INNOVAZIONE ENERGETICA IN EDILIZIA.....	56
4.3 TIPOLOGIE DI IMPIANTI ADATTI A CONTESTI URBANI DI PREGIO STORICO	57
4.3.1 IMPIANTI SOLARI.....	58
4.3.1.1 Impianto solare fotovoltaico	59

4.3.1.2	Impianto solare termico	67
4.3.2	IMPIANTI MINI E MICRO-EOLICI.....	69
4.3.3	ENERGIA GEOTERMICA, IDROTERMICA E AEROTERMICA: POMPE DI CALORE	72
5.	CASI DI STUDIO: EDIFICI RESIDENZIALI VINCOLATI A MILANO	77
5.1	PREMESSA.....	77
5.2	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	78
5.2.1	LEGGI DELLA REGIONE LOMBARDIA.....	79
5.2.2	STRUMENTI URBANISTICI ED EDILIZI	81
5.2.2.1	Il Piano del Governo del Territorio	81
5.2.2.2	Il Regolamento Edilizio di Milano	82
5.3	PRIMO CASO DI STUDIO: RISTRUTTURAZIONE EDILIZIA E RECUPERO DI UN SOTTOTETTO	85
5.3.1	INTRODUZIONE.....	85
5.3.2	VINCOLI NORMATIVI.....	86
5.3.2.1	Urbanistici ed edilizi	86
5.3.2.2	Energetici	89
5.3.3	STATO DI FATTO E CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE COSTRUTTIVE.....	92
5.3.4	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO.....	93
5.3.4.1	Abachi degli elementi tecnici	96
5.3.4.2	Sistema impiantistico	103
5.3.4.3	Studio energetico	104
5.3.4.4	Fabbisogno energetico	110
5.3.5	UTILIZZO DELLE FONTI RINNOVABILI E CONSIDERAZIONI FINALI	112
5.4	SECONDO CASO DI STUDIO: SOSTITUZIONE EDILIZIA E RISTRUTTURAZIONE RILEVANTE DI UN COMPLESSO EDILIZIO.....	115
5.4.1	INTRODUZIONE E STATO DI FATTO	115
5.4.2	VINCOLI NORMATIVI.....	117
5.4.2.1	Urbanistici ed edilizi	118
5.4.2.2	Energetici	122
5.4.3	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO GLOBALE	126
5.4.4	RISTRUTTURAZIONE EDILIZIA DEI BLOCCHI A, B, D, E.....	128
5.4.4.1	Aspetti estetici e funzionali	128
5.4.4.2	Abachi degli elementi tecnici	135
5.4.4.3	Sistema impiantistico	141
5.4.4.4	Studio energetico e dimensionamento impiantistico	142
5.4.4.5	Utilizzo delle rinnovabili e considerazioni sul tema	155

5.4.5	SOSTITUZIONE EDILIZIA DEI BLOCCHI C ED F.....	158
5.4.5.1	Abachi degli elementi tecnici	160
5.4.5.2	Sistema impiantistico	162
5.4.5.3	Studio energetico e dimensionamento del sistema impiantistico	163
5.4.5.4	Utilizzo delle rinnovabili e considerazioni sul tema	171
5.4.6	TAVOLE RIASSUNTIVE DELL'INTERVENTO	173
6.	CONCLUSIONI	183
7.	BIBLIOGRAFIA	188
8.	INDICE DELLE FIGURE	191
9.	INDICE DELLE TABELLE	197

Abstract

Il tema della sostenibilità legato alla riqualificazione energetica del patrimonio edilizio storico è oggi di grande attualità.

Le esigenze di abbattimento dei consumi energetici da parte del settore delle costruzioni, uno dei più energivori, sfociano nella necessità di intervenire sul vasto patrimonio edilizio esistente, da cui nasce questo lavoro, che mira a trovare un punto di incontro tra il tema dello sviluppo sostenibile mediante lo sfruttamento di fonti energetiche rinnovabili e la conservazione architettonica degli edifici e paesistica dei luoghi.

L'urgenza di far fronte al problema ambientale tramite un miglioramento energetico del settore edilizio è tradotta da direttive e leggi, a livello globale e nazionale, in requisiti di prestazione energetica e livelli massimi di emissioni di inquinanti da rispettare, il cui recepimento in Italia è stato studiato nel dettaglio; parallelamente si sono analizzati gli strumenti regolamentari in merito alla tutela e alla salvaguardia dell'edilizia storica, concentrandosi sui punti di incontro delle due tematiche ed evidenziandone le lacune.

Nell'ottica di proporre soluzioni impiantistiche atte allo sfruttamento di fonti energetiche rinnovabili nel rispetto delle peculiarità dei manufatti edilizi, sono state proposte le diverse possibilità di utilizzo di tali fonti nel rispetto dell'integrazione architettonica, individuando soluzioni energeticamente valide in grado di coniugare l'efficienza di funzionamento con la preservazione dell'aspetto esterno degli immobili.

Il risultato di questo studio si traduce nell'applicazione dell'approccio metodologico proposto, che parte dall'analisi di vincoli normativi e caratteristici del contesto, passando attraverso lo studio delle possibili soluzioni tecnologiche e impiantistiche rinnovabili rispettosi della tutela, fino alla realizzazione e alla gestione dell'edificio, in due diversi casi di studio, che permettono di studiare tre diversi interventi: il recupero di un sottotetto in un centro storico, una ristrutturazione rilevante e una sostituzione edilizia in un'area urbana tutelata. Nel rispetto delle prescrizioni regolamentari in termini di efficienza energetica e anche di tutela, sono state proposte soluzioni impiantistiche di elevata efficienza energetica, che sfruttano energie rinnovabili senza deturpare l'aspetto esteriore degli edifici. Per uno studio più completo delle prestazioni, è stato necessario studiare e analizzare anche l'involucro e le tecnologie utilizzate negli interventi.

Il lavoro vuole dimostrare che esiste la concreta possibilità di integrazione tra le esigenze di tutela monumentale, seppur legata ai singoli contesti insediativi sempre differenti, e l'inalienabile bisogno di utilizzo di energia pulita.

Abstract (English version)

The theme of sustainability correlated to the energetic requalification of historical building heritage is nowadays a highly topical question.

The needs of energy consumptions' abatement of the construction sector, which is one of the most energy intensive, converge in the necessity of transforming the extended existing building stock. This work aims to find a meeting point between the sustainable development using renewable sources and buildings architectural conservation and landscape preservation.

International and local laws and regulations translate the urgent need of buildings' energetic behavior improvement in energy performance requirements and pollution emissions level's upper bound, of which Italian transpositions have been studied in detail. At the same time, regulations regarding the conservation and the preservation of our historic buildings heritage have been analyzed, drawing attention to the meeting points and the gaps between the two themes.

Joining the goal to find plant designs that use renewable sources in full compliance with buildings' characteristic and distinguishing features, different appropriate kind of plant installations are provided, identifying the best suitable innovative solutions that join a valid architectonic integration together with high energetic efficiency features.

This work identifies a methodological process that starts with normative prescriptions and background constraints investigation, going through the evaluation of different technologies and plants that use renewable sources honoring the buildings peculiarities, ending with existing historical buildings fruition and management. The result is the process application to two examples, which allowed studying three different cases: the recycling of an attic in a city historical center's building, the property renovation and the property replacement of historical buildings in a protected urban area.

Respecting law requirements in terms of energetic efficiency and architectural conservation, high-efficiency plant designs using renewable sources are supplied, finding the way to properly respond also to the exterior needs of the historical buildings. To achieve better and correct results, a full-scale study of the buildings' envelopes has been made, providing valid technological solutions for the walls.

This work aims to demonstrate that a compromise between conservation needs and energetic update requirements of using renewable-sources technological systems in ancient buildings, linked to the inalienable need of clean energy, exists and must be found.

1. Introduzione

1.1 Premessa

L'aumento del costo delle fonti energetiche fossili, i cambiamenti climatici globali e la rottura degli equilibri naturali hanno chiaramente dimostrato la necessità di agire su diversi fronti per mettere in atto un processo sostenibile di sviluppo in molti ambiti, primo tra i quali quello dell'edilizia.

La maggior parte degli interventi promossi attualmente sono volti a rispettare la decisione della Commissione Europea di raggiungere, entro il 2020, livelli di emissioni drasticamente ridotti (di almeno il 20% rispetto a quelli del 1990), aumentando al contempo la quota di fonti rinnovabili sul consumo totale di energia ad almeno il 20%.

Circa il 40% dell'energia complessivamente consumata dall'Unione Europea è assorbita dal settore civile; la situazione italiana si allinea perfettamente a questa statistica, poiché l'ultimo Rapporto Annuale sull'efficienza Energetica (RAEE) dell'ENEA¹ (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo sostenibile), ha mostrato che nel 2013 il settore civile ha assorbito il 36% dell'energia disponibile, attingendo soprattutto (75%) da fonti non rinnovabili, favorendo quindi le emissioni di CO₂ in atmosfera.

In questo contesto si assiste attualmente, e probabilmente così sarà anche nel prossimo futuro, ad una forte accelerazione del processo di miglioramento energetico del patrimonio edilizio esistente, senza esclusione di quello di carattere storico-artistico.

Le analisi dei consumi energetici hanno difatti mostrato come le condizioni attuali degli edifici permettano un ampio margine di miglioramento sui consumi stessi, grazie soprattutto all'utilizzo di tecnologie all'avanguardia in grado di sfruttare le fonti rinnovabili, favorendo uno sviluppo ed un miglioramento sostenibile.

A tal proposito sono necessari degli strumenti di guida e di controllo della progettazione e della realizzazione di impianti e tecnologie che siano in grado di aumentare l'efficienza energetica di questi manufatti edilizi.

Seguendo la linea imposta dalla Comunità Europea, le normative in materia energetica sono in continua evoluzione e aggiornamento: negli ultimi anni si sono fatte più chiare e

¹ L'ENEA è l'Agenzia nazionale per le Nuove tecnologie, l'Energia e lo sviluppo sostenibile. Le sue attività riguardano le tematiche di efficienza energetica, fonti rinnovabili, nucleare, ambiente e clima, sicurezza e salute e ricerca di sistema elettrico. ENEA cerca, tramite le proprie competenze e attività di ricerca, di sviluppare nuove tecnologie e applicazioni avanzate, diffondendo i propri risultati favorendole la valorizzazione ai fini produttivi.

prescrittive, incentivando una progettazione a basso impatto ambientale, concentrandosi quasi unicamente su edifici di nuova costruzione.

Tuttavia, in una realtà come quella italiana, portatrice di un vasto patrimonio edilizio esistente, dove gli spazi edificabili sono sempre meno disponibili, risulta necessario porre l'attenzione sul miglioramento degli impianti del patrimonio costruito, favorendo il risparmio energetico insieme con la conservazione architettonica dei singoli edifici e dei centri storici e di formazione antica nel loro complesso.

La presente ricerca mira a trovare un punto di incontro tra lo sviluppo sostenibile e la conservazione: cercare di aumentare l'efficienza energetica dei manufatti attraverso l'utilizzo di fonti rinnovabili e di materiali da costruzione sostenibili, dall'elevata durabilità e manutenibilità, valorizzando allo stesso tempo le caratteristiche morfologiche, architettoniche e artistiche del manufatto edilizio. Questa modalità di intervento fornisce un doppio vantaggio: quello energetico e quello del recupero del costruito esistente con conseguente riduzione del consumo del territorio.

La carenza normativa in ambito energetico correlato a queste realtà e la mancanza di indicazioni e prescrizioni che ne derivano rappresentano però un ostacolo al raggiungimento di tale obiettivo.

D'altro canto il problema della sostenibilità ambientale si fa ogni giorno più grave e urgente. Il recepimento delle direttive europee che hanno imposto obiettivi serrati per il 2020 in merito di sfruttamento di fonti rinnovabili ha fatto sì che l'integrazione di questi impianti negli edifici diventasse un tema su cui investire risorse economiche e tecniche.

Un passo verso la normalizzazione dei requisiti è già stato fatto: le leggi nazionali più recenti includono nelle categorie di edifici soggetti a miglioramento energetico quelli esistenti, introducendo qualche indicazione in merito ad interventi di ristrutturazione, sostituzione edilizia e risanamento conservativo.

Nonostante l'attenzione posta verso gli edifici del secolo scorso, le prescrizioni e i requisiti che riguardano gli edifici di ambito storico e artistico sono, in ogni caso, poco chiari e talvolta assenti; inoltre, la principale problematica dell'applicazione delle norme inerenti il risparmio energetico a questa tipologia di manufatti è la forte singolarità degli stessi e dei contesti urbani e paesaggistici in cui sono collocati.

Il rischio che deriva da questo insieme di normative regionali e comunali lacunose nei riguardi dello sviluppo di fonti rinnovabili in edifici collocati in aree urbane di pregio storico-artistico è che si ignorino le reali possibilità di intervento, disincentivando la realizzazione di progetti che possono risultare validi ed efficienti.

Un punto di incontro tra le esigenze di efficienza energetica, soprattutto in merito ai limiti e agli obiettivi prefissati dall'Unione Europea, e la tutela del patrimonio storico e caratteristico potrebbe essere quella di far rientrare il miglioramento energetico e l'utilizzo di fonti rinnovabili nel restauro degli edifici, tipologia di intervento definita in modo piuttosto chiaro negli strumenti normativi nazionali e locali.

Sebbene gli edifici tutelati rappresentino una porzione limitata, per quantità, del patrimonio edilizio costruito, essi rivestono un ruolo fondamentale in un Paese ricco di storia come l'Italia, poiché costituiscono una risorsa economica, in termini di turismo, e culturale, in quanto portatori di una memoria storica e artistica incommensurabile.



Figura 1: Palazzo storico di Milano che riassume alcune tra le caratteristiche peculiari dell'edilizia milanese; l'intonaco giallo Milano, la cornice grigia attorno ai serramenti, il piano terra bugnato.



Figura 2: Palazzo Rucellai a Firenze. Edificio storico rappresentativo delle caratteristiche costruttive della trazione fiorentina. [Fonte: Google Images]

Le specifiche caratteristiche di cui sono dotati tali edifici (Figura 1 e 2), le singolari necessità e i diversi ambienti e contesti urbani in cui sono collocati (Figura 3) impongono che le scelte progettuali siano definite sia dalla necessità d'uso che dalla compatibilità con le caratteristiche peculiari. L'adeguamento impiantistico è fondamentale ma complesso nei riguardi della funzionalità da una parte e dell'estetica e della conservazione dall'altra.



Figura 3: Centro storico di Bologna. Si nota come tutti gli edifici situati in questa zona urbana abbiano caratteristiche cromatiche e costruttive simili tra loro e peculiari di questa città.

Il principale obiettivo del presente lavoro è quindi quello dell'integrazione di impianti che sfruttino le fonti energetiche rinnovabili, concentrandosi sugli edifici tutelati, che rappresentano da sempre un ambito che pone forti limitazioni. È necessario superare la visione puramente conservativa, utilizzando un approccio che ricorra a soluzioni "ad hoc", che porti ad adeguate scelte progettuali.

Questa ricerca si posiziona quindi in uno scenario di grande fermento e sperimentazione in termini di progettazione integrata, di utilizzo consapevole delle risorse e dei materiali, di conservazione edilizia e di valorizzazione architettonica.

1.2 Obiettivi e metodologia

L'obiettivo principale della ricerca è coniugare l'aspetto funzionale dei servizi tecnologici con quello della conservazione e tutela del manufatto edilizio, definendo e seguendo delle linee guida che forniscano indicazioni e permettano un approccio metodologico per il miglioramento della prestazione energetica degli edifici attraverso soluzioni rispettose e consapevoli dell'esistente, ai fini di un necessario controllo dell'efficienza energetica di edifici di elevato valore storico, artistico e culturale, appartenenti a centri storici o a nuclei di formazione antica, tutelati dalle normative e regolamenti vigenti.

La dicotomia che caratterizza la tematica è di facile intuizione: se da un lato la problematica del controllo energetico risulta di primaria importanza non solo nel contesto del dibattito per lo sfruttamento consapevole dell'ambiente, ma anche ai fini di una reale sostenibilità economica e ambientale dei processi di gestione dei manufatti edilizi, dall'altro la

complessa realtà e stratificazione storica e architettonica di cui sono rappresentativi deve essere tutelata e rispettata, ai fini di non svaloriare la natura e il valore dell'edificio.

La tesi affronta il tema del miglioramento energetico nell'edilizia tutelata, approfondendo i nodi che stanno alla base del conflitto apparente che incorre tra conservazione e sostenibilità. Il presupposto su cui si basa la ricerca sta nella consapevolezza di come sia impossibile raggiungere degli obiettivi in merito di efficienza energetica senza passare attraverso il riconoscimento del bene culturale come risorsa non rinnovabile, per il quale è necessario talvolta conservarne i materiali e le caratteristiche morfologiche, salvaguardandone il valore di autenticità nel rispetto della sostenibilità.

L'importanza di intervenire sull'esistente è chiara; il patrimonio costruito costituisce ampia parte del parco edilizio del nostro Paese e in un'era in cui le città diventano di giorno in giorno più energivore, e di pari passo gli edifici, l'urgenza della riduzione dei consumi energetici è più che mai evidente. Lo studio parte quindi con l'illustrazione della situazione edilizia attuale in Italia in termini di consumi e di patrimonio edilizio, per poi soffermarsi su un punto focale ed imprescindibile nello studio della presente tematica, ovvero le normative, che a livello europeo e nazionale governano il tema del risparmio energetico, che sono state prese come spunto di riflessione a proposito della criticità che esiste nella materia dell'efficienza energetica se rapportata con l'antico. Il problema su cui ci si deve soffermare è quello di riuscire ad adattare un quadro normativo pensato sul nuovo che però è di grande impatto sul costruito ed incombe in modo poco chiaro sul patrimonio edilizio tutelato.

Definita la situazione legislativa generale, sono state analizzate ed illustrate le tipologie di fonti rinnovabili esistenti, soffermandosi su quelle più idonee ad essere applicate su edifici di piccola o media taglia, in contesti urbani di pregio storico.

La fase di ricerca converge nell'analisi di due fabbricati residenziali casi di studio, entrambi situati a Milano, accomunati da determinati vincoli di tutela ma diversi per tipologia di intervento, di cui si è evidenziato come la singolarità intrinseca di ognuno sia una caratteristica della quale tenere conto durante la progettazione.

Poiché l'individuazione dei vincoli normativi è un punto imprescindibile per lo svolgimento corretto degli interventi, è stato quindi analizzato il quadro normativo regionale in materia di efficienza energetica ed utilizzo delle fonti rinnovabili, nonché il Regolamento Edilizio comunale di recente revisione, mostrando come seppur sottoposti allo stesso regolamento, i due edifici permettono di intervenire in modalità differenti a seconda delle proprie caratteristiche peculiari.

L'individuazione accurata dei vincoli normativi urbanistici ed edilizi, di tutela e salvaguardia, insieme a quelli riguardanti la prestazione energetica e la sostenibilità, ha portato ad una metodologia razionale di progettazione ed intervento, volta al raggiungimento dei requisiti prestazionali e degli obiettivi di efficienza energetica di impianti ed involucro, nel rispetto dei vincoli di tutela e salvaguardia.

In base a questo, sono state analizzate e motivate le scelte realizzative di involucro e servizi tecnologici dei due manufatti edilizi, mostrando come lo stesso problema iniziale venga risolto in maniera differente a seconda delle casistiche, fornendo i risultati prestazionali dei sistemi-edificio ottenuti. Infine, è stata fatta un'ipotesi di impianto centralizzato per il secondo intervento, coniugando efficienza energetica, sostenibilità e conservazione.

La ricerca quindi vuole cercare e dimostrare che esistono soluzioni in grado di generare un dialogo funzionale tra permanenza ed adeguamento energetico, che permettono di raggiungere i nuovi requisiti minimizzando le perdite di potenzialità testimoniali presenti nell'edificio tutelato.

I temi affrontati sono, riassumendo, il risparmio energetico in termini di sviluppo sostenibile, lo sfruttamento delle risorse rinnovabili nel rispetto delle direttive attuali, il miglioramento prestazionale dell'edificio e la valorizzazione e conservazione delle peculiarità e delle caratteristiche testimoniali dell'immobile soggetto a tutela.

Nel rispetto della normativa vigente anche in merito di tutela e conservazione di immobili di particolare interesse storico-artistico, si vogliono fornire delle soluzioni impiantistiche valide, che possano indicare una valida strada da seguire per il miglioramento della prestazione energetica nell'edilizia e per una gestione efficiente del sistema edificio-impianto, propedeutica alla redazione di un piano di intervento finalizzato alla riduzione dei consumi, volto a rispondere, per quanto ancora possibile, in modo tempestivo all'emergenza ambientale grave e senza precedenti che caratterizza il nostro tempo.

2. Lo scenario attuale: l'edilizia italiana tra innovazione energetica e patrimonio costruito

2.1 L'edilizia e i consumi energetici

Il recupero sostenibile ed energeticamente vantaggioso rappresenta attualmente il nuovo grande interesse del comparto edilizio. Si tratta quindi di agire sul patrimonio esistente, così come avviene già per le nuove costruzioni, con il chiaro obiettivo integrato di coniugare le esigenze di eco-sensibilità mediante la riduzione delle emissioni in atmosfera di gas serra, di convenienza economica, in termini di risparmio energetico e rientro in tempi rapidi dei capitali investiti, e di fisiologia umana, salvaguardando ed incrementando i livelli di benessere ambientale interno ai luoghi di vita.

Come si analizzerà nel capitolo successivo tramite la spiegazione delle indicazioni normative nazionali ed internazionali, se nel settore della nuova costruzione il tema della sostenibilità ambientale pare sia diventato sufficientemente operativo, con strategie, linee guida e politiche nazionali ed internazionali di riferimento, il campo finalizzato all'elevazione prestazionale dell'esistente ha margini di miglioramento piuttosto ampi.

Per quanto riguarda il sistema energetico italiano, nel 2011 la quantità di energia consumata complessivamente sul territorio nazionale è pari a circa 184 milioni di tonnellate equivalenti di petrolio (MTep²). La dinamica dei consumi energetici nazionali è correlata all'andamento dell'attività economica, che influisce soprattutto sui consumi dell'industria e dei trasporti, e, in misura minore ma pur sempre consistente, a fattori atmosferici, che influiscono soprattutto sui consumi per il riscaldamento degli edifici. Gli interventi finalizzati all'incremento dell'efficienza energetica non hanno, per il momento, avuto un impatto rilevante sul consumo globale della Nazione, soprattutto se paragonato con gli altri paesi europei. In Figura 4 è riportato il bilancio energetico dell'Italia del 2011 con le percentuali relative a tutti i settori principali. Si può notare come, sulla totalità, il consumo attribuibile al settore edilizio è di circa il 35% del totale.

² TEP, Tonnellate Equivalenti di Petrolio, è un'unità di misura dell'energia che indica la quantità di energia liberata dalla combustione di una tonnellata di petrolio grezzo.

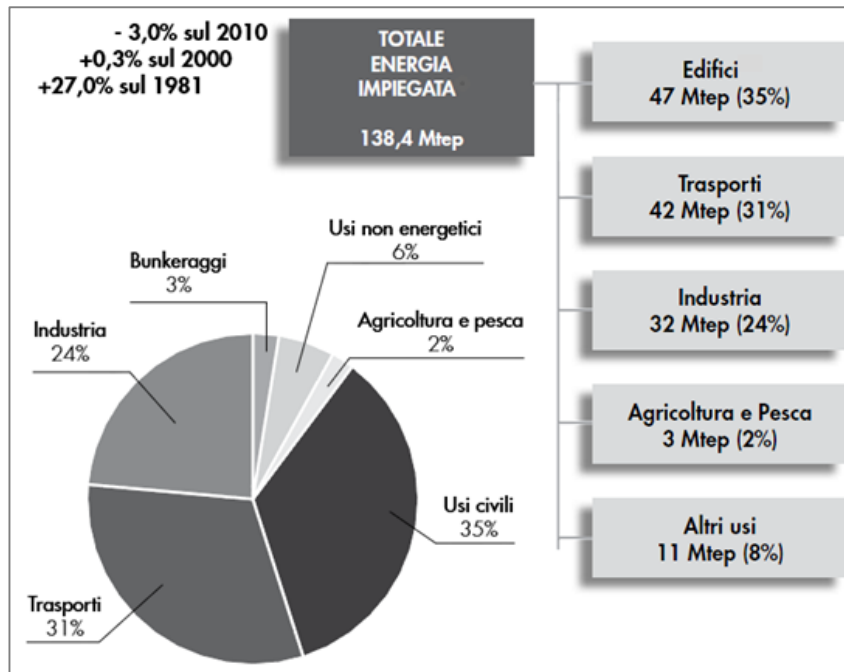


Figura 4: Bilancio energetico dell'Italia del 2011. [Fonte: elaborazione CRESME su dati ENEA]

I consumi energetici degli edifici provengono per il 60% circa dalle abitazioni e per il 40% circa dagli edifici ad uso terziario. Tuttavia, è quest'ultimo settore a evidenziare un più deciso trend di aumento negli ultimi quindici anni, mentre i consumi energetici del settore residenziale sono legati soprattutto alle condizioni climatiche, specialmente nel periodo invernale.

In termini di fonti energetiche utilizzate, i consumi sono coperti per il 55% da gas naturale, per il 30% da energia elettrica prodotta da impianti termoelettrici che utilizzano fonti fossili, per l'8% da derivati del petrolio e solo per il 7% da fonti rinnovabili.³

Il problema legato al miglioramento dei consumi di questo settore è che, per loro natura, gli interventi rilevanti in tal senso implicano lavori agli impianti e alle strutture piuttosto costosi, la cui spesa viene ammortizzata solo se si agisce nel complesso di un'iniziativa più generale di ristrutturazione o di manutenzione straordinaria del fabbricato. Nonostante gli obiettivi prefissati dalle autorità europee e nazionali, ogni anno la parte del patrimonio immobiliare nazionale interessata da importanti interventi di riqualificazione energetica è ristretta.

A livello nazionale, il problema della riqualificazione energetica del patrimonio edilizio risulta contraddittorio, poiché caratterizzato da un forte divario tra i consumi energetici, molto elevati, e gli investimenti previsti, esigui e inadeguati. Addirittura si assiste negli ultimi due anni ad un calo degli investimenti nazionali in riqualificazione edilizia,

³ Dati che si riferiscono al 2011, Rapporto ONRE 2013.

nonostante siano stati fissati degli obiettivi in termini di abbattimento di emissioni di CO₂ e di risparmio energetico globale da rispettare nell'immediato futuro (Tabella 1).

Investimenti in riqualificazione dell' edilizia residenziale (milioni di euro)						
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Totale riqualificazione	40.605	41.106	41.269	43.408	45.668	44.798
Di cui: interventi in ambiti edilizi potenzialmente funzionali all' efficienza energetica	10.437	11.468	11.859	13.291	14.630	14.828
Incidenza %	25,8%	27,9%	28,7%	30,6%	32%	33,1%

Tabella 1: Spesa per interventi di ristrutturazione e manutenzione straordinaria degli edifici. [Fonte: elaborazione stime CRESME]

In termini di impatto, quindi, relativamente agli impegni comunitari, la riabilitazione energetica in edilizia assume una valenza prioritaria. La questione da risolvere oggi riguarda le reali potenzialità per il settore di perseguire gli obiettivi assunti dal nostro Paese mirati al contenimento dell'energia.

È tuttavia evidente come non sia possibile raggiungere tali obiettivi senza prendere in seria considerazione una riqualificazione di questo settore, poiché il patrimonio edilizio italiano è caratterizzato solo in minima parte da edifici di nuova costruzione, su cui è però più semplice mettere in atto le misure di abbattimento dei consumi tramite la realizzazione di involucri che sfruttino tecnologie in grado di contenere le dispersioni e tramite l'installazione di impianti all'avanguardia, dall'alta efficienza energetica e che sfruttino fonti rinnovabili.

La presente ricerca affronta un tema ancora più problematico, poiché si propone di focalizzare l'attenzione sul patrimonio edilizio di valenza storica e di prestigio artistico, che rappresenta, a tutti gli effetti, un'ampia parte del prestigio culturale del nostro Paese, ma che spesso viene trascurato dagli strumenti normativi o dalle Amministrazioni locali. L'obiettivo principale è, come precisato, fornire soluzioni relative al sistema edificio-impianto nella sua totalità adeguate se riferite alle realtà singolari e peculiari dei manufatti: se necessario – e possibile – l'edificio viene quasi completamente svuotato e riadattato, garantendo il raggiungimento dei requisiti prestazionali di comfort e sostenibilità all'interno, mantenendo, al contempo, il proprio "guscio" esterno, che ne connota le caratteristiche testimoniali.

La volontà è quella di migliorare le caratteristiche prestazionali energetiche di contesti urbani a valenza storico-artistica tramite l'utilizzo di fonti rinnovabili, così da aumentare l'efficienza energetica nel rispetto dell'ambiente e delle normative vigenti, con la prerogativa di mantenere inalterate le caratteristiche peculiari degli edifici tutelati, senza deturparne l'aspetto e il prestigio.

2.2 L'importanza del patrimonio storico e tutelato

Il nostro Paese è universalmente riconosciuto per quanto riguarda la rilevanza nel campo del patrimonio culturale, il quale è il frutto di una straordinaria stratificazione di civiltà e della ricchezza e diversità delle realtà climatiche ed ambientali. Per questo motivo esso rappresenta un valore inestimabile per la collettività, che deve essere tutelato, rispettato e valorizzato (Figura 5).



Figura 5: Centro storico di San Gimignano.

Tuttavia, si è visto come il patrimonio storico e artistico soffra di risorse economiche scarse destinate al settore e di un insufficiente rispetto delle norme, oltre ad un'azione non puntuale di controllo da parte delle Amministrazioni nazionali e locali.

In questo quadro, la costruzione edilizia acquista un ruolo fondamentale, con accezione per lo più negativa: la spesso incontrollata espansione edilizia, cui si aggiungono le conseguenze dannose determinate dalle radicali trasformazioni dell'agricoltura, minacciano il paesaggio e la ricchezza culturale dei luoghi. Inoltre, interventi di nuova costruzione accoppiati ad installazioni impiantistiche sempre più innovative ma invasive,

contribuiscono a deturpare l'ambiente e il paesaggio, danneggiando spesso aree già costruite soggette a tutela.

Una ricerca del Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio ha stabilito che le aree di particolare pregio, sottoposte a vincolo di tutela coprono quasi la metà del territorio nazionale (46,9%)⁴, anche se è utile sottolineare come il valore del paesaggio e del patrimonio culturale italiano non risieda soltanto nella sua consistenza quantitativa, ma anche nella ricchezza e varietà qualitativa che lo caratterizzano.

I beni censiti nella *Carta del rischio del patrimonio culturale*, compresi i monumenti, i musei, i siti archeologici ecc., superano le 100 mila unità: una dotazione particolarmente consistente che caratterizza territori sparsi per tutta la nazione, con una prevalenza per quanto riguarda i beni architettonici nel Centro-Nord. È semplice intuire come nelle zone a più elevata densità di popolazione le condizioni di contesto risultino genericamente più sfavorevoli alla conservazione, così come accade proprio per le costruzioni tutelate del Settentrione.

Seppure l'importanza del patrimonio culturale sia chiara e imprescindibile, le risorse destinate alla tutela in Italia sono circa pari allo 0,4% del prodotto interno lordo,⁵ la metà dell'impegno economico di altri paesi europei quali la Francia e la Spagna. L'inadeguatezza della gestione delle risorse e del comportamento delle Amministrazioni competenti, nonché l'inosservanza delle norme in materia (carenti esse stesse, come verrà analizzato nel seguente capitolo) rendono l'argomento della tutela piuttosto complicato e controverso in Italia.

Per una maggiore chiarezza, è bene precisare che nel presente lavoro si intendono con l'espressione *edifici tutelati o storici* non solo i monumenti, i musei o gli edifici religiosi e di culto antichi, come intuitivamente si possa pensare, bensì anche la vasta e ben più numerosa parte del patrimonio costruito collocata all'interno dei centri storici urbani, di grandi o piccole città, risalente anche al secolo scorso, ma che contribuisce a costituire un patrimonio unico del nostro Paese, poiché portatrice di tecniche costruttive, caratteristiche ed elementi unici ed inseriti in un preciso contesto urbano, dal quale è impossibile prescindere e con il quale formano un'unica realtà (cfr. §1.1).⁶

⁴ Sistema informativo Territoriale Ambientale e Paesaggistico del Mibac (Sitap).

⁵ Settore 08.2 della classificazione Cofog (classificazione internazionale della spesa pubblica per funzione).

⁶ Numerosi strumenti urbanistici individuano, infatti, i centri storici delle città come zone isolate sottostanti a prescrizioni specifiche di tutela o salvaguardia, delle quali si tende a preservare l'aspetto così da contribuire a garantire un impatto visivo piacevole ed uniforme.

2.2.1 I centri urbani storici e il paesaggio

I centri storici in Italia rappresentano la componente più emblematica e identificante del patrimonio culturale, perciò una misura del loro stato di conservazione rappresenta un indicatore piuttosto rilevante della qualità della vita espressa in questi luoghi. E' importante notare che non ci si riferisce soltanto alle grandi città d'arte o al patrimonio monumentale ma anche, soprattutto, alla moltitudine di centri storici minori e all'edilizia ordinaria: un luogo che conserva in modo più possibile integro il proprio patrimonio edilizio storico rafforza il senso di appartenenza dei cittadini, base dell'attenzione individuale alla salvaguardia della qualità del paesaggio, e risulta inoltre fattore di attrazione per il turismo sostenibile, a vantaggio delle economie locali (Figura 6).



Figura 6: Centro storico di Lucca.

Sull'intera quantità di edifici abitati, infatti, quasi due su dieci sono stati costruiti prima del 1919.⁷ In termini assoluti, si annoverano più di 2,1 milioni di edifici storici abitati, di cui oltre il 60% in ottimo o buono stato (Figure 7 e 8).⁸

⁷ Il 1919 corrisponde, più o meno, all'avvento della tecnologia del cemento armato e al conseguente progressivo abbandono delle tecniche di costruzione tradizionali.

⁸ Dati del Censimento degli edifici 2001. Non sono ancora disponibili quelli aggiornati all'ultimo censimento quindi il dettaglio dell'analisi della caratterizzazione dei centri storici in funzione del parametro è da riferirsi al Rapporto Bes 2013.



Figura 7: Edifici del centro storico a Lucca.



Figura 8: Edifici storici di Domodossola.

È immediato come in un tale contesto sia di primaria importanza porre l'attenzione su tali realtà, non solo perché in termini quantitativi gli edifici da tutelare siano la maggioranza, ma soprattutto perché la ricchezza che deriva dalla conservazione di questi è una risorsa del nostro paese in termini culturali, economici e di qualità della vita.

La distribuzione degli edifici tutelati varia lungo il territorio nazionale: gli edifici storici in Liguria, Piemonte, Molise e Toscana sfiora il 30% del totale, mentre è inferiore al 15% in Puglia, Lazio, Sicilia e Sardegna.

Lo stato di conservazione di tali edifici è tendenzialmente buono: la quota di edifici storici in ottimo o buono stato raggiunge quasi il 70% nel Centro, è pari a circa il 65% nel Nord e supera di poco il 50% nel Meridione. Le regioni di Toscana, Umbria e Liguria sono quelle in

cui quasi tre edifici su quattro si trovano in ottimo o buono stato di conservazione, mentre una situazione più precaria si riscontra nelle regioni del Sud. La Figura 9 mostra un riassunto degli edifici storici per ogni regione e il corrispondente stato di conservazione. La scala sinistra rappresenta la percentuale di edifici storici in ottimo o buono stato per ogni regione; la scala destra rappresenta la percentuale di edifici tutelati delle regioni sul totale degli edifici.⁹

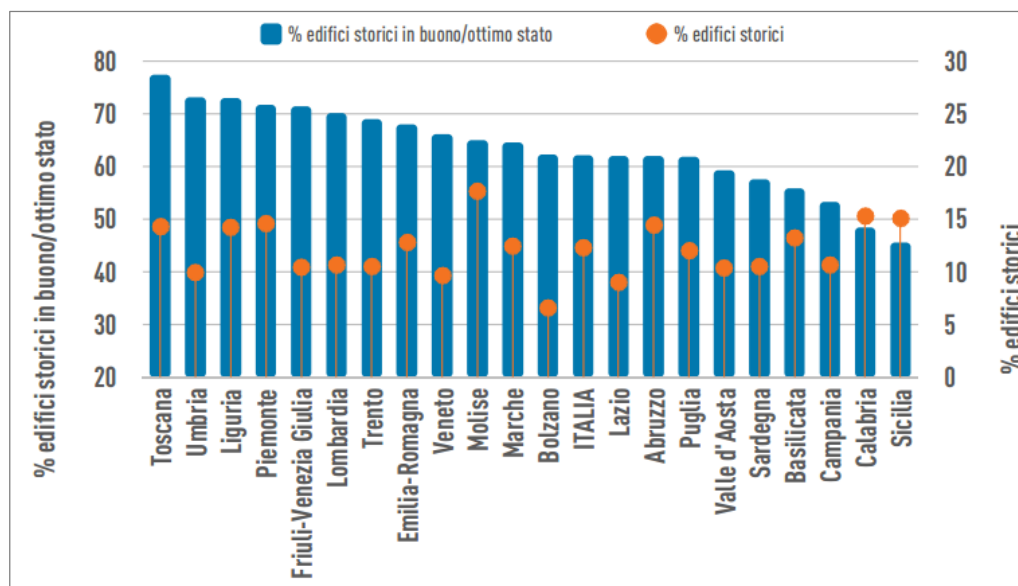


Figura 9: Edifici storici e stato di conservazione. Anno 2001. [Fonte: elaborazione dati Istat 13° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni].

Questo è un dato importante per quanto riguarda le prestazioni energetiche degli edifici stessi, soprattutto in vista di una loro riqualificazione e miglioramento dell'efficienza energetica: l'integrazione di impianti che sfruttano le fonti energetiche rinnovabili è il fattore preponderante nel miglioramento del comportamento di un edificio, ma va unito ad interventi sull'involucro, sui serramenti, sui solai e su molti altri elementi. È chiaro come per gli edifici in buono stato di conservazione questo risulti più semplice e meno invasivo, in quanto le prestazioni dell'involucro saranno tendenzialmente migliori. Il vincolo della tutela, inoltre, non è affatto secondario in questo scenario: l'impossibilità, talvolta, di agire su determinate parti dell'edificio rende ancora più ardua l'impresa del miglioramento energetico, tanto più quanto minore è lo stato di conservazione.

⁹ I dati che riguardano la consistenza del tessuto urbano storico utilizzano le informazioni di Censimento, che potrà essere aggiornato quando saranno disponibili i nuovi dati sulle abitazioni rilevati nel 2011, ad oggi non consultabili.

Un altro elemento qualificante del paesaggio urbano è la presenza di parchi urbani e aree verdi di interesse storico, artistico e paesaggistico, di aree verdi comprese nei siti archeologici e, più in generale, di tutte le aree che sono tutelate dal Codice dei beni culturali e del paesaggio, talvolta solo in virtù della loro “non comune bellezza” (Figura 10).

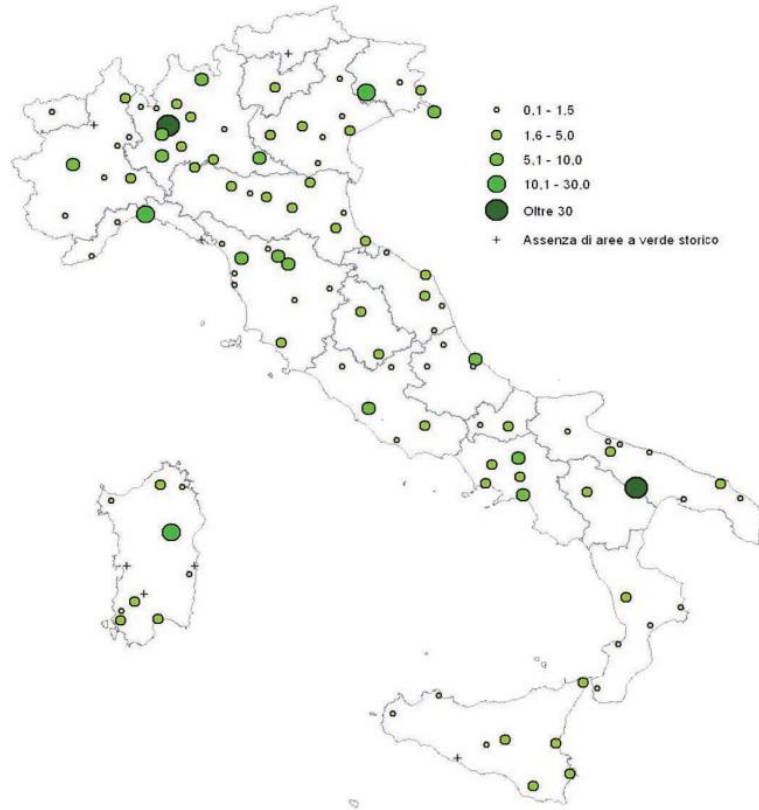


Figura 10: Densità delle aree di "verde storico" nei comuni di capoluogo di provincia. [Fonte Istat: dati ambientali delle città].

Queste aree sono generalmente incluse nei centri storici o sono immediatamente adiacenti, garantendo così la fruizione di spazi verdi in quartieri che ne sarebbero altrimenti privi e, grazie alla loro connotazione storico-culturale, sono anche elementi caratterizzanti il paesaggio urbano. D'altra parte questo limita la possibilità di intervenire a livello impiantistico su tali aree, poiché non è possibile modificarne l'aspetto esteriore né le caratteristiche peculiari. Questo rappresenta quindi un vincolo in fase di progettazione di lavori di miglioramento dell'efficienza energetica di questi luoghi di cui bisogna tenere conto.

Nei comuni di capoluogo di provincia la loro estensione media è superiore al 5% della superficie dei centri abitati.¹⁰ Tra le grandi città il primato va a Genova, con più di 10 m² per 100 m² di superficie edificata, ma anche Torino, Milano, Firenze e Roma presentano una densità di verde urbano di pregio superiore alla media dei capoluoghi di provincia: in

¹⁰ Basi territoriali, Istat 2010.

valore assoluto si hanno oltre 28 milioni di m² a Roma e si superano i 10 milioni a Milano, gli 8 a Torino e Genova, i 4 a Firenze e i 3,5 milioni di m² a Napoli. Valori particolarmente elevati si riscontrano poi a Matera, per la peculiarità di un vastissimo centro storico completamente incluso in un'area verde protetta, che rappresenta una realtà a parte con circa 720 m² per 100 m² di superficie edificata (Figura 11).



Figura 11: Vista del centro storico di Matera. [Fonte: Google Images]

3. Quadro normativo di riferimento

3.1 Efficienza energetica

Nel panorama europeo gli edifici sono i responsabili del 40% del consumo globale di energia e della produzione del 50% delle emissioni atmosferiche inquinanti¹¹ motivo per cui rappresentano un settore chiave su cui concentrare la propria attenzione in termini di cambiamento.

Per raggiungere gli obiettivi prefissati dalle più recenti direttive internazionali occorre intervenire sul settore edilizio sia attraverso una progettazione delle nuove costruzioni sostenibile e consapevole, che mediante un risanamento del costruito, riducendo i consumi e ricorrendo all'utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di energia.

L'intervento sull'edilizia esistente è di primaria importanza: studi recenti hanno dimostrato che agire imponendo limiti di consumo energetico alle sole nuove costruzioni non è sufficiente per conseguire gli obiettivi piuttosto ambiziosi imposti dalla Comunità Europea¹².

Il punto chiave è quindi la sostenibilità ambientale, che può essere raggiunta solamente tramite un utilizzo efficace, razionale ed intelligente delle risorse disponibili, ricordando che, pur rappresentando delle fonti essenziali di energia, i prodotti petroliferi, il gas naturale e i combustibili solidi sono le principali sorgenti delle emissioni di biossido di carbonio nell'atmosfera. In questo senso, le tecnologie attuali si mostrano degli strumenti indispensabili e preziosi, poiché in grado di sfruttare in modo efficiente e valido numerose risorse rinnovabili.

L'utilizzo di tali fonti e la riduzione del consumo energetico complessivo del settore edilizio costituiscono misure necessarie per la riduzione le emissioni di gas nocivi a effetto serra e anche per ridurre la dipendenza del nostro Paese dall'Unione Europea.

A tal proposito, la Commissione Europea ha pubblicato una comunicazione chiave, denominata *"Piano d'azione per l'efficienza energetica: Concretizzare le potenzialità"*, con cui si propone di essere un esempio nel ridurre l'efficienza energetica, utilizzando tutti gli strumenti strategici di cui dispone, rendendo vincolante il raggiungimento della riduzione

¹¹ RAEE, Rapporto Annuale dell'Efficienza Energetica, Dicembre 2013.

¹² L'VIII Commissione Ambiente, territorio e lavori pubblici [Camera dei Deputati, *Relazione della VIII Commissione ambiente, territorio e lavori pubblici sulle tematiche relative ai cambiamenti climatici*, luglio 2007] ha individuato nel 2007 alcune priorità da seguire nelle strategie di riduzione delle emissioni del settore edilizio, stimando che una riduzione "intelligente" avrebbe permesso di risparmiare il 50% in più dei consumi.

del 20% del consumo annuo di energia primaria entro il 2020 e promuovendo piani d'azione che investono nel settore delle costruzioni. Con questo documento si è instaurata una catena di provvedimenti a livello nazionale, regionale e locale che favoriscono attività di sfruttamento delle fonti rinnovabili proprie di ogni realtà geografica e climatica, nonché il recupero e il miglioramento delle prestazioni dell'involucro, concedendo inoltre incentivi per le nuove costruzioni sostenibili.

3.1.1 Panorama internazionale

Le priorità dell'Unione Europea in termini di politiche energetiche sostenibili nascono dall'impegno internazionale dell'ONU nel voler definire obiettivi e limitazioni all'uso sconsiderato delle risorse energetiche del nostro pianeta, con l'intento di salvaguardare l'ambiente e il sistema climatico-ambientale globale.

Il primo strumento rilevante redatto dalle Nazioni Unite, cui hanno aderito anche gli stati membri dell'Unione Europea, che indirizza le politiche nazionali verso un obiettivo comune nel risparmio dell'utilizzo di fonti energetiche tradizionali verso un panorama di consumi più competitivo e sostenibile, è il Protocollo di Kyoto.

3.1.1.1 Il Protocollo di Kyoto

Durante la Conferenza sull'Ambiente e sullo Sviluppo indetta dalle Nazioni Unite a Rio de Janeiro nel 1992, fu prodotta la "*Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici*" (in inglese "*United Nations Framework Convention on Climate Change*" o UNFCCC), con l'obiettivo principale di adottare delle politiche di consumo energetico consapevole e rispettoso delle generazioni future.

Sottoscrivendo tale documento, gli stati partecipanti si impegnavano a stabilizzare le concentrazioni di gas ad effetto serra nell'atmosfera ad un livello tale da non influenzare né danneggiare il sistema climatico. I principi su cui si basa il documento sono quelli della protezione del sistema climatico a beneficio dell'attuale e delle future generazioni, la prevenzione, la previsione e la riduzione al minimo delle cause dei cambiamenti climatici, mitigandone il più possibile gli effetti negativi.

Il trattato non era legalmente vincolante e non poneva, nella versione originale, limiti alle emissioni di gas ad effetto serra dei paesi aderenti, ma rappresentava un primo passo verso la limitazione obbligatoria del consumo energetico non sostenibile: sarebbe stata la base su cui sviluppare le politiche energetiche nel futuro, adottando impegni sempre più ambiziosi e restrittivi per le nazioni, volte al rispetto del comportamento climatico globale. A conclusione delle Conferenze, il documento entrò in vigore il 24 marzo 1994, ricevendo le ratifiche di più di 50 Paesi.

Le parti si sono in seguito incontrate annualmente nella Conferenza delle Parti (COP) per analizzare i progressi nell'andamento del consumo energetico e per monitorare gli effetti del cambiamento climatico.

In occasione della Terza sessione della Conferenza Delle Parti (COP-3), si decise di adottare un protocollo per cui i paesi più industrializzati si impegnavano a ridurre il totale delle emissioni dei gas a effetto serra mediamente del 6%-8%, nel periodo 2008-2012, rispetto ai livelli raggiunti nel 1990. Tale documento, denominato *Protocollo di Kyoto*, come il luogo in cui si tenne la Conferenza, venne sottoscritto l'11 dicembre 1997, e rappresenta nella storia lo strumento più importante a livello mondiale in termini di risparmio energetico.

Il protocollo mirava a favorire meccanismi di mercato che massimizassero le riduzioni ottenibili a parità di investimento economico, introducendo inoltre obiettivi vincolanti e quantificati in termini di limitazione dei livelli di emissione di gas nocivi.

Affinché entrasse in vigore, il trattato doveva essere firmato da almeno 55 Paesi, che producessero almeno il 55% delle emissioni globali; tale condizione si raggiunse solo nel 2004, quando anche la Russia perfezionò la propria adesione, permettendo l'effettiva entrata in vigore del Protocollo (16 febbraio 2005).

3.1.1.2 L'Agenda 21

La Conferenza ONU sull'ambiente di Rio de Janeiro del 1992 ebbe come conseguenza, oltre alla nascita dell'UNFCCC, la nascita dell'*Agenda 21*, un programma d'azione complesso e articolato che costituisce una sorta di manuale per lo sviluppo sostenibile del pianeta.

Il documento è la programmazione completa delle manovre politiche e amministrative da intraprendere a tutti i livelli, da quello mondiale a quello comunale, in ogni area produttiva o attività che abbia impatti notevoli sull'ambiente, con l'obiettivo ultimo di rispondere alle emergenze climatico-ambientali, nonché socio-economiche, del XXI secolo, attraverso un approccio sostenibile di riduzione dei consumi energetici. L'Agenda 21 si propone quindi di coinvolgere, insieme con le autorità nazionali o locali, il più gran numero possibile di *stakeholders* in prima persona, ovvero quella parte fondamentale del mercato rappresentata da tutti i possibili singoli soggetti (pubblici o privati) che operano su un determinato territorio e lo influenzano economicamente.

Il manuale mira in generale a cogliere anticipatamente gli elementi d'incompatibilità che sussistono tra le attività socio-economiche e politiche di tutela dell'ambiente, stabilendo criteri ed obiettivi generali da perseguire entro dei limiti di tempo prestabiliti, contenendo proposte economiche dettagliate in termini di riduzione dei consumi energetici e politiche sociali e ambientali da seguire. L'impegno delle amministrazioni europee ad attuare

l'Agenda 21 a livello locale è avvenuto tramite l'approvazione dai partecipanti della *Carta di Aalborg*¹³, nel maggio 1994, tramite cui si sono definite strategie decisionali di attuazione degli obiettivi ambientali e di sfruttamento delle risorse economiche ed energetiche, favorendo lo sviluppo sostenibile delle città europee.

3.1.2 Normative europee

L'Unione Europea ha inserito tra le proprie priorità la promozione di politiche energetiche che tengano conto dei cambiamenti climatici che stanno caratterizzando l'ambiente negli ultimi decenni, primi tra i quali l'effetto serra e il surriscaldamento globale. L'obiettivo principale è quello di ridurre le emissioni di CO₂ e gas serra e di aumentare sensibilmente l'utilizzo di fonti rinnovabili, così da garantire una buona efficienza energetica nel rispetto dell'ambiente.

La gestione del fabbisogno energetico è uno strumento fondamentale, che consente alla Comunità Europea di influenzare il mercato mondiale dell'energia, in due modi principali: adottando delle misure volte a contenere la domanda di energia e sviluppando un'offerta interna ai propri stati membri; diversificando le forniture di energia, in modo tale da ridurre la dipendenza di molti stati da produttori unici, come ad esempio la Russia per le forniture di gas.

Dal Protocollo di Kyoto in avanti, le politiche europee sono state indirizzate verso la produzione di un'economia a basso consumo energetico, più sicura, più competitiva e più sostenibile, con l'obiettivo congiunto di salvaguardare il clima e di rendere il mercato comunitario altamente competitivo e appetibile a livello economico. In questo ambito si colloca la *Direttiva 2003/87/CE*¹⁴ che istituisce un sistema per lo scambio di quote di emissioni di gas serra nella Comunità, imponendo agli Stati membri l'allestimento di un piano nazionale con l'assegnazione di permessi di emissione ai singoli impianti di determinati settori produttivi.

In questo contesto viene redatto nel 2005, dalla Commissione Europea, il "*Libro Verde dell'efficienza energetica*", che individua gli ostacoli e le motivazioni che impediscono una

¹³ La Carta di Aalborg, nota anche come delle Città Europee per uno sviluppo durevole e sostenibile, è un documento firmato da 80 Amministrazioni europee, elaborata dal 24 al 27 maggio 1994 durante la Conferenza europea sulle città sostenibili ad Aalborg, Danimarca, che ha come obiettivo quello di favorire un modello urbano sostenibile, favorendo dei modelli che le realtà locali possano seguire per rispettare l'impegno nel processo di attuazione dell'Agenda 21.

¹⁴ La Direttiva 2003/87/CE si impone come fine quello di promuovere la riduzione delle emissioni di gas serra nella Comunità secondo criteri di efficacia dei costi ed efficienza economica. Il sistema per lo scambio di quote ed emissioni ha come campo di applicazione soprattutto i settori di produzione e trasformazione dei metalli ferrosi, lavorazione di prodotti minerari, vetrerie, cartiere. Gli obblighi che la direttiva prevede sono la necessità per operare di possedere un permesso all'emissione in atmosfera di gas serra e quello di rendere alla fine dell'anno un numero di quote d'emissione pari alle emissioni annuali.

reazione economica ed energetica che si adegui al mercato e alle richieste di fabbisogno, definendo in modo dettagliato il quadro strategico di un'efficace politica energetica, attualmente seguito dall'Unione Europea. Questo consiste nella promozione dell'efficienza energetica a tutti i livelli della comunità, soffermandosi sulle strategie da seguire per ogni settore, partendo dallo sviluppo tecnologico e passando attraverso una regolamentazione nazionale delle attività di consumo e produzione energetica.

Gli obiettivi proposti da questo documento sono in linea con le indicazioni promosse con la precedente strategia di Lisbona, in cui si delineavano gli strumenti principali tramite cui l'Unione Europea avrebbe potuto realizzare gli indispensabili cambiamenti tecnologici ed economici per soddisfare la domanda di mercati mondiali e per garantire una sostenibilità a lungo termine, tra i quali l'intensificazione e la promozione di tecnologie rispettose dell'ambiente¹⁵.

Un anno dopo la pubblicazione di quello originario, nel 2006 la Commissione europea rende pubblico il "*Libro verde della Commissione – Una strategia europea per un'energia sostenibile, competitiva e sicura*", che costituisce una tappa importante nello sviluppo di una politica energetica dell'Unione europea. I principi base, racchiusi nel titolo stesso, sono quelli di sostenibilità, per agire attivamente contro il cambiamento climatico promuovendo le fonti rinnovabili di energia; competitività, per migliorare l'efficienza della rete europea tramite la realizzazione di un mercato interno di energia; sicurezza nell'approvvigionamento, per coordinare meglio domanda e offerta interne di energia dell'Unione Europea nel contesto internazionale.

Gli obiettivi e le indicazioni caratteristiche del Libro Verde hanno trovato applicazione nel "*Piano d'Azione del Consiglio Europeo 2007-2009: Politica energetica per l'Europa*", che è portatore dei principi su cui si basa l'attuale politica energetico-economica comunitaria. Questo documento ha introdotto il *Principio "20-20-20"* con cui l'Unione si impegna a ridurre le proprie emissioni del gas serra del 20% entro il 2020, aumentare l'efficienza energetica del 20% e contare su un contributo delle fonti rinnovabili per il fabbisogno energetico pari al 20%. Tali obiettivi rappresentano il cardine delle manovre economiche attuali e sono alla base di una strategia europea volta a contenere i cambiamenti climatici, tramite la promozione di politiche diffuse per il coinvolgimento istituzionale degli Stati

¹⁵ Per Strategia di Lisbona si intende un programma di riforme economiche approvato a Lisbona dai Capi di Stato e di Governo dell'Unione Europea nel 2000. L'obiettivo era quello di fare dell'Unione Europea "un'economia basata sulla conoscenza più competitiva e dinamica del mondo, in grado di realizzare una crescita economica sostenibile con nuovi e migliori posti di lavoro e una maggiore coesione sociale", entro il 2010. Nel 2005 la Commissione europea si è resa conto che i progressi dei cinque anni passati dal lancio della Strategia erano insufficienti e insoddisfacenti. Per questo motivo sono state elaborate delle raccomandazioni politiche per revisionare i progressi intermedi della strategia stessa, migliorando in generale la produttività dell'Europa.

membri. Nonostante questo, però, il Parlamento Europeo ha rilevato nel 2008 la mancanza di passi avanti, a livello nazionale e a livello decisionale e politico della Commissione, nel raggiungimento degli obiettivi proposti e che non era stata data la priorità alla trasposizione delle tematiche proposte della legislazione in materia di efficienza energetica.

A novembre dello stesso anno, la Commissione Europea pubblica una Comunicazione denominata *“Efficienza energetica: conseguire l’obiettivo del 20%”* che propone diverse misure per rafforzare l’efficienza energetica degli Stati, tra cui la più interessante è la proposta di rivalutazione del Piano d’Azione dell’efficienza energetica, durante l’anno 2009, per cui presentare un piano rivisto che si concentrasse maggiormente sull’approvvigionamento, la trasmissione ed il consumo energetico.

In questo modo la Commissione individua all’interno del documento *“Europa 2020”*¹⁶ le strategie per rimediare agli effetti della crisi economica europea del 2008, identificando quindi l’efficienza e la competitività energetica come due motori di crescita per il prossimo millennio, rafforzando così la posizione comunitaria sulla necessità urgente di intraprendere azioni concrete a livello europeo e nazione per una crescita sostenibile, consapevole e intelligente.

Alcune analisi condotte dalla Commissione stessa nel 2009 hanno comunque rilevato che le misure adottate fino a quel momento in merito all’efficienza energetica avrebbero permesso di conseguire un risparmio delle risorse pari al 10% circa, che corrispondeva perciò alla metà dell’obiettivo proposto. Nel 2011 viene approvato quindi il *“Piano di efficienza energetica 2011”*¹⁷ che prevede sia l’adozione di misure più rigide in favore di una politica energetica condivisa, che l’amplificazione del ruolo di controllo e coordinamento riservato all’Unione Europea. Un ampio margine di autonomia è in ogni caso garantito a livello nazionale e territoriale: ogni Paese o territorio deve confrontarsi individualmente con l’Obiettivo 20-20-20, esaminando le proprie criticità, valutandone i costi e le possibili risorse al fine di definire un programma nazionale adeguato alle singole realtà.

¹⁶ Con *Europa 2020* si indica la strategia decennale per la crescita sviluppata dall’Unione Europea, che mira ad uscire dalla crisi che continua ad affliggere l’economia di molti paesi, cercando anche di colmare le lacune del modello di crescita comunitario, creando le condizioni per uno sviluppo economico solidale e sostenibile.

¹⁷ La Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo dell’8 marzo 2011, intitolata «Piano di efficienza energetica 2011» è parte della strategia Energia 202 ed è volto a promuovere un’economia compatibile con le risorse del pianeta, attuare un sistema che produce poche emissioni di carbonio, rafforzare l’indipendenza energetica dell’UE e migliorare la sicurezza dell’approvvigionamento energetico. Le misure per perseguire tali obiettivi sono molteplici, tra le quali privilegiare edifici a basso consumo energetico.

3.1.2.1 Le direttive comunitarie

3.1.2.1.1 La Direttiva 2002/91/CE

La *Direttiva 2002/91/CE* del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002, nota anche come “*EPBD*” (Energy Performance Building Directive) promuove l’efficienza energetica degli edifici nell’ottica di orientare le scelte di politica energetica nel settore civile verso un incremento dell’efficienza dell’intero comparto. La direttiva modifica le precedenti strategie adottate per risolvere la questione energetica, concentrandosi sulla domanda di energia e sui consumi, richiedendone la definizione di metodologie di stima differenti Stato per Stato, ma comunque collocate all’interno di un quadro comune di linee guida. La direttiva EPBD è ritenuta da molti il più importante strumento legislativo comunitario in fatto di efficienza energetica nell’edilizia.

Basandosi sulle precedenti direttive, *85/377/EEC “Environmental Impact Assesment”*, che disciplina la valutazione di impatto su tutte le componenti di progetti pubblici e privati potenzialmente dannosi per l’impatto ambientale, e *93/76/EEC “Limit carbon dioxide emissions”*, che contiene in forma poco approfondita i concetti di certificazione energetica, isolamento termico, controllo delle caldaie e programmazione locale, la *Direttiva 2002/91/CE* fornisce disposizioni riguardanti: il quadro generale di una metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, l’applicazione di requisiti minimi in materia di prestazione energetica degli edifici di nuova costruzione ed esistenti, l’ispezione e le caratteristiche delle caldaie e dei sistemi di condizionamento e altre indicazioni di manutenzione o sostituzione di impianti di riscaldamento e caldaie che abbiano più di quindici anni. L’*EPBD* fa esplicito riferimento al settore edilizio, sia di nuova costruzione che esistente, riferendosi soprattutto ai manufatti di grande metratura, per cui evidenzia l’importanza di una riqualificazione e di un miglioramento delle prestazioni e del rendimento energetico.

Nonostante sia prescrittiva anche per il patrimonio costruito, la Direttiva prevede la possibilità degli stati membri di non applicare i requisiti stabiliti ad alcune categorie edilizie, tra cui edifici adibiti a luogo di culto e allo svolgimento delle attività religiose o edifici di particolare valore storico o architettonico, nel caso in cui il rispetto di tali prescrizioni implicherebbe un’alterazione inaccettabile delle loro caratteristiche morfologiche o estetiche (articolo 4 comma 3)¹⁸. La Direttiva lascia comunque ampia libertà

¹⁸ L’Articolo 4 comma 3: “Gli Stati membri possono decidere di non istituire o non applicare i requisiti [...] per le seguenti categorie di fabbricati: - edifici e monumenti ufficialmente protetti come patrimonio designato o in virtù del loro speciale valore architettonico o storico, nei casi in cui il rispetto delle prescrizioni implicherebbe un’alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto; - edifici adibiti a luogo di culto e allo svolgimento di attività religiose; - fabbricati indipendenti con una metratura utile totale inferiore a 50 m²”.

decisionale ai singoli Stati membri, in grado di stabilire autonomamente i requisiti minimi di applicazione, distinguendo tra le diverse categorie edilizie, permettendo per quelli tutelati o di valenza storica un'eventuale implementazione graduale e ponderata secondo la tipologia d'intervento, nel rispetto dei vincoli delle normative nazionali in ambito di tutela e conservazione architettonica.

3.1.2.1.2 La Direttiva 2010/31/CE

Lo strumento comunitario più recente promosso a livello europeo è la *Direttiva 2010/31/CE* del Parlamento Europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, con cui viene abrogata ufficialmente la direttiva 2002/91/CE (il 1° febbraio 2012). Si tratta di una revisione dell'EPBD, che rafforza alcuni punti e accelera ulteriormente il cambiamento nel settore edilizio verso una maggiore efficienza, col fine di semplificare e chiarire alcune disposizioni, ampliare il campo di applicazione e rafforzare l'efficacia di altre disposizioni. Inoltre, lo strumento della Certificazione energetica viene rafforzato, confermando il concetto dell'indipendenza dei certificatori ed evidenziando la necessità che le azioni di controllo abbiano una maggiore incidenza.

La direttiva segue le indicazioni dettate dal Protocollo di Kyoto prima e dal pacchetto Clima Energia poi, seppur indicando di ridurre ulteriormente le emissioni di gas ad effetto serra ed i consumi energetici. La nuova Direttiva mantiene quindi gli obiettivi principali di quella precedente, lasciando inalterato il ruolo degli stati membri, chiamati a stabilire requisiti concreti; tuttavia chiarisce, consolida ed amplia il campo di applicazione, includendo tutti gli edifici sottoposti a ristrutturazioni importanti tra gli interventi soggetti al rispetto dei requisiti previsti, e rafforzando appunto il ruolo della certificazione.

Queste caratteristiche della "*EPBD Recast*"¹⁹ dimostrano sicuramente il proseguimento di un percorso normativo già avviato; tuttavia, la direttiva 2010/31/CE sarà ricordata come la direttiva degli *Edifici ad energia quasi zero* (in inglese *Nearly Zero Energy Buildings*), ovvero edifici ad altissima prestazione energetica²⁰.

Le nuove disposizioni prevedono, infatti, che tutti gli edifici di nuova costruzione realizzati dopo il 31 dicembre 2020 siano ad energia quasi zero; per quanto riguarda gli edifici pubblici, inoltre, poiché considerati come luoghi simbolici per la diffusione di una cultura

¹⁹ Denominazione della Direttiva 2010/31/CE dovuta alla continuità che la caratterizza rispetto alla precedente Direttiva 2002/91/CE, conosciuta appunto come EPBD.

²⁰ Secondo l'articolo 2 della direttiva, la definizione di edificio ad energia quasi zero è: "edificio ad altissima prestazione energetica, determinata conformemente all'Allegato I. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in maniera molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco e nelle vicinanze".

per la salvaguardia ambientale e l'uso razionale delle risorse, viene richiesto che il target degli edifici ad energia quasi zero sia raggiunto entro il 31 dicembre 2018.

Sono mantenute le precedenti distinzioni tra edifici nuovi ed esistenti e viene riaffermata l'esclusione dall'adeguamento degli edifici religiosi e dei palazzi storici tutelati, nel caso in cui gli interventi possano danneggiare il loro aspetto e le loro caratteristiche uniche. Nonostante questo, la scelta di escludere dalla direttiva lo stanziamento di sovvenzioni per programmi finalizzati all'adeguamento energetico di edifici storici e l'istituzione di una valutazione d'impatto visivo per la produzione di energia e per le soluzioni di isolamento da inserire nei centri storici (che in sede di revisione erano stati proposti) impoverisce la strategia di salvaguardia per l'edilizia esistente, ed è probabilmente la causa responsabile delle lacune in merito di interfaccia tra tutela e conservazione di edifici storici nelle normative nazionali e locali.

L'obbligo di recepimento della direttiva *EPBD Recast* per i Paesi membri era fissato entro e non oltre il 9 luglio 2012.

3.1.3 Norme e regolamenti in Italia

Il problema della gestione delle fonti energetiche si pone come priorità globale dei Paesi occidentali a causa della consapevolezza della limitatezza delle fonti di energia non rinnovabili. La normativa nazionale, seguendo quella internazionale, si preoccupa quindi di affrontare la tematica dell'uso razionale dell'energia passando attraverso un'attenta progettazione dei nuovi edifici ma anche, e soprattutto, vista la situazione edilizia italiana, attraverso la riqualificazione di quelli esistenti.

Di seguito sono riportate in maniera sintetica le principali tappe dell'evoluzione legislativa italiana in materia di efficienza energetica del costruito, che è stata piuttosto travagliata e spesso disattesa.

3.1.3.1 La legislazione italiana precedente alla Direttiva 2002/91/CE

La legislazione nazionale in termini di efficienza energetica è complessa e variegata. Prima della pubblicazione della *Direttiva EPBD*, l'Italia possiede una propria legislazione di riferimento costituita dalla *Legge n. 10/1991* e dai successivi decreti attuativi.

La sensibilità verso il problema della corretta gestione delle fonti energetiche ha cominciato ad emergere in Italia intorno alla prima metà degli anni '70, quando sono apparse le prime normative in tema di risparmio energetico.

La *Legge n. 373/1976* introduceva per la prima volta i principi dei consumi e del risparmio energetico in edilizia, definendo i concetti moderni in tema di progettazione degli impianti

ed isolamento termico di edifici, esplicitando nozioni come i gradi-giorno e la classificazione degli edifici, ancora oggi di impiego corrente.

Legge di riferimento	Contenuti principali
Legge 9 gennaio 1991, n. 10 e decreti attuativi (D.P.R. 412/1993 – D.P.R. 551/1991).	Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale, in materia di uso razionale dell'energia, risparmio energetico e sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.
D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412.	Regolamento contenente le norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia (in attuazione dell'articolo 4 della Legge 10/1991).
D. Lgs. 31 marzo 1998, n. 112.	Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle Regioni ed agli enti locali (in attuazione del Capo I della Legge 15 marzo 2007, n. 59).
D.P.R. 21 dicembre 1999, n. 551.	Regolamento recante modifiche al D.P.R. 142/1993 in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia.
Legge Cost. 18 ottobre 2001, n. 3.	Modifiche al Titolo V della parte seconda della Costituzione. L'energia diventa materia concorrente tra Stato e Regioni.

Tabella 2. Sintesi del quadro di riferimento nazionale in termini di efficienza energetica in edilizia, precedente all'EPBD.

La successiva *Legge 9 gennaio 1991, n. 10 (Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia)* si prefigurava come strumento innovativo, chiarendo che il risparmio energetico non poteva esaurirsi nel miglioramento dell'isolamento termico dell'involucro, ma che doveva attuarsi attraverso anche una riduzione dei consumi ed un utilizzo maggiore di fonti energetiche rinnovabili; introduceva inoltre la definizione di nuove metodologie di calcolo e il concetto di certificazione energetica. L'attenzione doveva essere posta non solo sulle dispersioni dell'edificio, ma anche sulle caratteristiche di rendimento degli impianti. Per la prima volta i progettisti avevano l'obbligo di verificare l'efficacia del loro progetto dal punto di vista energetico, servendosi di appositi strumenti normativi e sulla base di una struttura legislativa di tipo prescrittivo. Nonostante la legge risultasse all'avanguardia anche nel rispetto delle normative a livello europeo, la mancanza di decreti attuativi in grado di definirne le modalità di concretizzazione determinò, nei fatti, la sua tendenziale inefficacia.

Nel 2001 si assiste alla modifica del Titolo V della Costituzione, introdotta con la *Legge 3/2001*, che modifica i rapporti tra Unità Europea, Stato e Regioni, modificando la ripartizione delle competenze dei diversi enti e rendendo l'energia materia concorrente tra Stato e Regioni.

La Tabella 2 rappresenta una sintesi della situazione normativa italiana prima della Direttiva EPBD.

3.1.3.2 Il recepimento della Direttiva 2002/91/CE

Il recepimento della EPBD quindi non avviene in modo uniforme. Il *D. Lgs. N. 192/2005*, legge che recepisce la direttiva a livello nazionale nell'ottica di seguire i principi guida della politica di utilizzo razionale dell'energia, contiene le tematiche principali del miglioramento della prestazione energetica degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica, contribuendo a conseguire gli obiettivi di limitazione delle emissioni di gas a effetto serra attraverso la promozione della competitività dei comparti più avanzati dello sviluppo tecnologico²¹.

A causa della riforma federalista del Titolo V della Costituzione, in materia di efficienza energetica Stato e Regioni hanno una potestà legislativa concorrente, perciò il Decreto Legislativo contiene norme transitorie e principi generali, cui dovranno seguire decreti applicativi e regolamenti regionali più specifici.

Lo stesso articolo 17 del *D. Lgs. 192/2005* conferma la possibilità di recepimento autonomo delle Regioni, mantenendo come unico vincolo il rispetto dell'ordinamento comunitario. Le Regioni che recepiscono autonomamente la direttiva sono la Lombardia, la Liguria, l'Emilia Romagna e il Piemonte, oltre alla Provincia Autonoma di Bolzano.

Con le successive modifiche apportate al Decreto tramite il *D. Lgs. 311/2006*, sono attuati indirizzi politici di maggiore severità in campo energetico.

L'articolato panorama legislativo rappresentato dalla somma di questi due decreti disciplina l'intero ambito energetico in edilizia del nostro Paese, definendo dei requisiti minimi da rispettare in materia di prestazioni energetiche, delineando metodologie di calcolo per la valutazione delle prestazioni stesse e per la certificazione energetica degli edifici, promuovendo anche l'utilizzo razionale dell'energia favorendo le fonti rinnovabili, sensibilizzando, inoltre, gli utenti finali e la formazione degli operatori del settore.

²¹ Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n.192, Articolo 1.

Tipo di intervento	Verifiche da effettuare
<p>Demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria di edifici esistenti;</p> <p>Ristrutturazione integrale involucro edilizio (per edifici di sup. utile > 1000mq);</p> <p>Ampliamento volumetrico (per volume > 20% volume totale).</p>	<p>Indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale ($E_{pi} < E_{pi,limite}$)²² ed estiva ($E_{pe_{invol}} \leq E_{pe_{invol,limite}}$)²³;</p> <p>Valori minimi di trasmittanza termica per i muri divisorii;</p> <p>Assenza di condensa nelle pareti;</p> <p>Controllo della climatizzazione estiva con misure bioclimatiche:</p> <p>Regolazione termica interna;</p> <p>Opere per favorire il teleriscaldamento;</p> <p>Inerzia termica dell'involucro opaco.</p>
<p>Ristrutturazione totale o parziale;</p> <p>Demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria dell' involucro ($S_{utile} \leq 1000$ mq).</p>	<p>Controllo della climatizzazione estiva con misure bioclimatiche;</p> <p>Valori minimi di trasmittanza termica per gli elementi di involucro esterno e per i muri divisorii;</p> <p>Assenza di condensa delle pareti;</p> <p>Inerzia termica dell'involucro opaco, solo per le residenze.</p>

Tabella 3 - Sintesi delle principali verifiche da eseguire negli interventi sul patrimonio esistente secondo il D.Lgs. 192/2005 e s.m.i. [Fonte: E. Lucchi].

Analogamente a quanto previsto dalla Direttiva europea, l'applicazione delle leggi deve avvenire in modalità diverse a seconda della tipologia di intervento, quindi diversamente per edifici nuovi o esistenti. La Tabella 3 mostra le principali verifiche prescritte dai decreti in relazione alla tipologia di intervento effettuata tra quelle ammesse per il patrimonio edilizio esistente.

Il quadro riassuntivo indica come in caso di interventi di grande portata sull'edificio sia necessario considerare il manufatto nella sua globalità, a livello di efficienza energetica del sistema edificio-impianto, mentre per piccole opere di ristrutturazione o ampliamento è necessario modificare o intervenire solamente sull'involucro edilizio, tramite azioni di tipo

²² Con E_{pi} si indica il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale, cioè la prestazione energetica del sistema edificio-impianto per il solo riscaldamento; $E_{pi,limite}$ indica invece il limite del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale imposto per legge per nuove costruzioni o per le ristrutturazioni importanti di edifici non soggetti a vincolo.

²³ $E_{pe_{invol}}$ indica il fabbisogno di energia termica utile dell'involucro, che si distingue in $E_{pi_{invol}}$, ovvero prestazione energetica per la climatizzazione invernale, e $E_{pe_{invol}}$, prestazione energetica per la climatizzazione estiva. La legge stabilisce che quest'ultimo deve essere inferiore ad un valore limite prestabilito, indicato con $E_{pe_{invol,limite}}$.

passivo. La legislazione nazionale fissa per entrambe le casistiche dei valori limite di trasmittanza termica delle pareti, riportati in Tabella 4.

U- Trasmittanza termica ($\frac{W}{m^2K}$)					
Zona climatica	Strutture verticali opache	Coperture	Pavimenti	Chiusure trasparenti con infissi	Vetri
A	0,62	0,38	0,65	4,6	3,7
B	0,48	0,38	0,49	3,0	2,7
C	0,40	0,38	0,42	2,6	2,1
D	0,36	0,32	0,36	2,4	1,9
E	0,34	0,30	0,33	2,2	1,7
F	0,33	0,29	0,32	2,0	1,3

Tabella 4 - Sintesi dei valori limite di trasmittanza termica delle pareti. [Fonte: D. Lgs. 311/2006, Allegato I; Dpr. 59/2009, art. 4, comma 16]

Lo strumento legislativo rilevante per la convergenza degli approcci regionali è il *D.M. 26 giugno 2009*, n. 59, che contiene per primo le linee guida per la certificazione energetica degli edifici, con la quale si intende l'insieme dei processi e delle operazioni da effettuare affinché sia rilasciato il documento che attesta le prestazioni di rendimento energetico dell'edificio.

Il punto chiave da sviluppare rimaneva quindi quello dell'utilizzo delle fonti rinnovabili: in linea con le disposizioni delle Direttive Europee, oltre al contenimento dei consumi provenienti da fonti fossili, risultava necessaria la promozione delle energie rinnovabili. Il Dpr. 59/09 stabiliva, già di per sé, che per tutte le categorie di edifici fosse obbligatorio l'utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di energia termica ed elettrica, differenziando le richieste per i centri storici e le zone di nuova costruzione.

Fornendo indicazioni per l'integrazione di impianti solari e fotovoltaici e per l'allaccio alle reti di teleriscaldamento, viene emanato il 3 marzo 2011 il *D. Lgs. 28/2011*²⁴, conosciuto come il "*Decreto rinnovabili*", tramite cui le richieste divengono più restrittive. Si prevede difatti che negli edifici nuovi o sottoposti a rilevanti ristrutturazioni gli impianti di produzione di energia termica debbano essere progettati e realizzati in modo tale da garantire il contemporaneo rispetto della copertura del 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il raffrescamento e il riscaldamento, ricorrendo all'utilizzo di fonti

²⁴ Il Decreto Legislativo 28/2011 viene emanato in attuazione della Direttiva Europea 2009/28/CE, che prevede per ogni Stato l'obbligo di raggiungere il 20% di energia prodotta da fonti rinnovabili entro il 2020 e di adottare un piano di azione nazionale per incrementare questa quota nei settori dei trasporti, dell'elettricità, del riscaldamento e del raffrescamento.

di energia rinnovabile in quantità prestabilite. Inoltre, il decreto prevede che si ricorra all'installazione di pannelli fotovoltaici con potenza elettrica variabile secondo le dimensioni dell'edificio e della data di realizzazione dell'impianto.

Tuttavia, anche in questo caso, l'applicazione delle prescrizioni contenute nel decreto non sono applicabili agli edifici di rilevanza storico-artistica o a quelli di particolare tutela.

I precedenti decreti sono stati poi riassunti e revisionati nel più recente *Decreto Legge del 4 giugno 2013 n. 63*, che definisce e integra i criteri e le condizioni per migliorare le prestazioni degli edifici, favorire lo sviluppo e l'integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici e si propone di integrare, chiarificare e definire i criteri di certificazione energetica, promuovere l'utilizzo di fonti rinnovabili, sostenere la diversificazione energetica, chiarire i requisiti e le modalità di certificazione energetica, con l'obiettivo ultimo di conseguire degli obiettivi nazionali univoci in termini di efficienza energetica nell'edilizia.

Un ulteriore passo in avanti è stato fatto con la *Legge del 3 agosto 2013 n. 90*²⁵, che interviene in particolare sulla metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici e, in presenza di diverse fonti di produzione di energia, rende necessario definire i diversi fattori di conversione e la procedura di calcolo. Inoltre, indica l'obbligo di calcolare il fabbisogno energetico annuo globale per ogni servizio energetico: riscaldamento, raffrescamento, illuminazione, ventilazione. La legge comprende anche una novità importante in merito alla modifica dell'Attestato di Certificazione Energetica, che diventa Attestato di Prestazione Energetica, definendone in modo univoco i contenuti.

In conclusione, è evidente che il recepimento della Direttiva 91/2002/CE abbia dato un grande contributo all'evoluzione normativa verso la regolamentazione di un'edilizia più sostenibile.

3.2 Edifici tutelati e a valenza storico-artistica

3.2.1 I documenti internazionali

Le Nazioni, a causa della grande singolarità e diversità interna anche agli stati stessi, hanno da sempre avuto un approccio molto differente al restauro.

²⁵ Il Decreto Legge adottato dal Consiglio dei Ministri il 31 Maggio 2013 rispetto alla Direttiva Europea 2010/31 è stato poi convertito in Legge il 3 agosto 2013, n.90. In particolare, il provvedimento modifica il D. L. 192/2005 cercando di porre rimedio alla procedura di infrazione avviata dalla Commissione Europea per il mancato recepimento della Direttiva 2010/31/UE.

Nel XX secolo nacque l'esigenza di creare una cooperazione efficiente tra i Paesi per risolvere i problemi legati alla salvaguardia del patrimonio artistico, che diede origine a diversi documenti che sono di seguito sintetizzati.

1. *Carta d'Atene, 1931*. Documento redatto al termine della Conferenza di Atene del 1931 di rilevante importanza poiché era di valenza internazionale e formulava 10 norme di principio per gli Stati in termini di restauro.
2. *Carta di Venezia, 1964*. Documento che, seppur ribadendo il carattere di eccezionalità del restauro, riprende il valore della manutenzione come intervento utile all'utilizzazione degli edifici antichi da parte della società, rispettandone i caratteri propri.
3. *ICOMOS, 1965. International Council of Monuments Site*, fondato a Parigi come conseguenza della Carta di Venezia, con il principale obiettivo di promuovere la teoria e la metodologia applicate alla conservazione, valorizzazione e protezione dei monumenti.
4. *Conferenza dell'UNESCO²⁶, 1972*. A seguito di questa conferenza tenutasi a Parigi, si evidenziò che il patrimonio culturale era sottoposto ad un rischio sempre maggiore di degrado. Si decise quindi di identificare una lista di quei siti e manufatti che, per la loro eccezionale importanza culturale o naturale, sono di interesse tale da richiedere una conservazione in qualità di patrimonio mondiale dell'umanità. Tale provvedimento è noto con il nome di Convenzione sul Patrimonio dell'Umanità, tramite cui l'UNESCO aggiorna e mantiene la lista dei Siti Patrimonio dell'Umanità tutt'oggi.
5. *Congresso sul patrimonio architettonico europeo, 1975*. Ad Amsterdam, a conclusione di questo congresso, fu promulgata la *Carta europea del patrimonio architettonico*, che unita alla successiva *Dichiarazione* forma la *Carta della conservazione integrata*. In questa occasione viene introdotto per la prima volta il concetto di conservazione integrata, che unisce l'intervento del restauro al concetto di inserimento di una destinazione d'uso adeguata per l'edificio.
6. *Convenzione europea per la salvaguardia del patrimonio architettonico, 1985*. Gli Stati membri del Consiglio d'Europa firmano questo documento per definire una politica comune che garantisca la salvaguardia e la valorizzazione del patrimonio architettonico, così da poter tramandare alle generazioni future un sistema di riferimenti culturali. La Convenzione richiama ogni stato a ridurre gli effetti nocivi

²⁶ L'UNESCO è l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Educazione, la Scienza e la Cultura ed è stata fondata nel 1945.

dell'inquinamento e ad adottare una politica di conservazione integrata che mettesse al centro dell'attenzione la tutela e la valorizzazione dei beni protetti.

In Italia la Convenzione entrò in vigore il 1° settembre 1989.

3.2.2 Il Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio

Lo strumento normativo di riferimento principale del nostro Paese in materia di tutela dei siti e degli edifici a valenza storica, artistica e testimoniale è il *Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio*²⁷. L'articolo 1, comma 1, del Codice attribuisce alla Repubblica il compito di tutelare e valorizzare il patrimonio culturale: Stato, Regioni ed Enti territoriali devono quindi assicurarne e sostenerne la conservazione, favorendone la pubblica fruizione e la valorizzazione, mentre i privati proprietari, possessori o detentori di beni appartenenti al patrimonio culturale sono tenuti a garantirne principalmente la conservazione.

I Beni culturali possono essere definiti, secondo quanto cita l'articolo 10 del Codice, come cose immobili e mobili che rappresentano interesse artistico, storico, archeologico o etnoantropologico appartenenti a enti pubblici, persone giuridiche private senza fine di lucro, o di proprietà privata, in qualche caso.

Con l'introduzione del vincolo di tutela, il proprietario non può godere liberamente del bene ma deve necessariamente sottostare a regole specifiche relative ad eventuali modifiche o trasformazioni del bene stesso o di alcune sue parti.

La tutela è il concetto cardine su cui si basa la tradizione normativa, per cui anche il Codice, nell'articolo 4, riconosce allo Stato la potestà di esercizio delle misure di tutela come prerogativa. Lo Stato può eventualmente conferire alle Regioni tale possibilità di esercizio, tramite forme d'intesa e coordinamento.

Il Codice tratta anche il patrimonio paesaggistico, definendolo come una parte omogenea del territorio i cui caratteri derivano dalla natura, dalla storia umana o dalle reciproche interrelazioni. Per quanto riguarda lo strumento normativo di riferimento per il paesaggio, il Codice individua i piani paesaggistici come apparato urbanistico-territoriale finalizzati al riconoscimento degli aspetti e dei caratteri peculiari dei territori individuati come beni paesaggistici, nonché alla definizione delle forme di salvaguardia più adeguate. Tali Piani prevalgono sugli strumenti urbanistici locali e su qualsiasi previsione in materia di governo del territorio in generale.²⁸

²⁷ D. Lgs. 42/2004, successivamente modificato con il D. Lgs. 156/2006, il D. Lgs 97/2008, la L. 106/2011 e il D.L. 69/2013.

²⁸ Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio, articolo 145.

In questo modo, si individua una ulteriore categoria di beni da tutelare che possono essere individuati dai piani paesaggistici per il loro valore e qualità: ai piani spetta l'obbligo di sottoporre il territorio ad una specifica normativa, attraverso l'articolazione della struttura e della morfologia del luogo, l'individuazione degli ambiti paesaggistici e degli obiettivi di qualità relativi. I piani paesaggistici, quindi, normano non solo la conservazione degli elementi costitutivi del paesaggio vincolato, ma anche la riqualificazione delle aree complesse.

Nel caso di interventi sia ai beni culturali che a quelli paesaggistici, il ruolo della soprintendenza è determinante nell'esito dell'autorizzazione ai lavori, per gli interventi canonici di restauro o risanamento conservativo ed anche per quelli di riqualificazione energetica.

In ogni caso, i contesti tutelati sono tenuti fuori dai ragionamenti legati alla sostenibilità: gli strumenti di regolamentazione contengono scarse indicazioni rispetto l'utilizzo di impianti che sfruttano fonti energetiche rinnovabili; le linee-guida per l'autorizzazione di questi impianti non sono chiare né esaustive.²⁹ Inoltre, per gli interventi di manutenzione ordinaria, straordinaria, di consolidamento statico e di restauro conservativo che non alterino lo stato dei luoghi e l'aspetto esteriore degli edifici vincolati dal punto di vista paesaggistico non è richiesta l'autorizzazione.³⁰ Questo significa che gli strumenti locali di governo del territorio acquisiscono un ruolo fondamentale nel controllo della compatibilità degli interventi di miglioramento e riqualificazione energetica svolti all'interno degli edifici, che possono essere di varia natura (rifacimento impianti, inserimento di cappotto ecc.).

3.2.3 Leggi Regionali e Regolamenti Edilizi comunali

Dal punto di vista della tutela e della salvaguardia degli edifici storici, il Codice dei Beni Culturali è lo strumento di riferimento nazionale sempre valido; tuttavia si è più volte evidenziato come ogni edificio sia inserito in un proprio peculiare contesto. Per questo motivo gli strumenti normativi regionali e comunali hanno un'ampia libertà nel regolamentare la tutela del costruito. A causa della frammentazione legislativa che

²⁹ Qualche indicazione è contenuta nel Protocollo d'intesa tra Ministero dell'Ambiente e Ministero per i Beni e le Attività Culturali, del 2000, a seguito del quale è stato emanato il Decreto Ministeriale del 10 settembre 2010, che contiene le linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili volte a semplificare le procedure e individuare i criteri di inserimento degli impianti nel paesaggio e nel territorio. Le realtà urbane tutelate non sono tuttavia menzionate specificatamente in questi strumenti normativi.

³⁰ Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio, articolo 149, comma 1a.

caratterizza il nostro Paese è di fondamentale importanza contestualizzare l'intervento e connotarlo delle specifiche prescrizioni e vincoli normativi. Sono stati analizzati e confrontati numerosi Regolamenti Edilizi a livello nazionale e sono stati messi a confronto. La scarsità di quantità di indicazioni a livello energetico, sia a livello generale che legata alla tutela di edifici storici, è dovuta al fatto che sono le Leggi Regionali le prime a differire molto; inoltre, la grande libertà lasciata alle amministrazioni comunali è da una parte un vantaggio, poiché permette di stilare regolamenti in linea con il contesto urbano specifico, dall'altra uno svantaggio, in quanto favorisce il crearsi di mancanze e lacune nella trattazione di alcuni argomenti, tra i quali le misure di tutela, le modalità e le tipologie di intervento ammesse. In seguito all'analisi di più di quaranta regolamenti edilizi di comuni sparsi in tutta la nazione, quattro sono risultati i più completi in merito agli edifici e nuclei storici: quelli di Milano, Bologna, Firenze e Cremona. Il Regolamento Edilizio di Milano (insieme con le principali Leggi Regionali della Lombardia in merito all'efficienza energetica) è analizzato più nel dettaglio nel Capitolo 5 (cfr. §5.2), in relazione alle tipologie degli interventi studiati³¹.

Gli strumenti regolamentari di Bologna, Firenze e Cremona sono stati invece messi a confronto (Tabella 5) e riportati come più significativi³²; il fatto che sia quello di Firenze (Marzo 2014) che quello di Bologna (Maggio 2014) siano di recente revisione ha sicuramente contribuito a renderli ulteriormente più completi, chiari ed esaustivi.

Tonalità	Riferimento RAL	Tonalità	Riferimento RAL
TERRE ROSSE	3012	COLOR DI CALCE	9002
PIETRA DI SARNICO	7032	TERRE GIALLE	1003
MOLENA	1001	OCRA GIALLO	1032
TERRE VERDI	6019	NARANCIO	1034

Figura 12: Tavolozza dei colori della città di Cremona.
[Fonte: Regolamento Edilizio di Cremona – Allegato O]

³¹ Il sistema legislativo Italiano è piuttosto complesso e si sviluppa su tre livelli (nazionale, regionale, comunale) sia per quanto riguarda l'edilizia che l'efficienza energetica (cfr.§4.2). Ogni regione recepisce in modo piuttosto autonomo le diverse leggi.

³² Nel valutare i regolamenti, si è tenuto conto anche dell'aspetto di efficienza energetica, e non solo di quello della tutela, poiché trovare indicazioni su entrambi gli argomenti è molto difficile, quasi raro se si cercano indicazioni sui due ambiti trattati insieme e non in modo parallelo.

Tra gli argomenti su cui risultano tutti e tre più esaurienti spiccano le tipologie di colori e di materiali possibili da usare nei centri storici, con relative tecniche applicative: il regolamento di Bologna dedica un lungo paragrafo al requisito di conservazione delle componenti estetiche di paesaggio degli edifici di interesse storico-architettonico, indicando di porre attenzione alla manutenzione degli intonaci e delle tinteggiature piuttosto che al rifacimento degli stessi; anche il regolamento fiorentino dedica un capitolo (Capitolo XII) all'aspetto esteriore delle zone e degli edifici di interesse storico-architettonico ed ambientale, ponendo particolare attenzione alle tinteggiature e alla composizione e realizzazione degli intonaci secondo le tecniche originarie di quelli esistenti (articoli 83, 87, 90); analogamente accade per Cremona, il cui regolamento dà indicazioni piuttosto precise sull'aspetto e sui rivestimenti esterni che devono avere gli immobili appartenenti al centro storico, definendo le modalità di esecuzione dell'intonaco esterno e vietando la possibilità di applicare facciate a cappotto qualora possano alterare l'aspetto dei fronti degli edifici di pregio architettonico (Articoli 57 e 59). Quest'ultimo regolamento è il più completo per quanto riguarda l'argomento dei colori e dell'aspetto che gli edifici, tutelati e non, devono avere, poiché fornisce anche (Allegato O) una tavolozza dei colori della città, con riferimento RAL (Figura 12), dando anche suggerimenti e indicazioni sul loro utilizzo ottimale (Figura 13).

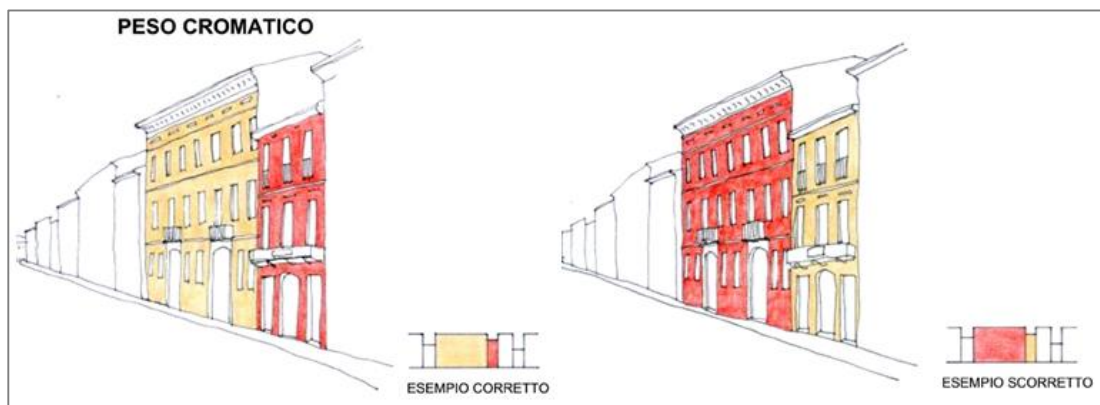


Figura 13: Indicazione delle modalità di tinteggiatura delle facciate in relazione all'estensione della superficie da tinteggiare. [Fonte: Regolamento Edilizio di Cremona - Allegato O]

Un aspetto che i tre regolamenti a confronto trattano in maniera piuttosto completa sono gli interventi e le modifiche ammesse nelle coperture degli edifici tutelati, per cui è sempre previsto, in linea generale, il mantenimento di quelle esistenti, con indicazione specifica, nel caso di Firenze, delle tipologie di manti appartenenti alla tradizione (embrici e coppi in cotto disposti in file parallele e ad elementi separati – articolo 84 comma 6), prescrivendo dove possibile la conservazione di abbaini e lucernari e fornendo i requisiti degli eventuali nuovi da realizzare e i diversi modi in cui intervenire (numero massimo, tipologia ammessa e limiti dimensionali – articolo 85). Il regolamento bolognese è molto restrittivo sotto

questo aspetto, poiché indica di “*conservare le facciate nel disegno, nell’unitarietà, nella consistenza materiale e nelle finiture*” (articolo 57 – requisito IS:1, 1.5), permettendone la modifica solo in casi di urgente necessità, se non per aprire abbaini e lucernari così da garantire i requisiti illuminotecnici e di aerazione dei sottotetti.

Infine, un altro aspetto rilevante è quello dell’indicazione degli interventi ammessi per la categoria di edifici di carattere testimoniale o allocati all’interno di aree urbane di pregio storico-artistico. Cremona ammette il restauro e il risanamento conservativo, nonché la ristrutturazione e il mantenimento dell’involucro esterno degli edifici, una volta verificata la corrispondenza dell’intervento con le connotazioni compositive e architettoniche dei fronti esterni e degli elementi decorativi degli immobili; la demolizione e la ricostruzione devono essere approvate in seguito alla verifica della qualità architettonica ed edilizia indotte sul contesto urbano (articolo 46).

Il Regolamento fiorentino è, invece, tanto chiaro e completo per quanto riguarda gli aspetti esteriori, quanto manchevole nell’indicare in modo preciso le tipologie di intervento ammesse; dall’articolo 83, *Criteri e prescrizioni generali*, tuttavia, si evince che siano ammessi tutti i tipi di intervento, anche quelli di nuova costruzione e ristrutturazione urbanistica, purché sia assicurato il corretto inserimento nel contesto urbano sottoposto a tutela.

Il Regolamento Urbanistico Edilizio di Bologna individua due categorie diverse di edifici tutelati: quelli di interesse storico-architettonico, per cui sono ammessi la manutenzione straordinaria, ordinaria e il restauro scientifico, e quelli di interesse documentale, a cui si aggiunge il permesso di intervenire con restauro e risanamento conservativo; di questi interventi fornisce delle schede requisito che indicano come procedere (articolo 57). In Tabella 5 sono riassunti e messi a confronto gli aspetti trattati dai regolamenti edilizi delle tre città in ambito di tutela.

In conclusione, i regolamenti edilizi comunali sono investiti di una responsabilità chiave per quanto riguarda il tema dell’implementazione nell’uso di fonti rinnovabili integrate in realtà urbane tutelate, a causa della struttura del sistema legislativo nazionale, e dovrebbero quindi contenere indicazioni sia sul risparmio energetico che sulle misure da seguire per rispettare il pregio storico-artistico degli edifici e dei luoghi in cui sono inseriti.

Aspetti trattati	Regolamento edilizio			
	Bologna	Firenze	Cremona	Articolo
Tipologie di intervento ammesse	<ul style="list-style-type: none"> • Edifici di interesse storico architettonico: manutenzione straordinaria e ordinaria, restauro scientifico. • Edifici di interesse documentale: manutenzione straordinaria e ordinaria, restauro scientifico, restauro e risanamento conservativo. 	57	83	46
		<ul style="list-style-type: none"> • Non chiare precisazioni. Ammessa la nuova costruzione purchè sia assicurato il corretto inserimento nel contesto sottoposto a tutela. 	<ul style="list-style-type: none"> • Restauro, risanamento conservativo, ristrutturazione e mantenimento dell'involucro esterno. Presuppongono la verifica alla corrispondenza con le connotazioni compositive del contesto urbano. 	
Facciate, rivestimenti, regole su colori e materiali	<ul style="list-style-type: none"> • Estendere la manutenzione di intonaci e tinteggiature di tutte le pareti esterne, garantendo conservazione di intonaci e tinteggiature originarie. 	57	87	57
		<ul style="list-style-type: none"> • Prescrizioni, modalità di esecuzione e di intervento nel rifacimento e ripristino degli intonaci. • Conservazione dei paramenti murari in pietra o mattoni a vista, anche dal punto di vista cromatico, che costituiscono elemento tipico della tradizione fiorentina. • Prescrizioni sulle tinteggiature, indicazione dei colori e dei toni da utilizzare, riproducendo quelli originari. 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicazione per il centro storico su come eseguire gli intonaci esterni e modalità di realizzazione di pareti a cappotto. 	
Prescrizioni generali sulle coperture e sugli elementi esterni degli edifici tutelati.	<ul style="list-style-type: none"> • Edifici di interesse storico architettonico: conservare le coperture nella loro forma e consistenza materiale. Sostituire solo gli elementi non riparabili con altri identici o analoghi per materiale e colore; raggruppare nuovi comignoli o torrioni il più possibile verso il centro; escludere la realizzazione di antenne e di pannelli fotovoltaici e termici sui tetti degli edifici, anche se integrati nelle coperture; • Edifici di interesse documentale: posizionare nuovi comignoli verso il centro; installare pompe di calore, caldaie, condizionatori, pannelli solari e fotovoltaici e altri elementi impiantistici dotati di propria visibilità su falde secondarie, non su quelle verso il fronte strada. 	57 Requisit o IS.1	84	50
		<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimento delle coperture esistenti e del loro carattere tradizionale. Vietato sostituirle con altre di diversa conformazione o geometria; si considerano manti originari e tipici della tradizione embrici e coppi in cotto, disposti in file parallele, tegole marsigliesi, limitatamente alle tipologie paleoindustriali e all'architettura del primo Novecento. • Possibilità di aprire abbaini e lucernari 	<ul style="list-style-type: none"> • Nel centro storico e negli edifici di vecchio impianto possono essere realizzati terrazzi solo in sostituzione di coperture incongrue per materiali, tipologia e geometria; le pavimentazioni dei terrazzi devono essere realizzate con materiali della tradizione locale. • I comignoli caratterizzati da elementi costruttivi riferibili a tecniche tradizionali è obbligatorio il restauro conservativo. 	
		57 Requisit o ID.1	85	51
		<ul style="list-style-type: none"> • Edifici di interesse documentale: posizionare nuovi comignoli verso il centro; installare pompe di calore, caldaie, condizionatori, pannelli solari e fotovoltaici e altri elementi impiantistici dotati di propria visibilità su falde secondarie, non su quelle verso il fronte strada. 	86	52
			<ul style="list-style-type: none"> • Modifica dei canali di gronda è ammessa solo in caso di elementi alterati da precedenti interventi che ne abbiano compromesso il carattere tradizionale; in ogni caso è vietato sostituire elementi tradizionali con altri che presentino materiali o colori estranei alla tradizione fiorentina, intonacare o verniciare a corpo tavolati o elementi in cotto. 	

Tabella 5: Prescrizioni sui centri storici e sugli edifici di pregio architettonico-storico-testimoniale.

3.3 Considerazioni sul tema

La rappresentazione del quadro legislativo nazionale mostra come gli strumenti di legge riguardanti l'efficienza energetica siano complessi in termini di reperibilità delle informazioni e di varietà degli argomenti, trattati in leggi e decreti diversi in modalità differenti, ripresi, revisionati e ampliati, con continui riferimenti e connessioni tra i decreti stessi. Dalla semplice analisi effettuata, è chiara la necessità di uno strumento unico e univoco che riassume i principi guida e le prescrizioni sull'edilizia per il raggiungimento in modo efficace degli obiettivi previsti a livello comunitario in merito all'efficienza energetica.

È opportuno sottolineare la quasi totale mancanza di strumenti giuridici e di indicazioni specifiche per il patrimonio edilizio esistente, in particolare quello considerato di specifico valore storico e artistico. L'unica soluzione proposta sembra essere quella di deroga, che rappresenta uno dei tanti ostacoli nell'operare su questa specifica categoria, poiché lascia i progettisti senza una guida univoca da seguire.

Il problema della tutela e del vincolo, inoltre, crea un'ulteriore contraddizione: da un lato, l'esclusione a priori degli edifici sottoposti a tutela in merito a numerosi interventi garantisce la conservazione dei beni ma fallisce nel raggiungimento degli obiettivi generali di un'innovazione sostenibile necessaria, dall'altro, la mancanza di strumenti chiari ed esaustivi che possano guidare i professionisti nell'eseguire opere di riqualificazione impedisce di raggiungere gli obiettivi di sostenibilità nel rinnovo dell'edilizia storica, rischiando inoltre di stravolgerla.

Le normative più recenti, che abbracciano le esigenze del tema sempre più attuale ed urgente della sostenibilità, propongo l'integrazione di impianti che sfruttano le fonti energetiche rinnovabili prevalentemente in termini di requisiti tecnico-energetici, prestando attenzione soprattutto alla prestazione finale piuttosto che alla lettura del contesto e delle esigenze richieste dal sistema edilizio.

È di fondamentale importanza, quindi, utilizzare un approccio progettuale ma anche processuale, che faccia riferimento alla salvaguardia ambientale, ai valori culturali dei luoghi, ai contributi normativi forniti dagli Enti Locali e, non da ultimo, alle ricadute che i diversi scenari di intervento potrebbero provocare sulle singole realtà e sui sistemi insediativi stessi.

La presente trattazione si concentra sul patrimonio edilizio esistente tutelato e vincolato in maniera più o meno restrittiva in quanto la decisione della Commissione Europea di trarre nel 2020 un drastico taglio delle emissioni e di aumentare la quota delle fonti

rinnovabili sul consumo totale di energia si riflette necessariamente in un'accelerazione del processo di miglioramento energetico del costruito esistente nella sua totalità.

Le richieste delle direttive europee e delle normative di recepimento nazionali si sono tradotte in requisiti architettonici e in soluzioni impiantistiche che inevitabilmente influenzano le scelte progettuali e l'assetto complessivo dei complessi urbani.

Il campo del miglioramento energetico nel caso di centri storici o nuclei di antica formazione, in termini di comportamento e di aspetto, rappresenta uno degli ambiti più delicati in cui agire: la distribuzione degli spazi, le tecniche costruttive impiegate e i materiali utilizzati devono essere una base di partenza su cui lavorare, senza che questa venga stravolta o deturpata. L'installazione degli impianti e il posizionamento di parti di questi in facciata, copertura o all'interno di spazi appositamente individuati presuppone un'analisi attenta di numerosi aspetti che altrimenti non andrebbero considerati, come la tutela delle peculiarità dei manufatti, le caratteristiche singolari di ogni oggetto edilizio, le criticità del contesto urbano e la percezione paesistica.

4. Energie rinnovabili

4.1 Premessa

Il tema della sostenibilità è di grande attualità, a causa dell'urgenza ambientale cui si assiste di questi tempi. Le fonti rinnovabili rappresentano una parte della soluzione al problema, per cui il loro sfruttamento è di vitale importanza, soprattutto nell'ambito dell'edilizia, uno dei settori più energivori. In questo capitolo si affronta il tema dell'energia rinnovabile in riferimento all'edilizia tutelata e ai centri storici, mettendo in evidenza i punti di incontro di queste due tematiche.

La condizione ambientale planetaria attuale è, infatti, caratterizzata da variazioni climatiche preoccupanti e repentine, da un inquinamento globale in aumento e dall'incertezza di approvvigionamento di energia, che rappresentano i problemi più gravi della nostra civiltà. La ricerca di soluzioni è complessa e richiede anche ingenti investimenti di tempo, risorse e competenze, nonché, soprattutto, una modifica del comportamento in termini di sfruttamento e consumo energetico. La soluzione a questi problemi va tuttavia trovata al più presto, poiché prolungare nel tempo uno sfruttamento di tali proporzioni, smisurato e smodato, porterà a conseguenze disastrose in un immediato futuro. In questo scenario, il tempo che passa è il principale nemico nella corsa ai ripari: in quest'ottica ambientale il mondo civilizzato si sta rapidamente convertendo verso nuove tecnologie di generazione di energia, mosso dalla necessità di attribuire alle fonti rinnovabili una rilevanza strategica per lo sviluppo futuro delle attività produttive e delle soluzioni abitative.

La disponibilità energetica, inoltre, condiziona il progresso economico e sociale dei territori e i modi in cui questa viene resa disponibile, e quindi anche le tecnologie utilizzate, condizionano l'ecosistema circostante e la qualità della vita. Dalla rivoluzione industriale in poi, fino ad un passato molto recente, si è assistito a comportamenti generalizzati in cui le Nazioni industrializzate prelevavano e consumavano le fonti fossili ad un ritmo indiscriminato, mosse dalle leggi del mercato e dal consumismo sfrenato. L'effetto peggiore di questo comportamento è ad oggi rappresentato non solo dall'esaurimento di tali risorse, aspetto da non trascurare poiché le fonti fossili sono attualmente consumate ad un ritmo centinaia di migliaia di volte superiore a quello con cui si sono prodotte, ma soprattutto dai danni irreversibili recati all'ambiente. Pertanto, gli organismi sovranazionali e i singoli stati si sono mossi durante gli ultimi due decenni per trovare gli strumenti più adeguati per

coniugare progresso e salvaguardia ambientale, nella consapevolezza della portata e della gravità del problema energetico-ambientale.

Uno degli strumenti disponibili nell'immediato per realizzare questo obiettivo è l'uso più consistente delle fonti di energia rinnovabile, in grado di contenere l'impatto ambientale molto più delle fonti fossili. Nell'ambito di una politica di sviluppo sostenibile dei territori, coerente e incisiva, è necessario che gli Enti preposti dalle diverse Nazioni sostengano la progressiva integrazione di tali fonti anche all'interno del patrimonio edilizio esistente e del mercato energetico attuale. È necessario stilare e controllare il rispetto di regole e linee guida sul graduale inserimento delle fonti rinnovabili nel sistema energetico e nell'appartato di edificazioni non solo future, ma anche, soprattutto nel contesto italiano, esistenti.

Oltre alla salvaguardia ambientale, che rappresenta il movente principale di questa nuova tendenza energetica, l'utilizzo di fonti alternative può portare ad altri numerosi vantaggi: una riduzione sostanziale dei costi di energia, una sicurezza del sistema energetico, una minore dipendenza nazionale dai mercati esteri e una più efficace tutela del territorio.

Il presente studio vuole indirizzare l'utilizzo di tecnologie che sfruttino fonti rinnovabili mediante azioni di progettazione e integrazione di tali impianti negli edifici esistenti tutelati, seguendo la linea della ricerca e della garanzia dell'ambiente in un'ottica di qualità architettonica e sostenibilità ambientale, nell'ambito dell'impegno verso la valorizzazione dei caratteri tipici del territorio di appartenenza e delle peculiari caratteristiche storiche e artistiche dei fabbricati.

Il presupposto di partenza è quindi quello che le fonti rinnovabili possono fornire un contributo rilevante allo sviluppo di un sistema energetico più sostenibile, volto alla difesa del pianeta e delle risorse di energia disponibili, contribuendo alla tutela del territorio e del patrimonio edilizio a valenza storica, nel rispetto delle normative e delle direttive nazionali e sovranazionali che hanno preso in esame il problema della salvaguardia. A tale proposito, si procede, a seguito dell'analisi dei consumi di energia rinnovabile e relativa definizione della stessa, con l'individuazione di tecnologie e impianti sostenibili adatti al caso di studio: dal minor impatto visivo e di modifica delle caratteristiche peculiari degli oggetti edilizi, coerentemente con le prescrizioni normative riguardanti il patrimonio edilizio tutelato.

4.2 Energia rinnovabile in Italia

4.2.1 Fonti rinnovabili: cosa e quali sono

La situazione precaria ambientale, dovuta al crescere dell'inquinamento e delle immissioni, nonché l'esponenziale utilizzo di fonti fossili come il petrolio ha portato ad un cambiamento epocale per quanto riguarda l'approvvigionamento di energia.

La situazione attuale pare dare ragione ad una previsione dello sceicco Yamani, fondatore dell'OPEC³³, che sosteneva che *"L'età della pietra non finì perché finirono le pietre, l'età del petrolio non finirà perché finirà il petrolio"*. La Commissione Europea e le diverse nazioni hanno preso un impegno in tal senso, cercando di sopperire al fabbisogno energetico tramite energie alternative al petrolio.

Ma cosa si intende per energia rinnovabile? Per fonti rinnovabili si intendono quelle fonti che possono essere considerate inesauribili poiché si rigenerano almeno con la stessa velocità con cui si consumano. In realtà, in accordo con il primo principio della termodinamica, l'energia non si crea né si distrugge, quindi si indicano come rinnovabili le fonti energetiche le cui riserve oltrepasseranno gli orizzonti temporali della nostra civiltà. Possono essere definite anche come fonti alternative, in quanto sopperiscono all'uso dei combustibili fossili e del petrolio.³⁴ Questa tipologia di fonte energetica, inoltre, presenta il vantaggio di avere bassi impatti ambientali, poiché non immette nell'atmosfera sostanze inquinanti o nocive, e comporta, grazie alla possibilità di utilizzare incentivi statali e locali, un ritorno economico sull'investimento iniziale per l'installazione di impianti che sfruttano tale risorsa, soprattutto per quanto riguarda la produzione di energia elettrica.

Le principali fonti di energia rinnovabile sono: l'energia solare, l'energia eolica, quella geotermica, quella aerotermica, l'energia da biomasse e quella idroelettrica.

È chiaro che in merito al presente lavoro non è possibile utilizzare tutte le fonti disponibili, a causa della necessità di garantire una qualità compositiva all'inserimento degli impianti; è necessario individuare quelle tecnologie che si adattano, almeno in parte, alle esigenze

³³ Ahmed Zaki Yamani è un politico saudita fondatore, nel 1960, dell'OPEC (Organization of the petroleum Exporting Countries), un'organizzazione di dodici Paesi esportatori di petrolio, che si sono associati costituendo un cartello economico per negoziare con le compagnie petrolifere aspetti relativi alla produzione di petrolio, prezzi e concessioni.

³⁴ In tale ottica, anche i combustibili fossili potrebbero essere considerati rinnovabili a patto che il loro utilizzo sia limitato alla quantità che la terra può produrre durante la vita dell'uomo. Poiché occorrono almeno un milione di anni per generarlo, che gli abitanti del globo sono circa 6 miliardi e che la quantità accumulata dalla terra nelle ere passate è di 1.500 miliardi di tonnellate equivalenti, se ne dovrebbe limitarne l'uso a circa 250 grammi l'anno. Tutto ciò che viene consumato in più viene definitivamente sottratto alle generazioni future.

dell'integrazione conservativa degli impianti, e quelle che invece non hanno possibilità di applicazione nell'ambito del miglioramento dell'efficienza energetica di realtà edilizie tutelate.

L'energia solare costituisce la risorsa più abbondante in assoluto in termini di potenza disponibile. Tuttavia, essa è caratterizzata da una scarsa concentrazione rispetto ad altre fonti, come l'idroelettrica o l'eolica, fattore che costituisce la principale limitazione ad una diffusione su larga scala della generazione elettrica da fonte solare.

La radiazione solare che colpisce globalmente il nostro paese può assumere, mediamente, il valore massimo di 1000 W/m^2 , in condizioni di cielo sereno e sole perpendicolare alla superficie.³⁵ Tale energia può essere sfruttata in impianti di tipo fotovoltaico, che la convertono in energia elettrica, o solari termici, che contribuiscono al fabbisogno di acqua calda sanitaria e riscaldamento. Entrambe le soluzioni possono essere integrate in edifici storici o tutelati, soprattutto in caso di disponibilità di moderati spazi attorno all'edificio o ai gruppi di edifici considerati (cfr. §4.3).

L'energia posseduta dal vento è la conseguenza di gradienti di temperatura sulla superficie terrestre. *L'energia eolica* è sfruttata tramite un motore che converte dell'energia cinetica del vento in energia meccanica. Le potenzialità di questa fonte sono di elevate proporzioni, ma i sistemi della conversione dell'energia eolica sono ingombranti ed estensivi (Figura 14). Una tecnologia più recente, quella del micro-eolico, permette tuttavia di utilizzare turbine dalle dimensioni decisamente più contenute rispetto a quelle dei parchi eolici, quindi utilizzabili anche nel presente caso di studio (cfr. §4.3).

³⁵ Il pianeta Terra riflette verso lo spazio circa il 30% della radiazione incidente; della restante parte, il 25% è assorbito durante l'attraversamento dell'atmosfera e riemesso come radiazione infrarossa, mentre il 45% giunge sulla superficie terrestre come radiazione diretta e diffusa. La prima è caratterizzata da un fascio secondo la direzione del Sole, la seconda deriva dalla rifrazione della radiazione diretta da parte delle nubi e viene considerata di intensità uniforme in tutte le direzioni, poiché priva di una direzione specifica. La quota di radiazione diretta o diffusa dipende dalle condizioni meteorologiche e di umidità. Inoltre, il valore della radiazione globale dipende dalla latitudine, dal giorno dell'anno e dall'ora del giorno. La giacitura della superficie su cui la radiazione incide è un parametro fondamentale nello sviluppo delle tecnologie che sfruttano questa fonte.



Figura 14: Esempi di campi eolici on-shore (su terra) e off-shore (installati in mare aperto).
[Fonte: Google Images]

Un'altra tipologia di fonte rinnovabile è quella *geotermica*, immagazzinata sotto forma di calore al di sotto della superficie solida della terra. Questa elevata quantità di energia termica deriva dalla conformazione e struttura geologica terrestre, dal centro della terra, la cui temperatura si stima superiore a 5000°C , si origina un flusso termico verso la superficie. Per essere portata in superficie, l'energia termica racchiusa nel sottosuolo deve essere portata in superficie da opportuno fluido termovettore (spesso acqua naturalmente contenuta nelle rocce porose del sottosuolo) che circola in un circuito sotterraneo di tipo chiuso, la sonda geotermica. Benché la tecnologia comporti delle difficoltà e dei costi piuttosto elevati di realizzazione, è possibile utilizzarla in caso di spazi liberi sufficienti per la produzione di quantità di energia contenute mediante lo sfruttamento di pompe di calore a servizio edifici singoli o gruppi di edifici.



Figura 15: Esempio di impianto a biomasse.

L'energia da biomasse sfrutta tutte quelle sostanze che hanno origine organica, ad esclusione delle plastiche di origine petrolchimica e dei combustibili fossili, che non sono a basso impatto ambientale. Le biomasse sono particolarmente efficaci poiché risolvono due principali problemi dell'utilizzo di fonti rinnovabili: la discontinuità dell'energia e lo

stoccaggio. L'energia viene convertita con un processo interrompibile e stoccata sotto forma di materiali organici di diverso tipo. Tuttavia, non è possibile applicare tale tecnologia al caso di studio, poiché gli impianti che sfruttano le biomasse lavorano su larga scala e sono molto ingombranti (Figura 15). È possibile, tuttavia, che centrali che sfruttano questa fonte siano utilizzate come generatori per la produzione di energia elettrica nelle reti di teleriscaldamento³⁶, alle quali non è da escludere l'allacciamento degli impianti di riscaldamento o raffrescamento a servizio dei singoli edifici.

Così come gli impianti da biomasse, anche le centrali idroelettriche sono di proporzioni esorbitanti in quanto a dimensioni, poiché sfruttano ampie dighe, quindi una loro applicazione non avrebbe senso inserita nel contesto dell'intervento in esame (Figura 16). La *fonte idroelettrica* fornisce il maggior contributo di energia elettrica da fonte rinnovabile in Italia ad oggi. Il principio di funzionamento di un impianto idroelettrico consiste nella conversione dell'energia potenziale posseduta da un flusso d'acqua in energia meccanica attraverso una turbina, e poi in energia elettrica mediante un generatore.



Figura 16: Esempio di diga a servizio di una centrale idroelettrica.

Avendone escluse alcune per le ragioni sopra citate, in seguito (cfr. §4.3) sono elencate e spiegate le principali tipologie di impianti tecnologici che sfruttano fonti energetiche rinnovabili adatte al caso di studio, quindi integrabili in contesti a valenza storico-artistica e che non deturpino l'aspetto e le caratteristiche singolari dei fabbricati, nel rispetto delle normative nazionali vigenti e dei regolamenti edilizi comunali.

³⁶ Gli impianti di teleriscaldamento producono calore centralmente per poi distribuirlo alle utenze. Normalmente sfruttano come fonte gas naturale o rifiuti come combustibile per alimentare le caldaie o le unità cogenerative; tuttavia, ultimamente, si assiste ad una crescita di centrali di teleriscaldamento alimentati da biomasse. Inoltre, in Europa, da decenni si utilizzano impianti solari termici per contribuire alla produzione di energia termica degli impianti di teleriscaldamento.

4.2.2 I consumi di energia

Per comprendere l'applicazione delle energie rinnovabili nel nostro Paese, è opportuno fornire un quadro generale del bilancio dello sviluppo del settore energetico che riguarda queste fonti e gli effetti che queste possono avere sul sistema energetico italiano.

In seguito alle direttive europee e alla consapevolezza dell'importanza di uno sviluppo economico e produttivo sostenibile, la domanda di energia primaria si è modificata in modo sostanziale, facendo largo spazio al contributo delle fonti rinnovabili.

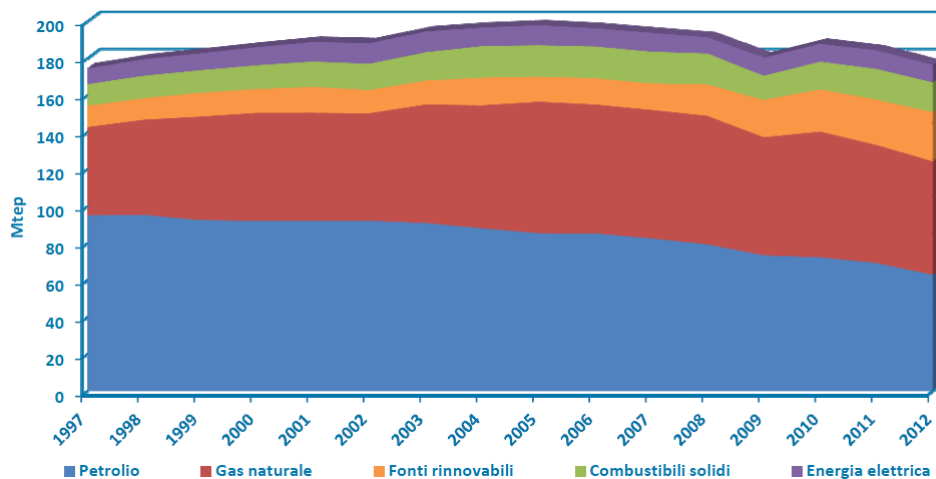


Figura 17: Domanda di energia primaria per fonte (Mtep), anni 1997-2012.
[Fonte: elaborazione Enea sui dati del Ministero dello sviluppo economico].

Negli ultimi sedici anni, in Italia, si è notevolmente ridotto l'apporto del petrolio, passando da circa 95 Mtep del 1997 (oltre il 54% della domanda di quel tempo) a circa 62,8 Mtep nel 2012³⁷, corrispondenti al 35,6% del totale: una riduzione consistente di quasi venti punti percentuali, compensata in particolare da energia pulita. Anche il contributo relativo del gas naturale è cresciuto costantemente nel tempo, passando dal 27,4% al 34,8% tra il 1997 e il 2012, ma ciò che è interessante è l'ascesa repentina della quota delle fonti rinnovabili, dal 6,6% del 1997 al 15,1% del 2012, sebbene attualmente, in termini assoluti, i valori siano più contenuti rispetto a quelli del petrolio e del gas naturale: si contano circa 26,6 Mtep nel 2012.

Le fonti rinnovabili si collocano così al terzo posto nel nostro Paese per importanza nel panorama di energia primaria: dalla sintesi dell'andamento della domanda totale si osserva come, nel 2008, si è addirittura assistito al "sorpasso" rispetto ai combustibili solidi (Figura 17).

³⁷ RAEE 2014.

Per comprendere meglio la situazione attuale, si nota che le percentuali di domanda energetica primaria per fonte, relative al 2013, mostrano, nonostante la prevalenza di gas naturale e petrolio, un incremento della quota relativa alle fonti rinnovabili rispetto ai dati del 2012 (riportati tra parentesi per ogni fonte), le quali risultano terze per importanza (Figura 18).

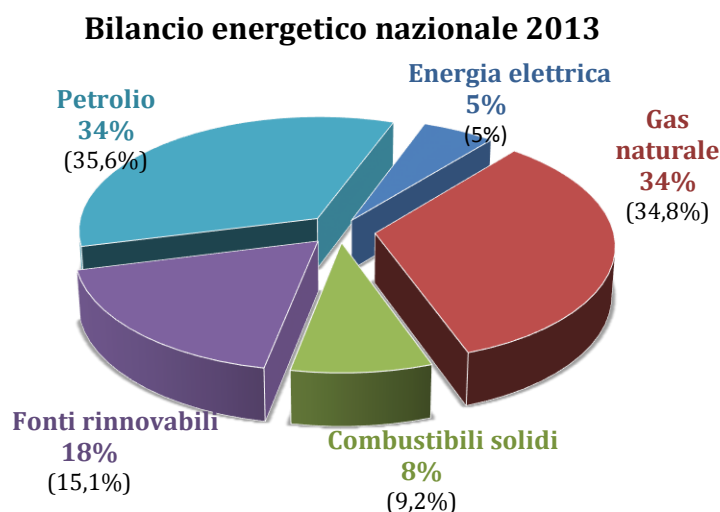


Figura 18: Domanda di energia primaria per fonte (%), anno 2013³⁸.
[Fonte: elaborazione dati del Ministero dello sviluppo economico].

L'utilizzo di fonti alternative è di fondamentale importanza nell'ambito della strategia europea di uno sviluppo economico sostenibile. Per questo si assiste ad un'accelerazione nel processo di sfruttamento di questa tipologia energetica negli ultimi anni. Entro il 2020, l'Italia dovrà coprire circa il 17% dei consumi finali di energia mediante fonti rinnovabili; obiettivo che da raggiungere, secondo la direttiva europea, distinguendo tre principali settori: elettricità, riscaldamento e raffrescamento, trasporti.

Nel settore del riscaldamento e raffrescamento e in quello dei trasporti, la Nazione risulta un po' indietro nell'integrazione di sistemi che sfruttino energie rinnovabili rispetto agli altri Paesi dell'Unione Europea, basti pensare che il bilancio energetico nazionale ancora non riporta dati né su tecnologie tradizionali e consolidate, come il solare termico o come gli usi diretti del calore geotermico, né su forme di energia rinnovabile termica, riconosciute recentemente dalla direttiva 2009/28/CE, quali l'aerotermica, l'idrotermica e la geotermica consumate tramite pompe di calore.

³⁸ I dati riportati si riferiscono alla sintesi dei dati più recenti forniti sul Bilancio Energetico Nazionale dal Ministero dello sviluppo economico, ad oggi non ancora ufficializzati. Tra parentesi sono riportate le quote percentuali di domanda relative all'anno 2012, le quali si riferiscono ai dati ufficiali più recenti ad oggi disponibili.

A tal proposito si notano, in ogni caso, dei passi avanti tramite l'elaborazione di statistiche elaborate recentemente dal GSE³⁹ per i rapporti di monitoraggio sull'attuazione della direttiva che l'Italia, come ogni Paese membro, deve redigere annualmente. Tali statistiche indicano che già nel 2012 si sono raggiunti alcuni importanti obiettivi in merito al soddisfacimento della domanda di energia termica tramite l'utilizzo di energia pulita: dal 2010 si è assistito ad un'impennata nell'utilizzo di fonti rinnovabili, che ha portato al raggiungimento di un consumo pari alle 5,5 Mtep, che corrisponde al 10% della quota totale del fabbisogno termico, livello non trascurabile in vista del soddisfacimento degli obiettivi del 2020, anche se ancora insufficiente (Figura 19).

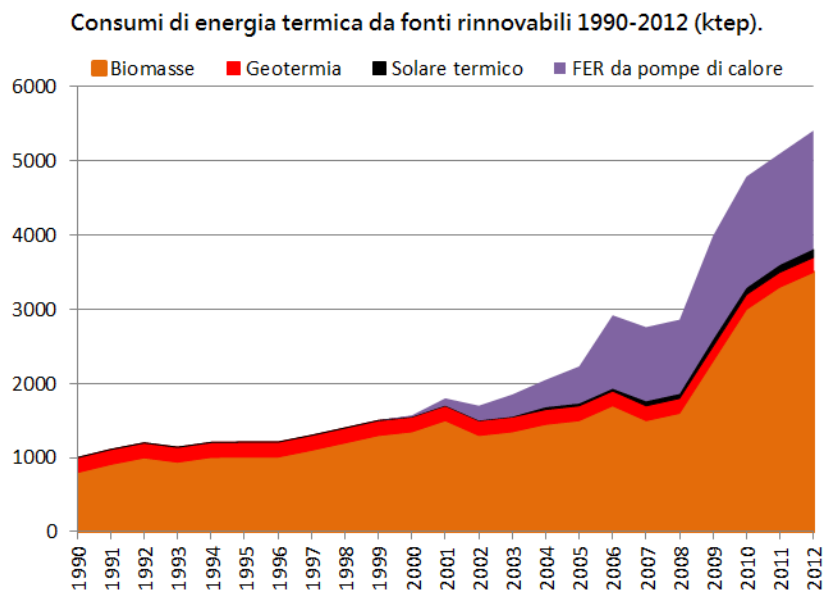


Figura 19: Consumi di energia termica soddisfatte con fonti rinnovabili.
 [Fonte: elaborazione dati Eurostat]

A differenza di quanto accade per il settore del riscaldamento/raffrescamento e dei trasporti, la produzione di energia elettrica da fonti alternative è in continua crescita in Italia: nel 2011 si era già raggiunta la quota dell'11,5% del consumo interno lordo coperto da fonti rinnovabili.

³⁹ Il GSE, Gestore Servizi Energetici, è a capogruppo di altre tre società (AU, Acquirente Unico; GME, Gestore Mercati Energetici; RSE, Ricerca Sistema Energetico) che operano nell'ambito energetico con finalità soprattutto pubblicitistiche. La società opera per la promozione dello sviluppo sostenibile attraverso la qualifica tecnico-ingegneristica e la verifica di impianti a fonti rinnovabili e di cogenerazione ad alto rendimento. La società, inoltre, svolge attività di supporto al Ministero dello Sviluppo Economico sulle materie energetiche, pubblicando annualmente statistiche e dati in merito all'utilizzo delle fonti rinnovabili.

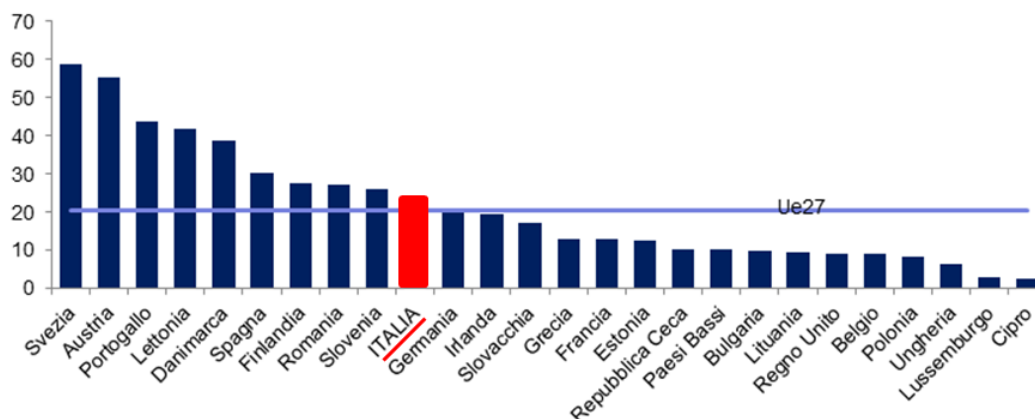


Figura 20: Consumi di energia elettrica coperti da fonti rinnovabili in UE, anno 2012, in percentuale dei consumi interni lordi. [Fonte: Istat - Statistiche noitalia 2014].

L'anno 2012 ha confermato questo trend nel settore elettrico: quasi un terzo del fabbisogno per energia elettrica è stato coperto da energia alternativa; grazie a questo traguardo, nel contesto europeo, si evidenzia che il nostro Paese si colloca al decimo posto (Figura 20), dimostrando di essere sulla strada giusta per soddisfare la soglia di consumi finali per il 2020 imposta dalla direttiva europea.

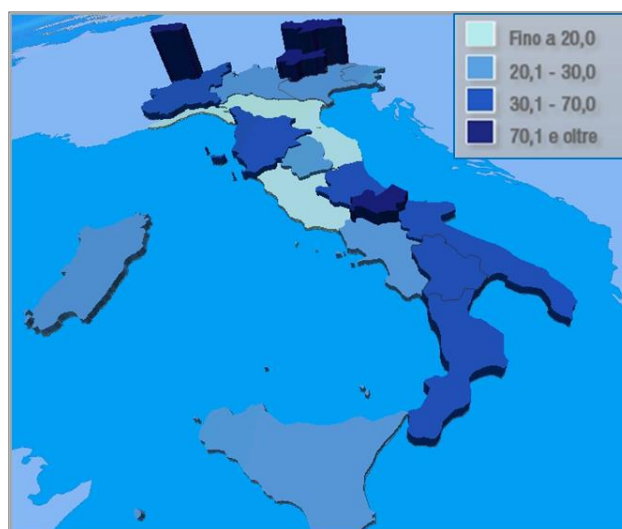


Figura 21: Consumi di energia elettrica coperti da fonti rinnovabile per regione. anno 2012. Produzione lorda di energia elettrica da fonti rinnovabili in percentuale del consumo interno lordo di energia elettrica. [Fonte: Elaborazione Istat su dati Terna].

Ciò che rende la Nazione peculiare è la forte disparità produttiva tra le diverse regioni, caratterizzata dalla storica scissione tra Settentrione e Meridione e, anche, dalla differenza territoriale e di risorse e spazi disponibili per lo sviluppo delle diverse tecnologie che sfruttano energia rinnovabile (Figura 21).

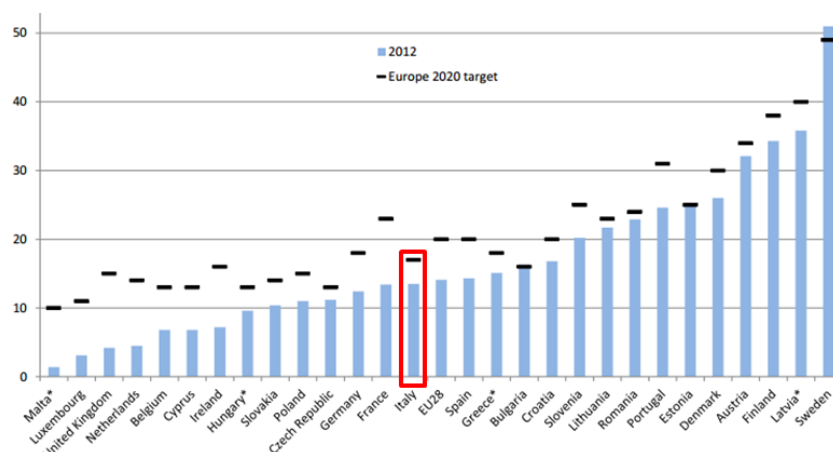


Figura 22: Consumi di energia coperti da fonti rinnovabili nei paese UE, anno 2012, confrontati con l'obiettivo del 2020. [Fonte: noitalia 2014 – Elaborazione dati Istat].

In Figura 22 si riassume la situazione globale dell’Unione Europea e dell’Italia in riferimento all’obiettivo 2020, (i consumi sono riportati in percentuale) che mostra come il nostro Paese sia ancora indietro nel raggiungimento del target previsto, seppur sulla buona strada per uno sviluppo nel prossimo futuro.

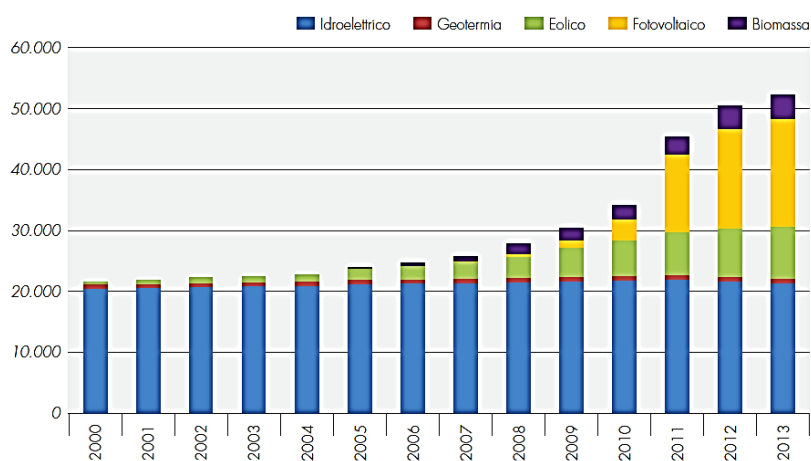


Figura 23: Crescita delle rinnovabili (MW) 2000-2013. [Fonte: Elaborazione Legambiente su dati Istat]

I dati più recenti risultano in ogni caso piuttosto incoraggianti: nel 2013 in Italia la produzione da energie pulite ha garantito il 32,9% dei consumi elettrici e circa il 15% di quelli complessivi. Facendo quindi un bilancio, dal 2000 ad oggi circa 49 TWh da fonti rinnovabili si sono aggiunti all’apporto dei tradizionali impianti idroelettrici e geotermici. Nel 2013 si è superato per la prima volta un muro che pareva invalicabile, con 104 TWh prodotti da fonti di energia pulita⁴⁰ (Figura 23).

⁴⁰ Informazioni fornite dal Rapporto di Legambiente Comuni Rinnovabili 2014.

4.2.3 Quadro regionale dell'innovazione energetica in edilizia

Nel Capitolo 3 è stato dettagliatamente analizzato il quadro normativo di riferimento, che mostra una forte discrepanza tra il tema energetico e quello della conservazione edilizia. Tuttavia, la necessità di introdurre fonti alternative per sopperire al fabbisogno energetico inserita nel contesto legislativo italiano, ha fatto sì che a livello regionale e, spesso, addirittura comunale, si assista ad una regolamentazione molto diversa. È opportuno tenere presente questo aspetto, poiché lo sfruttamento dell'energia rinnovabile è molto legato alla geografia del luogo, sia dal punto di vista della reperibilità delle fonti, sia, in Italia, dal punto di vista della legislazione.

È chiaro quindi che se si sposta l'attenzione su quanto fatto dalle Regioni in seguito ai provvedimenti nazionali, la situazione peggiora ulteriormente dal punto di vista dell'eterogeneità e della molteplicità di linee guida e indicazioni da seguire lungo tutta la penisola.

Senza contare la quasi totale mancanza di indicazioni sul costruito storico da parte della stragrande maggioranza dei regolamenti edilizi comunali, compresi quelli più completi, tra le diverse realtà emergono notevoli differenze in materia di prestazioni energetiche. Alcune Regioni hanno emanato provvedimenti che introducono significativi cambiamenti nel modo di costruire, con indicazioni specifiche sull'utilizzo delle rinnovabili; altre, invece, hanno approvato normative che promuovono l'edilizia sostenibile senza fornire indicazioni precise o esaurienti.

In Figura 24 si mostra una mappa regionale sull'edilizia sostenibile, così da fornire il quadro generale della complessità del problema dal punto di vista puramente della sostenibilità, al quale si aggiunge, nel presente studio, quello della tutela storico-artistica. In una situazione in cui l'obbligo del soddisfacimento di una parte del fabbisogno energetico attraverso rinnovabili è esteso a tutta Italia, solo in alcuni comuni e regioni si assiste ad un adeguamento dei regolamenti in tal senso, senza inoltre trattare e regolamentare l'installazione di tutte le varie tipologie di impianti che sfruttano tali fonti, ma soprattutto solo quella del solare termico o del fotovoltaico.

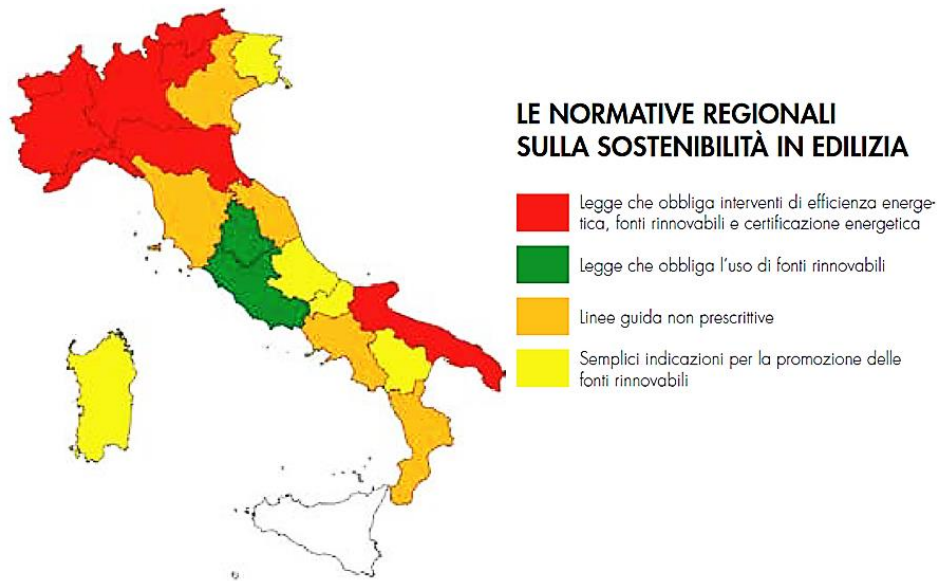


Figura 24: Mappa della regolamentazione regionale sull'edilizia sostenibile. [Fonte: Legambiente]

Dal punto di vista, poi, della tutela, spesso i regolamenti più completi in tal senso sono privi, quasi o del tutto, di indicazioni sull'integrazione degli impianti in realtà edilizie o urbane di pregio artistico, poiché, ove presenti, vengono indicate le azioni vietate piuttosto che quelle permesse, lasciando ampio spazio all'interpretazione soggettiva dei progettisti, restauratori o di chiunque debba intervenire sui manufatti edilizi.

4.3 Tipologie di impianti adatti a contesti urbani di pregio storico

Gli edifici sono una parte essenziale della vita di una comunità e necessitano inoltre di un approccio integrato, nel senso che vanno considerati sia come elementi a sé sia come parti fondamentali della vita urbana in generale. È necessario fare quindi una prima discriminazione in merito alla tipologia di impianto che può essere utilizzata a seconda che si consideri l'edificio a sé stante o inserito in un contesto urbano più ampio.

Gli impianti che necessitano di grandi spazi per la loro installazione vanno scartati a priori sia causa della difficoltà e, spesso, impossibilità della realizzazione a causa del mancato spazio disponibile ad ospitare l'ingombro della tecnologia, sia a causa delle indicazioni delle leggi in merito all'impatto visivo: va conservata la peculiarità e la singolarità dei centri storici e, quindi, non è possibile utilizzare impianti idroelettrici, eolici di grandi dimensioni o grandi centrali che sfruttino biomasse.

La verifica dello spazio effettivamente necessario per l'impianto non può quindi essere trascurata, poiché da essa deriva la realizzabilità effettiva dell'intervento. Si elencano le principali tipologie di impianti che è possibile sfruttare per migliorare l'efficienza

energetica di realtà tutelate, la cui applicazione può risultare ottimale sia abbinata ad un singolo edificio che ad una realtà edilizia più estesa.

Le installazioni che più si adattano alle esigenze di conservazione e valorizzazione dei fabbricati a valenza storico-artistica sono quelle che sfruttano l'energia solare, quindi impianto fotovoltaico e solare termico, e quelle che sfruttano l'energia eolica di piccola dimensione, come il micro-eolico. È possibile poi sfruttare le fonti geotermica, aerotermica e idrotermica tramite l'utilizzo di pompe di calore.

4.3.1 Impianti solari

L'energia solare è la fonte rinnovabile principalmente disponibile sulla terra ed è anche quella maggiormente sfruttata nell'edilizia, grazie alla facilità di reperimento (Figura 25). È possibile sfruttare questo tipo di energia sia per la produzione di energia elettrica, tramite la tecnologia dei pannelli fotovoltaici, che per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria, attraverso l'uso di collettori solari. In questo modo è possibile sopperire ai bisogni energetici dell'edilizia per quanto riguarda riscaldamento, acqua calda sanitaria e anche il raffrescamento.

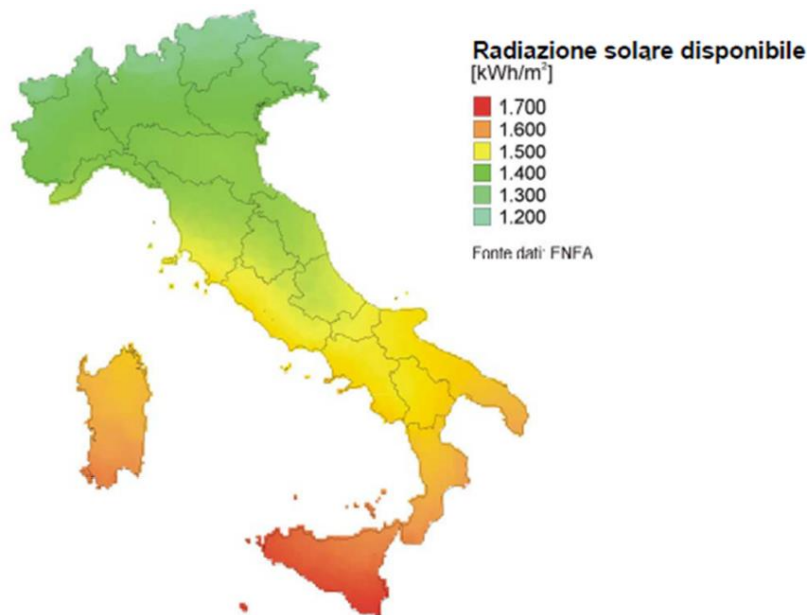


Figura 25: Radiazione solare disponibile in Italia.

La potenza della radiazione solare che raggiunge l'atmosfera terrestre è pari a $1,73 \cdot 10^{17}$ kWh, che corrisponde ad un terzo della radiazione totale emessa dal Sole, ma che è in ogni caso 1150 più volte maggiore del fabbisogno energetico mondiale annuo (Figura 26).

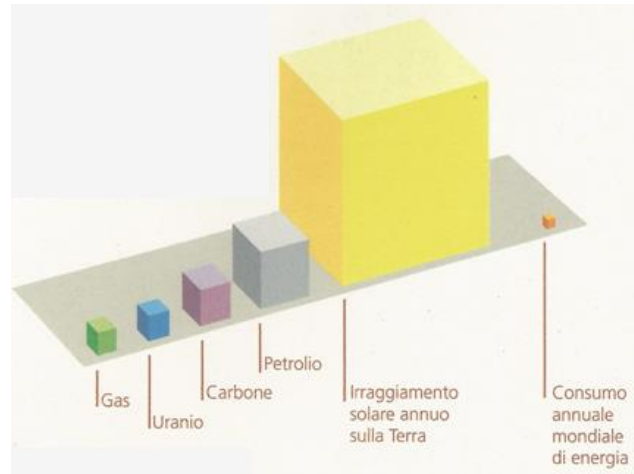


Figura 26: Confronto in quantità tra l'energia solare annuale, le altre fonti non rinnovabili e il consumo mondiale annuo.

4.3.1.1 Impianto solare fotovoltaico

Caratteristiche principali

L'energia elettrica da fonte fotovoltaica è il più immediato metodo di conversione della luce solare in energia elettrica.

Tali impianti sono composti da un generatore fotovoltaico, costituito da moduli fotovoltaici che convertono sia la componente diretta, sia la diffusa che la riflessa della radiazione solare. Il principio di funzionamento si basa sull'effetto fotoelettrico⁴¹ che ha luogo in alcuni materiali semi-conduttori opportunamente trattati (come il silicio) quando sono colpiti da una radiazione luminosa. In questo modo l'energia incidente viene convertita direttamente in energia elettrica. Questa conversione statica di energia garantisce come vantaggio della tecnologia l'elevata durabilità dei componenti (almeno 25 anni per le celle) e oneri di manutenzione molto ridotti.

L'unità che compone questo impianto è la cella fotovoltaica, che può essere di diversi materiali, tra cui il silicio è il più diffuso, di solito di colore nero o blu. Ogni cella si può classificare in base alla sua potenza nominale (W_N) o di picco (W_p), calcolata in condizioni standard (STC)⁴².

⁴¹ In fisica dello stato solido l'effetto fotoelettrico o fotovoltaico è il fenomeno fisico che si realizza quando un elettrone presente nella banda di valenza di un materiale (generalmente semiconduttore) passa alla banda di conduzione a causa dell'assorbimento di un fotone sufficientemente energetico incidente sul materiale.

⁴² STC: Standard Test Conditions. Con questa sigla si indicano le condizioni standard in cui viene svolta la prova della cella, ovvero se sottoposta a 1kW/m^2 di irraggiamento perpendicolare ai pannelli, a 25°C di temperatura delle celle e massa d'aria (AM) pari a 1,5.

È possibile inoltre calcolare il rendimento della cella fotovoltaica come il rapporto, espresso in percentuale, tra l'energia elettrica prodotta dalla cella e l'energia della radiazione solare che investe la superficie, così come indica l'espressione seguente:

$$\eta = \frac{E_{\text{massima erogabile (STC)}}}{E_{\text{radiazione incidente sulla cella}}}$$

Il rendimento può essere preso come riferimento di qualità del modulo fotovoltaico ed è proporzionale al rapporto tra potenza erogata e superficie occupata, a parità di altre condizioni. Quando inserita all'interno di un impianto, l'efficienza della cella dipende anche dalla temperatura della cella stessa e dal grado di pulizia del pannello, che risulta l'unico intervento di manutenzione necessario dell'impianto.

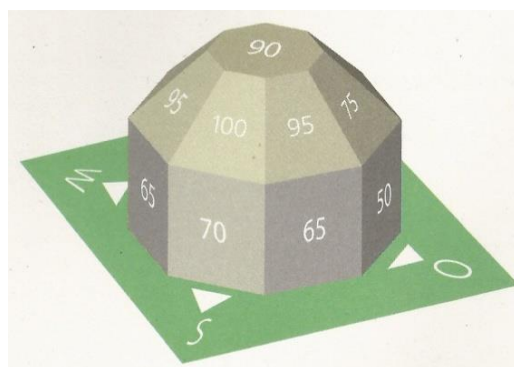


Figura 27: Percentuale di irraggiamento solare su superfici con vari orientamenti ed inclinazioni rispetto al massimo (30° sud).

Il funzionamento del pannello fotovoltaico dipende inoltre dall'orientamento dello stesso, come mostra la Figura 27. Alle nostre latitudini, il posizionamento ottimale è 30° verso Sud.

Impiego in contesti urbani ed edilizi tutelati

L'impianto fotovoltaico è tra i più diffusi tra quelli che sfruttano l'energia rinnovabile, nell'edilizia nuova e in quella esistente: l'introduzione di questa tecnologia negli edifici esistenti non tutelati, oltre ad essere resa obbligatoria dalla legislazione nazionale, è favorita anche dai Regolamenti Edilizi locali orientati all'efficienza energetica che impongono obblighi più restrittivi rispetto alla legislazione. Il vantaggio di questo tipo di impianto è la disponibilità e prevedibilità della radiazione solare, fonte necessaria al funzionamento, e la coincidenza della richiesta di energia con il periodo temporale di radiazione solare.

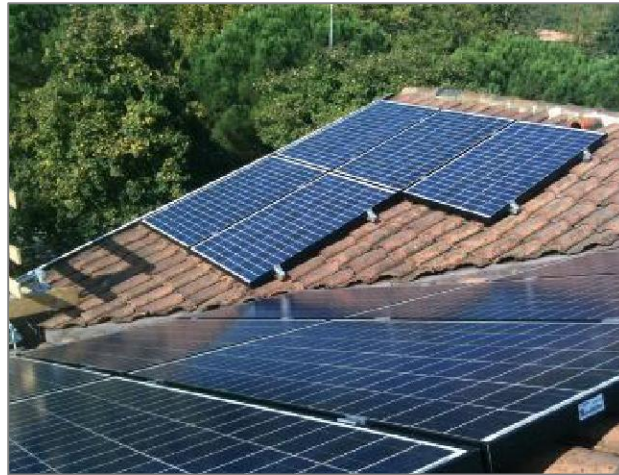


Figura 28: Pannelli fotovoltaici tradizionali.

La compatibilità di questa nuova tecnologia con i vincoli architettonici e paesaggistici dei centri urbani storici, delle zone lacustri, marine o montane non è da sottovalutare. La tesi ha come obiettivo quello di ricercare e proporre soluzioni in grado di dimostrare la piena compatibilità di questi impianti con l'architettura antica, sia dal punto di vista formale che tecnologico, così da poter soddisfare anche i requisiti imposti dalla legislazione nazionale in merito alla tutela e alla salvaguardia del patrimonio costruito storico. Le soluzioni tradizionali di integrazione parziale con moduli commerciali appaiono sicuramente inadeguate per edifici storici sottoposti a tutela per quanto concerne tipologie, caratteristiche visive quali il colore, dimensioni e flessibilità (Figura 28), seppur esistano ad oggi determinate tecnologie in grado di integrarsi al meglio con determinate tipologie di copertura, come le tegole solari (Figura 29 e Figura 30).



Figura 29: Tegole fotovoltaiche. Esterno del Castello di Acquabella, Firenze, e dettaglio delle tegole.



Figura 30: Integrazione impiantistica a basso impatto visivo di un impianto fotovoltaico.

A tal proposito si possono utilizzare delle componenti innovative prodotte nel decennio scorso, in cui sono stati realizzati numerosi studi e progetti che hanno sviluppato una politica per favorire l'integrazione e l'accettazione dell'inserimento delle tecnologie fotovoltaiche in edifici d'epoca, centri storici e paesaggi protetti. L'esito principale di queste ricerche è stata la produzione e l'immissione sul mercato di moduli fotovoltaici dotati di design innovativo, cromie e formati studiati appositamente per questi ambienti, al fine di risolvere le problematiche di integrazione visiva e funzionale dei pannelli tradizionali. Come esempio, si può citare la ricerca europea PVaccept⁴³ che ha sviluppato dei pannelli semitrasparenti, opachi e con cromie che meglio si adattano alle caratteristiche dei tessuti costruiti e dei materiali tradizionali (Figura 31a-31b e 32).



Figura 31a: Vista panoramica di un muro storico con ingrandimento del pannello-insegna. Città di Marbach am Neckar. [Fonte: Composizione immagini fornite da PVaccept Final Report].

⁴³ PVaccept è un progetto di ricerca italo-tedesco, condotto dal 2001 al 2004, sostenuto dalla Commissione Europea nell'ambito del programma "Innovazione e piccole e medie imprese". Il progetto è stato indirizzato innanzi tutto allo sviluppo di moduli solari commerciabili per la produzione di energia elettrica il cui design innovativo permettesse il loro inserimento armonico in edifici d'epoca, centri storici e paesaggi protetti.



Figura 31b: Dettaglio che mostra l'integrazione del pannello all'aspetto e alle caratteristiche del muro.
[Fonte: PVaccept Final Report]



Figura 32: Pannello solare informativo del Castello di San Giorgio, La Spezia.
[Fonte: PVaccept Final Report]

Ancora più recentemente sono stati immessi sul mercato pannelli o film a bassissimo spessore e meno rigidi, nonché elementi con scritte o disegni, costituiti da elementi da altissima flessibilità che possono essere dimensionati in base alle esigenze. Ovviamente è necessario considerare anche l'aspetto economico e quello singolare di ogni realtà. In determinati casi è possibile ricorrere ai sistemi tradizionali, poiché nascosti o ben integrati con il contesto: ne è un esempio l'installazione dei pannelli fotovoltaici sul tetto di Sala Nervi in Vaticano (Figura 33), non visibili da terra.



Figura 33: La copertura dell'edificio prima e dopo l'installazione dei pannelli fotovoltaici. Sala Nervi in Vaticano.

La Figura 34 mostra l'esempio europeo di Londra, la chiesa di St. Saint Silas, a Pentonville, prima chiesa del Regno Unito su cui sono state installate delle tegole fotovoltaiche poiché di colore simile alle reali tegole della copertura. Altri aspetti che sono di fondamentale interesse nell'installazione di questi impianti riguardano la disposizione geometrica, l'orientamento e la posizione dei pannelli, sia dal punto di vista funzionale che dell'impatto visivo. Ove possibile installare questi pannelli sulle coperture degli edifici tutelati, è necessario privilegiarne l'integrazione geometrica e di posizionamento.



Figura 34: St. Saints Silas Church, Pentonville, London. Esempio di installazione integrata di pannelli fotovoltaici.

Per quanto riguarda aree urbane più vaste e installazioni a servizio di gruppi di edifici, la tecnologia che sfrutta i pannelli fotovoltaici, affinché sia integrata con l'ambiente circostante, deve risolvere il problema dell'impatto visivo. Si è mostrato come pannelli innovativi possano ovviare a questa difficoltà, diventando quasi parte dell'involucro o delle coperture stesse degli edifici. Per coprire il fabbisogno necessario di energia elettrica, però, spesso uno o due pannelli non bastano. La superficie dei pannelli solari da installare è un vincolo da cui non si può prescindere se si vuole ottenere una produzione energetica

sufficiente alle esigenze. Nel caso in cui non sia possibile installare più pannelli nelle immediate vicinanze a servizio di un singolo fabbricato, come spesso accade a meno che non ci si riferisca ad edifici isolati (Figura 35), è necessario valutare se esista la possibilità di utilizzare piazze, aree comuni a più fabbricati o aree verdi e parchi a servizio di un insieme di edifici. A tal proposito, è opportuno verificare i vincoli contenuti nei regolamenti edilizi e nelle indicazioni delle legislazioni locali.



Figura 35: Installazione di pannelli fotovoltaici a servizio di una villa tutelata di Brunico.

Nel caso sia necessario servire più gruppi di edifici limitrofi o appartenenti alla stessa area urbana, la soluzione è quella di studiare installazioni negli spazi circostanti, in modo che la distribuzione possa avvenire nel modo più funzionale. L'impianto fotovoltaico si adatta abbastanza bene a queste realtà in quanto ad oggi esistono soluzioni che permettono di unire la funzione di pannello solare con altre: nelle piazze o negli spazi disponibili è possibile installare, ad esempio, tettoie o pergole fotovoltaiche (Figure 36-38) che possono fungere allo stesso tempo da parasole o tettoie, senza deturpare le caratteristiche peculiari degli edifici circostanti.



Figura 36: Tettoia fotovoltaica installata nella piazza di un centro storico.

Si hanno esempi di applicazioni simili sparsi in tutto il mondo, come gli “alberi” fotovoltaici in Spagna o le pensiline di Piazza Columbia a Washington, dove addirittura è stato appena brevettato il primo marciapiede fotovoltaico.



Figura 37: Installazione di pensiline fotovoltaiche, piazza Columbia, Washington.

È opportuno trovare la soluzione più idonea inserita nello specifico, soprattutto per quanto riguarda l'integrazione architettonica, che deve essere posta al primo posto nella progettazione dell'impianto. Non è da escludere, tuttavia, che esista la possibilità di installare tradizionali parchi di pannelli fotovoltaici, di dimensioni anche limitate, in aree verdi o piazze limitrofe ai centri storici: i pannelli fotovoltaici hanno il vantaggio di poter essere installati anche a terra, non obbligatoriamente sulle coperture degli edifici; a seconda delle indicazioni normative si deve valutare la soluzione più idonea.



Figura 38: Tettoia fotovoltaica a servizio di un parcheggio.

4.3.1.2 Impianto solare termico

Caratteristiche principali

L'impianto solare termico trasforma l'energia proveniente dalla radiazione solare in energia termica, adatta per servire gli utilizzi finali che necessitano di acqua a bassa o media temperatura (60-80°C) e può quindi essere integrato con gli impianti di acqua calda sanitaria e di riscaldamento, o, in casi più rari, di raffrescamento tramite solar-cooling.

L'impianto è composto da un collettore solare termico che può essere di diverse e varie tipologie. I più diffusi sono i collettori vetrati piani, composti da: un involucro esterno, che dà stabilità strutturale e protegge l'assorbitore dagli agenti atmosferici, realizzabile in diversi materiali; un assorbitore, ovvero una superficie metallica dalla buona conduttività, trattata, dove la parte più imponente dal punto di vista energetico viene convertita in energia termica; da dei tubi che trasportano il fluido termovettore. L'assorbitore e i tubi sono a contatto ed è così che questi due elementi si trasferiscono energia termica. A completare la composizione del collettore è presente un pannello isolante che permette di limitare le perdite verso l'esterno per conduzione. Una volta passato nel collettore, il fluido termovettore viene indirizzato da un circuito idraulico verso uno scambiatore di calore, dove il calore viene immagazzinato.

A seconda dell'uso finale cui è destinato, l'impianto può disporre o meno del serbatoio di accumulo, non indispensabile nel caso di riscaldamento ambientale, mentre è necessario nel caso di produzione di acqua calda sanitaria per compensare la non contemporaneità tra produzione e consumo di acqua.

Le diverse soluzioni impiantistiche possono essere ulteriormente classificate in base al modo di circolazione del fluido termovettore, distinguendo tra impianti a circolazione naturale o forzata. Nel primo caso, la circolazione del fluido termovettore avviene grazie

alla variazione di densità indotta dalle differenze di temperatura che si generano tra ricevitore e serbatoio di accumulo.

Impieghi in contesti urbani ed edilizi tutelati

Questa soluzione si adatta piuttosto bene al caso di edifici isolati, anche vincolati, poiché richiede principalmente di uno o più collettori solari, un serbatoio di accumulo, uno o più scambiatori di calore e altri componenti di raccordo e di integrazione con il sistema esistente; ciò che compone l'impianto è per la maggior parte invisibile dall'esterno e gli ingombri sono limitati, per questo si adatta molto bene alle esigenze che comporta il miglioramento dell'efficienza energetica di un singolo oggetto edilizio, anche se tutelato.



Figura 39: Impianto solare termico a circolazione naturale installato in copertura.

Gli impianti a circolazione naturale che dispongono necessariamente di serbatoio di accumulo si integrano in maniera un po' più complessa sugli edifici preesistenti poiché tale serbatoio deve obbligatoriamente stare ad una quota più elevata rispetto ai collettori: nel caso di impianti installati in copertura, è posto subito al di sopra dei moduli stessi, anche se le dimensioni sono piuttosto contenute e mediante soluzioni cromatiche idonee si può cercare di ovviare al problema dell'integrazione visiva e della conservazione delle singolari caratteristiche dell'edificio (Figura 39).

Questa configurazione è piuttosto semplice dal punto di vista impiantistico ma comporta allo stesso tempo dissipazioni termiche dal serbatoio all'ambiente esterno durante il funzionamento e durante le ore notturne.



Figura 40: Casa georgiana vincolata nel centro storico di Shrewsbury, UK. Applicazione di un impianto solare termico. [Fonte: Progetto SECHURBA]

Nel caso di circolazione forzata, questa avviene tramite l'utilizzo di una pompa elettrica controllata da una centralina in funzione della differenza di temperatura tra il collettore e il serbatoio di accumulo. In questo modo, è possibile controllare la temperatura di uscita del fluido e massimizzare l'efficienza del modulo in funzione delle condizioni ambientali e della temperatura di accumulo. Seppur tale soluzione sia più costosa e potenzialmente meno affidabile, è l'unica possibile per tutte le installazioni soggette a vincoli paesaggistici poiché l'integrazione architettonica è più semplice e richiede solo il posizionamento in copertura dei collettori solari. Come regole generali per una corretta installazione valgono le medesime individuate per i sistemi fotovoltaici, nel rispetto delle geometrie, delle cromie, dell'inclinazioni della falda e dell'orientamento. Un esempio dell'uso di questa tipologia impiantistica arriva dall'Inghilterra: alla casa georgiana del centro storico di Shrewsbury, sottoposta a vincolo paesaggistico, è stato concesso di installare in copertura dei collettori solari poiché non visibili dalla strada (Figura 40).

4.3.2 Impianti mini e micro-eolici

Caratteristiche principali

L'installazione di parchi eolici di dimensioni tradizionali richiede ampi spazi e turbine molto ingombranti, ed è quindi inadatta all'intervento su piccole realtà edilizie. Una tecnologia più recente, ad oggi meno diffusa, che propone una valida alternativa è quella delle mini (tra i 20 e i 200kW di potenza) e micro-turbine eoliche (meno di 20 kW), dalle dimensioni decisamente più contenute (Figura 41).



Figura 41: Installazione di micro turbine sul tetto di un edificio.

Oltre agli ingombri più contenuti, il vantaggio di queste tecnologie risiede nella possibilità di far funzionare l'impianto anche in regime di vento non troppo elevato e direttamente nel luogo di utilizzo di energia.

Generalmente un impianto eolico di uso domestico è costituito da una turbina o aerogeneratore che può essere ad asse verticale o orizzontale. Gli impianti mini eolici sono di solito dotati di una banderuola che permette loro di direzionarsi in maniera automatica a seconda del vento, poiché più ci si avvicina al terreno più il vento è turbolento ed incostante.

Impieghi in contesti urbani ed edilizi tutelati

Il micro-eolico si adatta molto bene alle esigenze conservative del patrimonio costruito vincolato, ma non è progettato per la generazione di potenze di centinaia di MW (a differenza dell'eolico tradizionale), bensì destinato alla generazione distribuita, da installare in corrispondenza di abitazioni mono o multi familiari, come fabbisogno. Le dimensioni ridotte ne permettono l'applicazione non troppo invasiva in contesti caratteristici. Va valutata, ovviamente, la ventosità del sito affinché si verifichi che l'investimento economico sia valido in termini di efficienza e produzione.

L'impianto eolico è forse il più complesso da integrare con l'ambiente circostante, in quanto le componenti dell'impianto, seppur ridotte per i casi di mini e micro eolico, sono visibili e si distaccano molto dal contesto in cui sono inserite, qualsiasi esso sia.

Le turbine mini eoliche facilitano leggermente il compito del progettista, in quanto se inserite in posizioni adatte possono non risultare fuori luogo con il quadro architettonico e paesaggistico circostante (Figura 42).



Figura 42: Turbina mini eolica, Crispiano (TA).

In caso di spazi disponibili abbastanza ampi, magari al di fuori del centro abitato ma nelle vicinanze, soprattutto per installazioni in centri urbani di piccole dimensioni, è possibile installare parchi di mini eolico che possano servire sia le realtà edilizie storico-artistica, sia quelle presenti nell'intera zona; ne è un esempio il parco di mini eolico installato a Montecatini Val di Cecina, primo parco europeo che sfrutta turbine mini eoliche verticali (Figura 43).



Figura 43: Parco di mini eolico a Montecatini Val Cecina.

Il micro eolico si adatta invece meglio alle esigenze di conservazione architettonica ed integrazione impiantistica. Nel Regno Unito, che detiene il primato della produzione di energia da impianti eolici (circa il 40% del totale dell'energia eolica prodotta in tutta Europa), installazioni domestiche di micro eolico sono installate su una gran parte degli edifici esistenti (Figura 40), mostrando come questa tecnologia sia consolidata; nonostante l'impiego ancora limitato che se ne fa in Italia.



Figura 44: Uso del micro eolico domestico in Inghilterra.

Il mini eolico, rispetto al micro eolico, è caratterizzato da una diffusione più ampia nel nostro Paese: alla fine del 2011 la potenza complessivamente installata in Italia in mini eolici aveva raggiunto il 2% del totale mondiale, pari a 13 MW, suddivisi in circa 300 mila installazioni.



Figura 45: Esempio di pala micro-eolica ad asse verticale ad uso domestico.

4.3.3 Energia geotermica, idrotermica e aerotermica: pompe di calore

L'energia geotermica permette di sfruttare il terreno come fonte di calore, il quale può essere considerato inesauribile grazie alla sua disponibilità enorme. Il terreno ha la caratteristica di garantire una buona efficienza e condizioni di esercizio ottimali in quanto è termicamente stabile durante tutto l'anno. Grazie alle continue reazioni nucleari che avvengono nel nucleo terrestre, più si scende in profondità più la temperatura del suolo aumenta. La maggior parte dei suoli italiani ha la caratteristica di poter essere sfruttata e

presenta una temperatura pressoché costante una volta raggiunti i 10 metri di profondità, approssimativamente pari alla media annuale esterna per ogni località.⁴⁴

Nel caso di sfruttamento di tale risorsa, è necessario avvalersi di pompe di calore. Le pompe di calore sfruttano l'energia accumulata sotto forma di calore nella terra, nell'aria o nell'acqua di falda, trasferendola da un ambiente più freddo ad uno più caldo tramite un ciclo di compressione ed espansione di un fluido termovettore. Per realizzare questo processo, opposto a quello spontaneo per cui il calore si trasferisce da un ambiente più caldo ad uno più freddo, la pompa consuma una certa quantità di energia, spesso elettrica, che può essere anch'essa fornita da una fonte rinnovabile.

In un impianto che sfrutta energia geotermica, le pompe sono accoppiate a scambiatori termici, quindi di sonde geotermiche, la cui realizzazione comporta costi ed opere piuttosto deturpanti per l'ambiente circostante, in quanto necessitano di scavi per la loro installazione. In questo caso, il trasporto di energia termica viene effettuato mediante una miscela composta di acqua e liquido antigelo lungo un percorso chiuso di tubazioni, verticale o orizzontale. In entrambi i casi, sia che sia necessario scavare dei pozzi geotermici per il posizionamento delle sonde verticali, sia che vengano installati percorsi lineari di serpentine e spirali, la realizzazione di questo tipo di impianto ha un'applicazione piuttosto limitata relativa al caso di studio, in quanto comporta opere di realizzazione piuttosto deturpanti il contesto e che necessitano di ampi spazi dedicati. Tuttavia l'applicazione è possibile e da non escludere a priori, poiché legata alle caratteristiche singolari dei luoghi e dei siti insediativi, e si adatta bene a manufatti edilizi isolati, anche se le sonde geotermiche sono solitamente installate prima che sia realizzato l'edificio.

L'energia che sfrutta il calore contenuto nelle falde acquifere e nei pozzi naturali del sottosuolo, o dei laghi superficiali, è quella idrotermica. Le pompe di calore che attingono dalle risorse energetiche delle fonti idriche, sono delle pompe acqua-acqua. Il vantaggio di questa tipologia è che l'acqua mantiene una temperatura più costante durante il corso dell'anno e permette alla macchina di ottenere prestazioni migliori. Inoltre, tali pompe di calore richiedono uno spazio di installazione minore rispetto a quelle geotermiche, poiché le perforazioni del suolo sono di profondità più contenuta. L'acqua giunge alla pompa e scambia calore con essa, quindi viene restituita alla sorgente in un pozzo a valle della direzione di falda. L'utilizzo di questa tecnologia è strettamente legato alla conformazione

⁴⁴ A Milano, ad esempio, la temperatura del terreno oscilla tra i 12° e i 14°C. La profondità oltre la quale si può considerare un terreno a temperatura costante varia a seconda della capacità di trasmissione del calore del terreno, quindi in base alla sua composizione, e della presenza o meno di falde acquifere. Una volta raggiunti i 100 metri, la temperatura può anche aumentare di 3° ogni metro di profondità.

del sottosuolo e alle risorse idriche della regione su cui giace l'edificio tutelato, nonché alla presenza di impianti preesistenti di prelievo dell'acqua da falda o da altre sorgenti. Nello studio di fattibilità di realizzazione dell'impianto è necessario tenere conto anche dei vincoli normativi, che sono più restrittivi nei confronti dell'utilizzo di acqua.



Figura 46: Castello di RacBath, Budapest. Installazione di pompa di calore ad acqua.
[Fonte: progetto SECHURBA]

Esistono anche le pompe di calore che sfruttano l'energia aerotermica, quindi l'aria esterna, (pompe aria-aria o aria-acqua), che funzionano in modo analogo alle precedenti, sfruttando l'energia termica dell'ambiente esterno per riscaldare ambienti interni. L'applicazione di queste pompe di calore è largamente diffusa, grazie alla reperibilità semplice della fonte di scambio, e si adatta anche a edifici tutelati, come mostrano alcuni esempi europei quali il Castello di Rac Bath a Budapest, che in seguito ad un intervento di restaurazione tra gli anni 2003-2010 ha visto la modifica dell'impianto di riscaldamento che sfrutta l'acqua termale disponibile sul sito come fonte di calore, e il Castello del paese ungherese di Kisnàna, nel quale è stato installato un sistema di riscaldamento con pompa di calore ad aria (Figure 46 e 47).



Figura 47: Castello di Kisnàna. Pompa di calore ad aria per il riscaldamento. [Fonte: SECHURBA].

L'utilizzo delle pompe di calore, il cui funzionamento è schematizzato in modo semplificato in Figura 48, in generale, permette di ottenere un'ottima efficienza e un elevato rendimento degli impianti che queste servono, tramite l'utilizzo di energia rinnovabile. Inoltre, questi sistemi sono spesso reversibili, ovvero in grado di funzionare come impianti di riscaldamento in inverno e condizionamento in estate, garantendo quindi un utilizzo

trasversale e continuo durante l'anno mediante l'installazione di un unico servizio tecnologico. Questo tipo di macchine si prestano in modo ottimale al recupero e al rifacimento di impianti in edifici esistenti, poiché hanno ingombri contenuti, sono relativamente semplici da installare e permettono di garantire ottime prestazioni in termini di efficienza energetica senza dover necessariamente stravolgere l'involucro edilizio o l'impianto esistente.

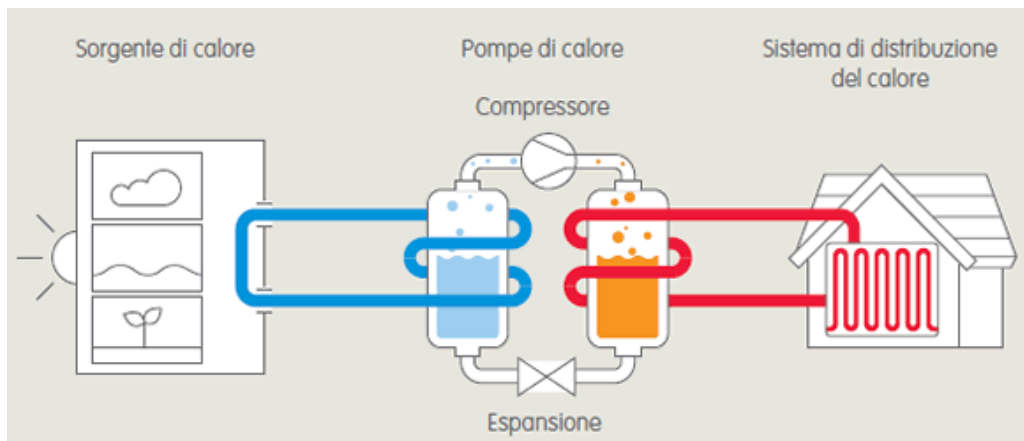


Figura 48: Funzionamento di una pompa di calore.

5. Casi di studio: edifici residenziali vincolati a Milano

5.1 Premessa

In questo capitolo si sono presi in esame due casi di studio reale situati a Milano. Le due realtà, nelle loro similitudini e diversità, rappresentano esattamente la situazione di un edificio medio appartenente al territorio nazionale: costruiti nel secolo scorso, situati nel centro storico o, comunque, sottoposti a stretti vincoli di soprintendenza comunale, a destinazione d'uso residenziale, bisognosi di interventi di ristrutturazione e riqualificazione energetica.

Il primo caso di studio tratta la ristrutturazione e il conseguente recupero ai fini abitativi del sottotetto di un edificio situato nel centro storico della città. Gli interventi necessari sono la realizzazione ex-novo di tutti gli impianti a servizio degli alloggi che andranno ad occupare lo spazio del sottotetto e la modifica dell'involucro e della copertura, nel rispetto degli impianti e delle strutture preesistenti agli altri piani dell'edificio e nel rispetto di tutte le norme e prescrizioni esistenti: energetiche, urbanistiche, edilizie.

L'intervento oggetto del secondo caso di studio è più complesso poiché coinvolge sei corpi edilizi, di cui quattro ristrutturati in modo rilevante, mentre due sono destinati ad essere demoliti e rifatti. L'installazione e la progettazione dei servizi tecnologici presentano quindi caratteristiche differenti rispetto al primo caso di studio, riferito ad un singolo piano di un edificio dalle dimensioni ridotte, anche se la maggiore libertà di azione permette di bilanciare la più elevata difficoltà logistica.

Per entrambi i casi si procede con la descrizione dello stato di fatto prima dell'inizio degli interventi, l'individuazione dei vincoli cui gli edifici sono sottoposti, dal punto di vista urbanistico, edilizio, prestazionale ed energetico sia dell'involucro che degli impianti, la spiegazione delle soluzioni tecnologiche e realizzative dell'involucro e degli impianti intraprese per garantire le migliori prestazioni nel rispetto delle prescrizioni, della sostenibilità e del comfort abitativo.

Lo studio di queste realtà edilizie permette di interfacciarsi con la casistica reale e sempre più attuale della riqualificazione energetica del costruito, mostrando come due situazioni che possono sembrare a prima vista molto simili portino a delle soluzioni realizzative molto diverse, perché le scelte realizzative e progettuali dettate dalle tipologie di intervento cui gli edifici sono sottoposti non possono prescindere dalla legislazione vigente e poiché ogni immobile, come suggerisce la parola stessa, è strettamente legato alla realtà urbanistica e territoriale che lo circonda, facendone parte integrante.

Lo studio volge a porre l'accento su come sia possibile, grazie agli strumenti e alle tecnologie disponibili attualmente, adottare un approccio metodologico che sposi il tema della sostenibilità, non solo perché imposto dalle direttive, ma perché un uso più consapevole dell'energia è necessario e moralmente doveroso, senza dover rinunciare alla salvaguardia e alla tutela dell'estetica e dell'unicità del patrimonio costruito che ci circonda e dei luoghi e paesaggi in cui gli edifici sono stati costruiti.

Il tema è attuale e urgente, e la tesi vuole dimostrare come un utilizzo razionale delle fonti energetiche e la diminuzione delle emissioni in atmosfera sono possibili, è possibile integrarle in ciò che è già costruito e, inoltre, portano alla realizzazione di realtà abitative più confortevoli, efficienti energeticamente, destinate a durare nel tempo e che appaiono come quelle che erano originariamente.

5.2 Riferimenti normativi

Il sistema legislativo nazionale è, come più volte detto, costituito da tre livelli distinti; le leggi nazionali sono i capostipite dalle quali non si può prescindere, ma le Regioni e le province hanno poi qualche libertà nelle modalità di recepimento.

In materia di efficienza energetica, a seguito della riforma federalista del Titolo V della Costituzione, Stato e Regioni hanno una potestà legislativa concorrente, quindi le regioni hanno la possibilità di recepire in modo autonomo le indicazioni di legge, mantenendo come unico vincolo il rispetto dell'ordinamento comunitario.

La Lombardia è una di quelle regioni che ha recepito in modo autonomo la *Direttiva 2002/91/CE*, tramite decreti specifici di riferimento che forniscono tutte le indicazioni necessarie al rispetto dei vincoli energetici⁴⁵.

Inoltre, ogni comune ha il proprio regolamento edilizio che appunto regola tutti gli interventi che avvengono su suolo comunale. Poiché entrambi gli interventi sono situati a Milano, sottostanno allo stesso regolamento edilizio e alle stesse leggi regionali in materia di efficienza energetica. In base alla tipologia di intervento, poi, saranno individuati i vincoli e le prescrizioni differenti cui sono sottoposti (cfr. §5.3.2 e §5.4.2). Si elencano di seguito i riferimenti legislativi locali, ricordando la validità degli strumenti nazionali, primi tra i quali la Legge 10/1991 successivamente modificata ed integrata e il D. Lgs. 81/2011.

⁴⁵ Il recepimento della Direttiva 2002/91/CE è avvenuto in Italia con il D. Lgs. 192/2005, di cui l'articolo 17 del conferma la possibilità di recepimento autonomo delle Regioni. Per il quadro nazionale generale consultare il paragrafo §3.1.3.2. del presente testo.

5.2.1 Leggi della Regione Lombardia

La Regione Lombardia ha, di recente, modificato le proprie leggi in materia di tutela del paesaggio e del tessuto urbano, aggiornando le disposizioni precedenti, e promosso diverse misure energetiche che le Province devono rispettare. Il quadro normativo è piuttosto completo e questo paragrafo si propone di riportare una sintesi degli strumenti legislativi più significativi per quanto riguarda la tutela del costruito e del paesaggio e l'efficienza energetica e la promozione di fonti rinnovabili.

Nel rispetto dei principi fondamentali dell'ordinamento statale e comunitario, nonché delle peculiarità storiche, culturali e paesaggistiche che connotano il territorio, la Regione ha emanato l'11 marzo 2005 una Legge Regionale che rinnova la disciplina urbanistica precedente⁴⁶, risalente a trent'anni prima. Essa si propone di rappresentare una sorta di "testo unico" della Regione, trattando di urbanistica, edilizia, tutela idrogeologica e antisismica ed altri aspetti del territorio e del costruito, ponendo attenzione alla salvaguardia del paesaggio e del valore paesistico e peculiare dei manufatti edilizi e dei luoghi. La promozione della legge, così vasta e chiara nelle proprie indicazioni, ha permesso inoltre di abrogare numerose altre leggi di settore, determinando una significativa riduzione del numero delle norme in materia e fornendo davvero un testo valido di riferimento per tutto il territorio regionale. La Legge inoltre promuove la redazione dei Piani di Governo del Territorio e dei Documenti di Inquadramento, che diventano gli strumenti urbanistici di riferimento per molti comuni lombardi (cfr. § 5.2.2).

Dal punto di vista del cambiamento climatico, la Regione si propone di affrontare il tema attraverso due approcci, uno di mitigazione della situazione energetica attuale del costruito, uno di adattamento alle nuove regole e direttive europee. L'11 dicembre 2006 è stata emanata la *Legge Regionale n. 24* per la prevenzione e la riduzione delle emissioni in atmosfera a tutela della salute e dell'ambiente, in attuazione della direttiva quadro 96/62/CE e delle direttive da questa derivate⁴⁷, perseguendo la riduzione delle emissioni nocive tramite l'uso razionale dell'energia, l'attenzione alla qualità tecnica degli impianti, dei programmi di ricerca e innovazione tecnologica, la riqualificazione del sistema agricolo e rurale e il potenziamento della produzione di energia da fonti rinnovabili.

⁴⁶ Lo strumento precedente era la Legge Regionale n. 51 del 1975 che trattava la "Disciplina urbanistica del territorio regionale e misure di salvaguardia per la tutela del patrimonio naturale e paesistico".

⁴⁷ 1999/30/CE "Valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo"; 2000/69/CE "Valori limite per il benzene e il monossido di carbonio nell'aria ambiente"; 2002/3/CE "Ozono nell'aria".

A proposito di efficienza energetica in edilizia la Giunta Regionale ha emanato il 26 giugno 2007 la *Deliberazione n. 8/5018, "Determinazioni inerenti la certificazione energetica degli edifici"*⁴⁸, che fornisce indicazioni sulle prestazioni delle componenti degli edifici, sui valori limite di prestazione energetica e sulle modalità di installazione o sostituzione degli impianti a seconda delle tipologie di intervento edilizio, allegando metodologie di calcolo per eseguire le verifiche. Tale Deliberazione ha subito una modifica ed integrazione con il più recente strumento *DGR del 22 dicembre 2008 n. 8/8745*, che si propone di introdurre ulteriori definizioni e precisazioni nella terminologia di riferimento e criteri di buona pratica per la progettazione degli edifici con lo scopo di promuovere un buon comportamento energetico degli stessi. La Deliberazione fornisce i requisiti minimi degli impianti di riscaldamento, climatizzazione estiva e produzione di acqua calda, insieme con quelli riferiti all'involucro edilizio; chiarisce alcuni aspetti in termini di certificazione energetica, tra cui la procedura e gli accertamenti necessari per il rilascio della stessa; chiarisce le caratteristiche e i requisiti della targa energetica. In questa sede viene definito come soggetto certificatore il Comune, mentre successivamente alla *Deliberazione della Giunta regionale del 31 maggio 2011, n. IX/1811*, l'Attestato di Certificazione Energetica degli edifici (ACE) diventerà oggetto della Regione Lombardia, con lo scopo di uniformare le informazioni tra i diversi comuni; inoltre attraverso la pubblicazione della *DGR n. IX/4416 del 21 novembre 2012* la Lombardia introdurrà ulteriori modifiche alla 8745/08, come l'ampliamento dei soggetti certificatori. La disciplina regionale per l'efficienza energetica negli edifici è stata recentemente aggiornata ulteriormente con la *Delibera n. 1216 del 10/01/2014*, che ha tenuto conto anche delle disposizioni del DPR 75/2013 e della Legge 90/2013. Le modifiche più significative riguardano la modifica della denominazione dell'Attestato, da ACE "Attestato di certificazione energetica" a APE "Attestato di Prestazione Energetica"⁴⁹, la nuova definizione di impianto termico, per cui gli edifici sono certificabili anche con sistemi di potenza uguale o superiore ai 5 kW – rispetto ai 15 kW precedenti – e sono stati definiti i requisiti in base a cui riconoscere la funzione bioclimatica di serre o logge, in modo tale da permetterne la loro realizzazione in deroga alle disposizioni di qualsiasi strumento urbanistico.

Il tema delle fonti rinnovabili è invece più recente: uno dei primi strumenti regionali a tal proposito riguarda la promozione dell'installazione delle sonde geotermiche che non comportano il prelievo di acqua sotterranea, mediante l'entrata in vigore del Regolamento

⁴⁸ In attuazione del D. Lgs. 192/2005 e degli art. 9 e 25, L.R. 24/2006.

⁴⁹ In conformità alla direttiva 2010/31/UE e al DPR 75/2013.

Regionale per l'installazione di tali sonde⁵⁰, il 6 marzo 2010, che segue le indicazioni fornite dalla Legge Regionale 24/2006 sulle emissioni nocive e semplifica molto la burocrazia legata all'installazione di impianti geotermici. A proposito dell'obbligo di copertura di una percentuale del fabbisogno energetico degli edifici mediante fonti rinnovabili, la Regione fa riferimento al D. Lgs. 28/2011⁵¹. Il 18 aprile 2012, la Giunta Regionale ha approvato le "Linee guida per l'autorizzazione di impianti di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili", con la pubblicazione della DGR 3298, che sistematizza il processo di autorizzazione per la costruzione, l'installazione e l'esercizio degli impianti alimentati da fonti energetiche rinnovabili riunendo in un procedimento unico i vari procedimenti amministrativi.

Sempre del 2012 è la Legge Regionale 13 marzo 2012 n. 4 "Norme per la valorizzazione del patrimonio edilizio esistente e altre disposizioni in materia urbanistico - edilizia", che stabilisce le modalità e le procedure da seguire nel caso di interventi sul patrimonio esistente, stabilendo diversi criteri di modifica o recupero in base alla tipologia di intervento e alla destinazione d'uso degli edifici stessi.

5.2.2 Strumenti urbanistici ed edilizi

5.2.2.1 Il Piano del Governo del Territorio

Tramite la Legge Regionale n. 12 dell'11 marzo 2005, la Lombardia ha introdotto come nuovo strumento urbanistico il *Piano del Governo del Territorio*, che ha sostituito il precedente Piano Regolatore Generale (PRG) come strumento di pianificazione urbanistica a livello comunale. Questo strumento ha lo scopo di definire l'assetto dell'intero territorio provinciale e comunale e si compone di tre atti distinti: il *Documento di Piano*, che definisce il quadro generale della programmazione urbanistica basandosi anche su proposte pervenute da cittadini, compie un'analisi del territorio comunale dal punto di vista geologico, ambientale, urbanistico, culturale, ed evidenzia eventuali beni storici o ambientali di particolare interesse; il *Piano dei Servizi*, che definisce tutte le strutture di

⁵⁰ Il Regolamento è strettamente coerente con quanto dichiarato nel D. Lgs. n. 22 dell'11 febbraio 2010, "Riassetto della normativa in materia di ricerca e coltivazione delle sonde geotermiche".

⁵¹ La Regione Lombardia ha dichiarato che gli obblighi definiti dal D. Lgs. 28/2011 non sono di attuazione chiara, seppur siano entrati in vigore dall' 1.6.2012 e siano vincolanti per il rilascio del titolo edilizio nel caso di nuovi edifici ed edifici sottoposti a ristrutturazione rilevante, con qualsiasi destinazione d'uso. Le criticità individuate dalla regione sono la mancanza di definizione delle modalità per calcolare i consumi finali di riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria e per determinare il fabbisogno di energia per il raffrescamento. Un comunicato regionale stabilisce che nell'attesa di indicazioni più puntuali, i Comuni possano verificare il rispetto degli obblighi previsti dal D. Lgs. 28/2011 secondo i criteri che ritengono più opportuni ai fini del rilascio del titolo abitativo.

interesse pubblico di cui il comune necessita; e il *Piano delle Regole*, che definisce la destinazione d'uso delle diverse aree del territorio comunale, individuando quelle di interesse paesaggistico, storico o ambientale, e quelle soggette a trasformazione urbanistica. Quest'ultimo documento è quello che maggiormente vincola e regola gli interventi edilizi ammessi sul territorio, regolando le modalità sia sugli edifici esistenti che su quelli di nuova costruzione, stabilendone le dimensioni e le destinazioni d'uso ammissibili. Il Piano delle Regole e i suoi Allegati e le Tavole annesse, riguardanti le indicazioni morfologiche, gli ambiti territoriali omogenei, i Nuclei di Antica Formazione con i relativi vincoli amministrativi e di tutela e salvaguardia, sono gli strumenti urbanistici di riferimento maggiormente utilizzati nell'analisi dello stato di fatto degli interventi di seguito studiati.

5.2.2.2 Il Regolamento Edilizio di Milano

Il 2 ottobre 2014 è stato definitivamente approvato il nuovo Regolamento Edilizio di Milano⁵², approvazione avvenuta in seguito ad un percorso durato oltre un anno, caratterizzato dal confronto e dal dialogo con una serie di professionisti, operatori, associazioni ambientaliste e anche cittadine, con l'obiettivo di rinnovare lo strumento normativo nel miglior modo possibile, garantendo chiarezza, completezza e accessibilità delle informazioni. Lo stesso vicesindaco (Ada Lucia De Cesaris), ha dichiarato, in una conferenza stampa il giorno della votazione da parte del Consiglio comunale, di essere molto soddisfatta, in quanto il testo è *“moderno, a tutela del territorio attraverso la scelta strategica di porre al centro le regole per il riutilizzo e la rigenerazione, la lotta all'abbandono di spazi ed edifici e il diritto all'accessibilità”*. Il testo è difatti chiaro e uno dei più completi di tutto il territorio nazionale.

I principi fondamentali su cui il Regolamento fa leva nell'intervenire sul suolo comunale sono la qualità della progettazione architettonica, il rispetto dei requisiti e della legislazione edilizia ma anche urbanistica, una buona pratica di tecnica e tecnologia delle costruzioni, la tutela del paesaggio e la sostenibilità ambientale.

Valorizzazione e rigenerazione dell'esistente sono altri elementi caratterizzanti il nuovo Regolamento Edilizio. In questa direzione vanno le norme che consentono la realizzazione di unità mono-affaccio, seminterrati abitabili, alloggi con metrature minime di 28mq e la possibilità di realizzare un solo bagno cieco anche in appartamenti di superficie superiore ai 60mq (art. 102, 109). Il testo favorisce inoltre il recupero del patrimonio edilizio,

⁵² Il Regolamento diventa ufficialmente efficace solo in seguito alla sua pubblicazione sul B.U.R.L. (Bollettino Ufficiale della Regione Lombardia).

soprattutto delle aree e degli immobili in disuso, promuovendo il rifacimento delle facciate, la sistemazione delle aree verdi private, l'inserimento di elementi di arredo urbano, con l'adeguata attenzione all'integrazione dei servizi necessari e dei parcheggi (art. 5). Per rendere efficace la lotta al degrado, il nuovo testo stabilisce che il Comune può intervenire in via sostitutiva per eseguire interventi di ripristino e messa in sicurezza di aree o edifici abbandonati da oltre 5 anni e potrà attribuire a tali beni un uso pubblico (art. 10 e 11).

L'articolo 6 riassume tutti gli elementi progettuali da rispettare necessariamente per eseguire interventi di qualità: l'aspetto del corretto inserimento paesistico delle costruzioni e delle ristrutturazioni è di primaria importanza, così come è importante rispettare le caratteristiche peculiari del contesto insediativo urbano, intervenendo sulle facciate con materiali e toni adeguati, senza trascurare le sistemazioni esterne dei fabbricati. Alla tutela paesaggistica è inoltre dedicato l'intero Titolo III, che definisce gli ambiti di pertinenza della Commissione Comunale per il Paesaggio e le modalità di valutazione degli interventi sottoposti alla sua attenzione (art.48-55).

Le procedure di esecuzione degli interventi edilizi sono chiaramente spiegate attraverso il Titolo II del Regolamento, che ne definisce le tipologie e l'attuazione, chiarendo gli ambiti di applicazione degli stessi e le documentazioni necessarie al rilascio dei permessi. Gli articoli 56-69 approfondiscono le modalità e le operazioni burocratiche necessarie all'esercizio di una corretta attività edilizia. È evidente la completezza del regolamento anche in merito a questo argomento, in quanto sono previste chiare disposizioni in merito ai cantieri, alle opere provvisorie e al comportamento da tenere nel caso di varianti o interventi non ultimati.

Va segnalata la nuova regolamentazione per le fognature, che sostituisce la precedente vecchia di decenni, e l'adozione di norme che favoriscono i giochi dei bambini nei cortili e il parcheggio delle biciclette, per una migliore qualità della vita dei cittadini.

Un paragrafo del testo (Titolo III – Norme speciali) è dedicato alle norme sul recupero dei sottotetti a fini abitabili, per cui le prescrizioni indicano la possibilità di aprire lucernari o abbaini al fine di raggiungere i requisiti aero-illuminanti, riducendo l'altezza minima a 1,80 metri, permettendo quindi il recupero di una più ampia porzione di sottotetti sparsi per la città.

Una delle principali novità che caratterizza lo strumento regolamentare è il modo in cui viene affrontata la tutela ambientale, per cui vengono indicati (art. 77) non solo i principi generali, ovvero che gli edifici devono esser progettati, realizzati e mantenuti utilizzando tutte le energie disponibili ai fini di ridurre l'utilizzo di fonti energetiche non rinnovabili, ridurre le emissioni inquinanti di qualsiasi natura, garantire il miglior comfort ambientale

interno ed esterno agli edifici, ma sono inoltre fornite disposizioni precise e specifiche su come raggiungere questi obiettivi. Il Regolamento definisce in modo dettagliato le prestazioni del sistema-edificio nella stagione invernale ed estiva (art. 130, 135, 136), precisando i requisiti dell'involucro edilizio, le trasmittanze limite differenziate a seconda delle componenti cui si riferiscono (art. 131-132), le prestazioni dei servizi tecnologici a servizio degli immobili (art. 134), i riferimenti e le indicazioni sulle quote minime di energie rinnovabili da utilizzare (art. 137), differenziando i requisiti a seconda delle tipologie di intervento da realizzare. A tal proposito sono state redatte delle Schede Requisito specifiche che contengono i livelli di consumi energetici per la climatizzazione invernale ed estiva, i valori di inerzia e trasmittanza termica limite, i requisiti da soddisfare nel caso si ricorra ad un sistema di ventilazione meccanica, l'efficienza energetica dell'involucro e le modalità di verifica della stessa, l'efficienza degli impianti legata anche all'utilizzo delle rinnovabili e le modalità di calcolo degli indici di prestazione energetica; le Schede fanno inoltre riferimento all'importante aspetto del verde urbano, chiarendo le esigenze e i diversi livelli da soddisfare a seconda degli interventi, e dei tetti verdi.

Il Regolamento fissa, inoltre, i parametri per l'utilizzo degli incentivi volumetrici previsti dal PGT per edifici ad alta efficienza energetica o che sono stati progettati con concorso, trattando dettagliatamente le modalità di ottenimento degli incentivi (art. 140-143).

Nel testo sono presenti, in riferimento a quasi ogni argomento, le misure da intraprendere nei confronti degli edifici storici, tutelati, di particolare interesse architettonico o testimoniale, appartenenti o meno ai nei Nuclei di Antica Formazione, come definito nell'art. 116 che stipula particolari prescrizioni per il recupero dei sottotetti di edifici appartenenti ai NAF, o nell'articolo 142, che definisce i particolari incentivi volumetrici del 15% della S.l.p. per immobili di interesse storico o artistico, compresi quelli individuati dal D. Lgs. 42/2004, o nell'articolo 79, che stabilisce delle deroghe in termini di abbattimento delle barriere architettoniche per questo tipo di edifici.

Per quanto riguarda la correlazione tra efficienza energetica/utilizzo di fonti rinnovabili e tutela del patrimonio costruito si può dire che il Regolamento sia completo in quanto stabilisce i requisiti da soddisfare a seconda che si intervenga sul costruito attraverso una ristrutturazione rilevante, un recupero, una sostituzione edilizia o tramite interventi di manutenzione ordinaria o straordinaria. Questo è uno degli aspetti più innovativi di questo testo, in quanto è difficile trovare negli altri strumenti dei riferimenti espliciti agli edifici esistenti, soprattutto in materia di efficienza energetica (cfr. §3.2.3).

Nonostante ogni intervento sia caratterizzato dalle proprie criticità, di cui non sempre si può trovare riscontro nel testo, il Regolamento Edilizio di Milano è ad oggi uno strumento

valido e completo, che permette ai soggetti coinvolti in opere e attività all'interno dei territori Comunali di agire nell'ottica del miglioramento della qualità della vita, della sostenibilità, della tutela ambientale e paesaggistica nel rispetto delle regole urbanistiche e della buona pratica delle costruzioni, poiché fornisce indicazioni piuttosto chiare e complete sui requisiti e sui livelli prestazionali da rispettare.

5.3 Primo caso di studio: ristrutturazione edilizia e recupero di un sottotetto

5.3.1 Introduzione

L'edificio oggetto di studio si trova a Milano, comune a 121 metri s.l.m. (zona climatica E), capoluogo di provincia, che si estende per 182 chilometri quadrati. Il fabbricato è situato in via Varese 12, collocata all'interno della cerchia dei bastioni, serie di due viali paralleli che ricalcano il tracciato della cinta muraria milanese eretta dagli spagnoli nel 1560 e oggi demolita, la quale delimita la zona più centrale della città, visibile in Figura 49, in cui la viabilità urbana principale è segnalata in giallo.

Il fabbricato è collocato nel del centro storico della città, all'interno di un cortile rettangolare su cui si affacciano altri tre fabbricati, uno parallelo che dà sulla strada di via Varese e altri due posti perpendicolarmente, più bassi, secondo la caratteristica tipologia a corte che connota la distribuzione di molti edifici del centro storico della città.



Figura 49: Confini di Milano. La posizione dell'edificio in esame è contrassegnata da un pallino rosso.
[Fonte: <http://www.provincia.mi.it/mappe/comuniprovincia/comuni.html>]

L'edificio confina a Sud, a Nord e ad Est con altre proprietà mentre ad Ovest con il cortile distributivo a servizio dei quattro corpi di fabbrica che corrispondono allo stesso indirizzo (Figura 50).



Figura 50: Inquadramento del fabbricato in esame. [Fonte: Google Maps]

È composto da 5 piani fuori terra più il sottotetto e la sua destinazione d'uso è quella residenziale. L'intervento che si realizza è quello del recupero del sottotetto, in cui sono previsti e progettati due appartamenti distinti. L'altezza massima dell'edificio è di 22,8 metri.

L'intervento si concentra solo sul sottotetto, che ha un'altezza massima di 3,30 metri e un'altezza minima di 0,70 metri. Le facciate sono connotate esternamente di determinati aspetti peculiari e tipici dell'architettura milanese e presentano alcune caratteristiche che andranno salvaguardate nell'intervento, come il colore "giallo Milano" dell'intonaco esterno, la fascia perimetrale dei serramenti di pietra grigia, il colore marrone dei telai degli infissi e la copertura in coppi tipica degli edifici del centro storico della città.

5.3.2 Vincoli normativi

5.3.2.1 Urbanistici ed edilizi

L'edificio in cui si trova il sottotetto è sottoposto ad una serie di vincoli urbanistici dovuti alla posizione che esso occupa nel territorio comunale; inoltre, a causa della tipologia di intervento che si va ad effettuare, il regolamento edilizio di Milano impone numerosi altri vincoli e prescrizioni di tipo edilizio e costruttivo.

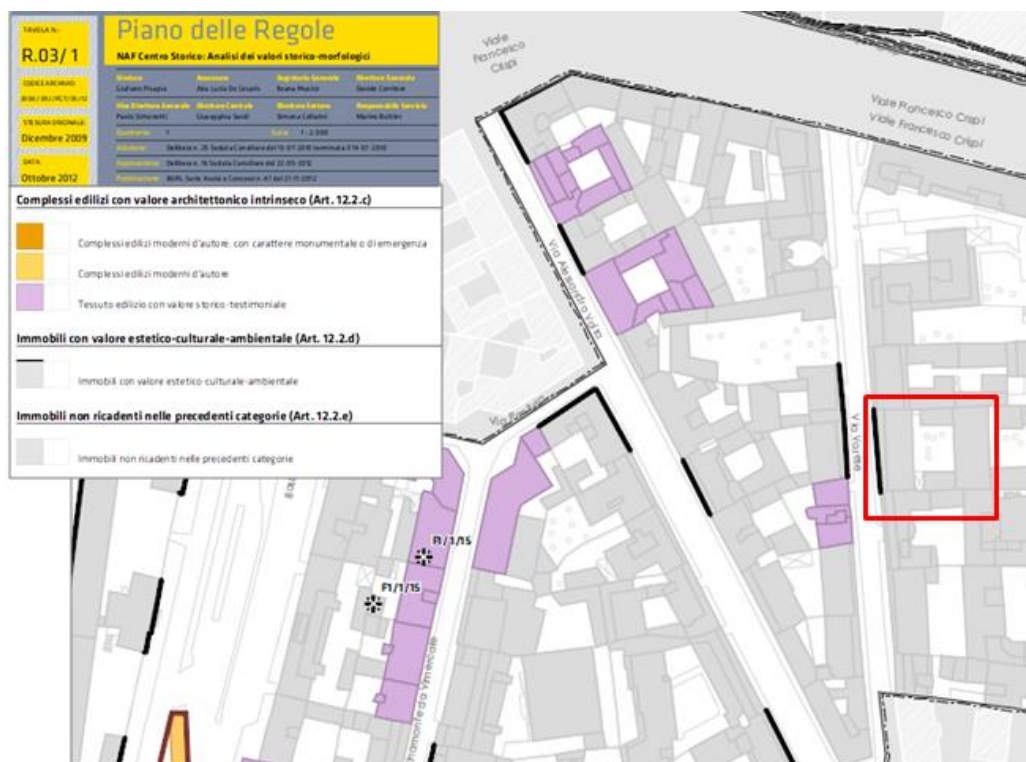


Figura 51: Analisi valori storico morfologici degli edifici del Nucleo di Antica Formazione di Milano. In rosso è evidenziato il fabbricato in cui è situato il sottotetto. [Fonte: Tavola R.03 Allegato 3 del PGT]

Il fabbricato di cui si recupera il sottotetto è situato all'interno del NAF, Nucleo di Antica Formazione, della città (Figura 51). Il Piano delle Regole individua diverse tipologie di immobili che compongono questi tessuti urbani: dal valore storico-architettonico intrinseco, dal valore architettonico intrinseco, con valore estetico-culturale-ambientale. Si è provveduto quindi a individuare secondo Piano delle Regole l'appartenenza dell'edificio oggetto di analisi a una delle categorie sopra citate (Figura 52). Poiché non appartiene a nessuna delle categorie precedenti, secondo lo strumento urbanistico, gli interventi ammessi per l'immobile in questione sono: interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, ristrutturazione edilizia e nuova costruzione.

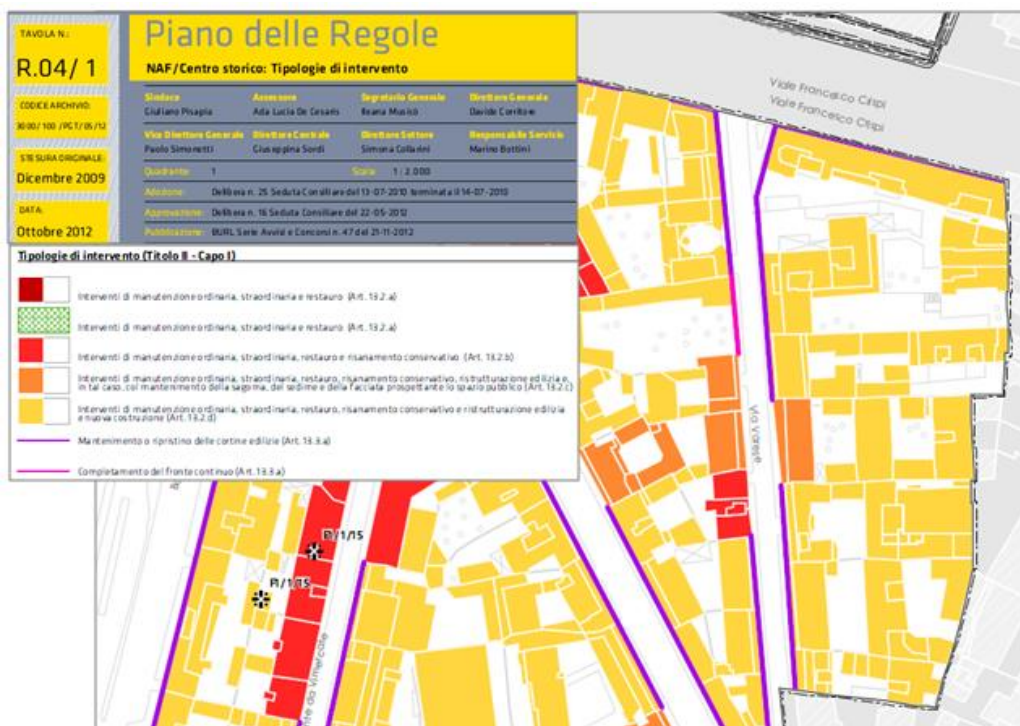


Figura 52: Tipologie di intervento ammesse per i fabbricati racchiusi nel Nucleo di Antica Formazione.
 [Fonte: Tavola R.04 Allegato 3 P.G.T.]

L'intervento non risulta particolarmente vincolato, quindi, dagli strumenti urbanistici; tuttavia, la sua appartenenza al N.A.F. determina il dover rispettare alcune prescrizioni legislative. Per quanto riguarda i recuperi dei sottotetti nei N.A.F., l'articolo 64.1 della Legge Regionale 11 marzo 2005 n. 12⁵³ cita: *"Gli interventi edilizi finalizzati al recupero volumetrico dei sottotetti possono comportare l'apertura di finestre, lucernari, abbaini e terrazzi per assicurare l'osservanza dei requisiti di aero-illuminazione e per garantire il benessere degli abitanti, nonché, per gli edifici di altezza pari o inferiore al limite di altezza massima posto dallo strumento urbanistico, modificazioni di altezze di colmo e di gronda e delle linee di pendenza delle falde, unicamente al fine di assicurare i parametri di cui all'articolo 63, comma 6"*⁵⁴. Il terzo periodo dello stesso articolo prescrive, all'interno dei centri storici e dei Nuclei di Antica Formazione, l'obbligo di rispettare i limiti di altezza massima degli edifici posti dallo strumento urbanistico, in assenza dei quali l'altezza massima deve essere intesa pari a quella esistente.

In merito al recupero dei sottotetti, il Regolamento Edilizio di Milano dedica il Titolo III della Parte III, sotto il paragrafo delle Norme speciali. L'articolo 116 comma 2 stabilisce che

⁵³ È riportata l'ultima modifica avvenuta dall'articolo 9, comma 1, della L.R. 13 marzo 2012, n. 4.

⁵⁴ I parametri cui si riferisce sono l'altezza media ponderale da garantire pari a 2,40 metri, ridotta ulteriormente a 2,10 metri per i comuni posti a quote superiori a seicento metri di altitudine sul livello del mare.

sono ammessi i recuperi dei sottotetti a scopo abitativo in tutto il territorio, purché siano rispettate le disposizioni delle norme nazionali e regionali vigenti, e che è possibile realizzare aperture di finestre, lucernari, abbaini e terrazzi, così come stabilito anche dalla Legge Regionale. Il regolamento riprende anche le norme di altezza minima stabilite dalla Legge stessa: è permesso il recupero del sottotetto senza modificare le altezze di gronda e di colmo; l'altezza media ponderale delle unità abitative oggetto di recupero, dove essere pari o superiore a 2,40 metri. Il calcolo si compie dividendo il volume della parte di sottotetto la cui altezza superi 1,50 m per la superficie relativa. Nel caso di interventi di modifica della copertura, tale altezza deve risultare in ogni caso inferiore a 2,70 metri.

5.3.2.2 Energetici

Il Regolamento Edilizio fornisce le prescrizioni e gli obblighi da rispettare affinché siano soddisfatte le prestazioni di efficienza energetica, in linea con gli obiettivi comunitari, a proposito di interventi di ristrutturazione edilizia di sottotetti a scopi abitativi.

Per quanto riguarda il fabbisogno invernale, l'articolo 130 del Regolamento impone che l'indice di prestazione energetica per il riscaldamento risulti minore del 70% del valore limite, definito, per le diverse zone climatiche e a seconda dei Gradi Giorno della località, dal D.G.R. n. 8745 del 22 dicembre 2008 nell'Allegato 3, ridotto del 30%. I valori sono espressi in funzione del rapporto di forma dell'edificio, tra la superficie che delimita verso l'esterno e il volume lordo delle parti di edificio riscaldato, definito dalle superfici stesse (Figura 53). Nel caso di gradi giorno intermedi, come in questo caso (cfr. §5.3.4.4), è necessario eseguire un'interpolazione lineare.

Il limite quindi è:

$$EP_H < 0,3 * EP_{H,lim}$$

Rapporto di forma dell'edificio	Zona climatica				
	D		E		F
S/V [m ⁻¹]	da 1401 [GG]	a 2100 [GG]	a 2101 [GG]	a 3000 [GG]	oltre 3001 [GG]
≤ 0,2	21,3	34	34	46,8	46,8
≥ 0,9	68	88	88	116	116

Figura 53: Sono riportati i valori limite dell'indice di prestazione energetica per il riscaldamento, espressi in kW/m²anno, riferiti alle zone climatiche e al rapporto superficie/volume dell'edificio.

[Fonte: Allegato 3 D.G.R. 8745-08]

A riguardo della prestazione estiva, l'articolo 135 del Regolamento stabilisce che nel caso di ristrutturazione e recupero a scopi abitativi dei sottotetti le pareti opache con orientamento compreso in un intorno di ±90° rispetto alla direzione sud, devono rispettare il valore massimo di fattore di attenuazione di 0,3 e il valore minimo di sfasamento di 10 ore.

Nel realizzare la ristrutturazione è necessario tenere conto delle limitazioni riguardanti l'involucro. L'articolo 131 del Regolamento edilizio stabilisce che per questa tipologia di intervento la trasmittanza termica media delle strutture opache dell'edificio delimitanti il volume riscaldato deve essere inferiore almeno del 15% di quella limite fornita dal D.G.R. n. 8745 del 22 dicembre 2008 nell'Allegato 3; analogamente, la trasmittanza media delle strutture vetrate deve essere inferiore di almeno il 10% rispetto a quella limite (Tabella A.2.1 - Figura 54).

Zona climatica	Strutture rivolte verso l'esterno ovvero verso ambienti a temperatura non controllata			
	Opache verticali	Opache orizzontali o inclinate		Chiusure trasparenti comprensive di infissi
		Coperture	Pavimenti	
D	0,36	0,32	0,36	2,4
E	0,34	0,30	0,33	2,2
F	0,33	0,29	0,32	2,0

Figura 54: Valori limite delle trasmittanze, espressi in W/m^2K , suddivisi per tipologia di parete e zona climatica. [Fonte: Allegato 3 D.G.R. 8745-08]

Perciò deve risultare, per la zona climatica E:

$$U_{opache,vert} < 0,85 * U_{limite} = 0,85 * 0,34 \frac{W}{m^2K} = 0,29 \frac{W}{m^2K}$$

$$U_{copertura} < 0,85 * U_{limite} = 0,85 * 0,30 \frac{W}{m^2K} = 0,26 \frac{W}{m^2K}$$

$$U_{trasparenti} < 0,90 * U_{limite} = 0,90 * 2,20 \frac{W}{m^2K} = 1,98 \frac{W}{m^2K}$$

L'articolo 137 impone l'utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di energia di climatizzazione invernale ed estiva e per la produzione di acqua calda sanitaria. Il Regolamento rimanda all'Allegato 3 del Dlgs. 28/2011, che stabilisce l'obbligo per tutte le categorie di edifici, dalla E1 - edifici residenziali, come nel caso in esame - alla E8, di prevedere l'installazione di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili, in misura non inferiore al 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria e del 20% della somma dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento. Questo vale per interventi la cui richiesta del titolo edilizio è stata presentata prima del 31 dicembre 2014⁵⁵.

Per una maggiore chiarezza ed immediatezza di lettura, sono riassunti in Tabella 6 i vincoli normativi e regolamentari cui l'intervento è sottoposto.

⁵⁵ Il Dlgs. 28/2011, Allegato 3, riferito all'art. 11 comma 1 stabiliva tale quota per gli interventi cui la richiesta del titolo edilizio fosse presentata dal 31 maggio 2012 al 31 dicembre 2013. Tale prescrizione è stata prorogata di un anno.

Vincoli	Strumento legislativo di riferimento	Obblighi, requisiti e prescrizioni
Urbanistici /Edilizi	<ul style="list-style-type: none"> • P.G.T.; • LEGGE REGIONALE 11 marzo 2005 n. 12, <i>articoli 63-64</i>; • REGOLAMENTO EDILIZIO del comune di MILANO. <i>Parte III, Titolo III: Norme speciali, articolo 116, recupero dei sottotetti</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Edificio appartenente al N.A.F., Nucleo di Antica Formazione, della città; - Interventi ammessi: manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, ristrutturazione edilizia e nuova costruzione. • I sottotetti appartenenti al N.A.F. possono essere ristrutturati mediante apertura di finestre, lucernari, abbaini e terrazzi laddove necessario a rispettare i RAI. • I sottotetti situati nel N.A.F. devono rispettare le altezze massime degli edifici; - L'altezza media ponderale deve essere maggiore o uguale a 2,40 metri ma inferiore a 2,70 metri.
Energetici	<p>REGOLAMENTO EDILIZIO di Milano:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Articolo 130, in riferimento alla Scheda requisito 1, Livello 1_OB, che rimanda alle Tabelle A.1.1. e A.1.2. del D.G.R. n. 8745 del 22 dicembre 2008. • Articolo 130 • Articolo 131, in riferimento alla Scheda requisito 8, Livello 3_OB, che rimanda alla Tabella A.2. del D.G.R. n. 8745. • Articolo 132, in riferimento alla Scheda requisito 8, Livello 1_OB, che rimanda alla Tabella A.2. del D.G.R. n. 8745. RINNOVABILI: REGOLAMENTO EDILIZIO • Articolo 137, che rimanda al Dlgs. 28/2011 Allegato 3. 	<ul style="list-style-type: none"> • Limite del fabbisogno invernale: $EP_h < EP_{hlim} * 0,70$ • Prestazione estiva: le pareti con orientamento $\pm 90^\circ$ rispetto alla direzione sud devono avere uno sfasamento dell'oscillazione termica $S > 10$ h e un fattore di attenuazione $fa > 0,3$. • $U_{opache,vert} < 85\% U_{limite} = 0,29$ W/m²K; $U_{copertura} < 85\% U_{limite} = 0,26$ W/m²K. • $U_{trasparenti} < 90\% U_{limite} = 1,98$ W/m²K; • Produzione di energia termica da fonti rinnovabili deve coprire il 50% dei consumi per ACS e il 20% della somma dei consumi di ACS, riscaldamento e raffrescamento.

Tabella 6: Riassunto dei vincoli cui è sottoposto l'intervento di ristrutturazione del sottotetto con scopo di recupero ai fini abitativi.

5.3.3 Stato di fatto e caratteristiche tecnologiche costruttive

Lo stato di fatto del sottotetto prima della realizzazione dell'intervento vede lo spazio suddiviso in otto parti principali mediante delle pareti interne divisorie.

Superficie netta [m ²]	170
Superficie lorda [m ²]	285,7
Altezza minima [m]	0,70
Altezza massima [m]	3,30
Volume netto [m ³]	417,53

Tabella 7: Dimensioni del sottotetto.

In Figura 55 è riportata la pianta quotata dello spazio a disposizione in cui compiere l'intervento e di seguito una tabella riassuntiva delle caratteristiche dimensionali del sottotetto (Tabella 7), che occupa in pianta, complessivamente, circa 300 metri quadrati. Lo spazio è accessibile tramite due corpi scala, uno situato a sud-ovest, più piccolo, e l'altro disposto a nord-ovest del fabbricato e servito di un impianto ascensore.

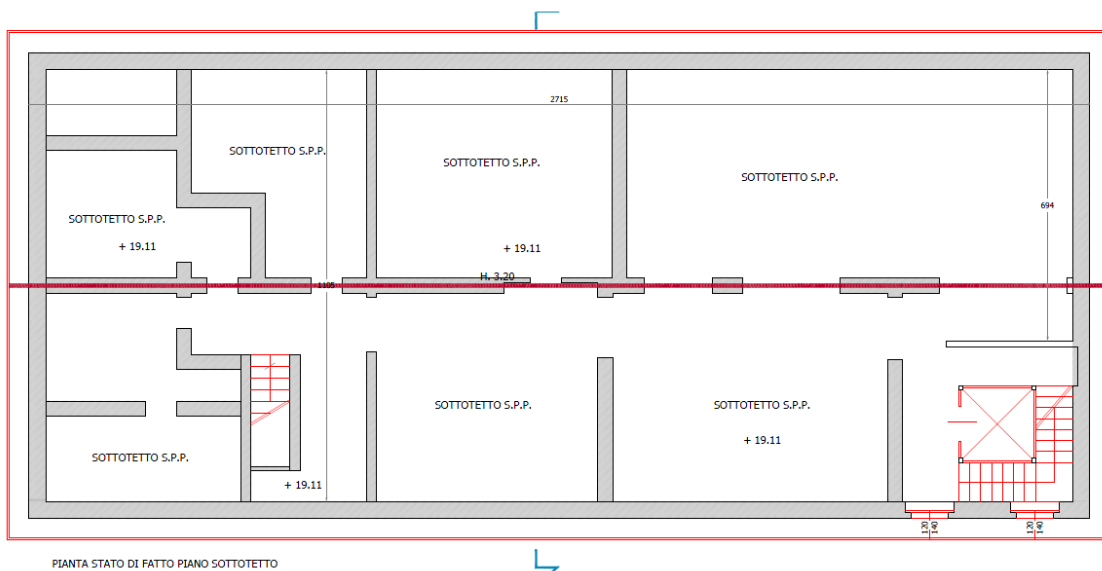


Figura 55: Stato di fatto del sottotetto. In rosso la sagoma dell'ingombro della copertura.

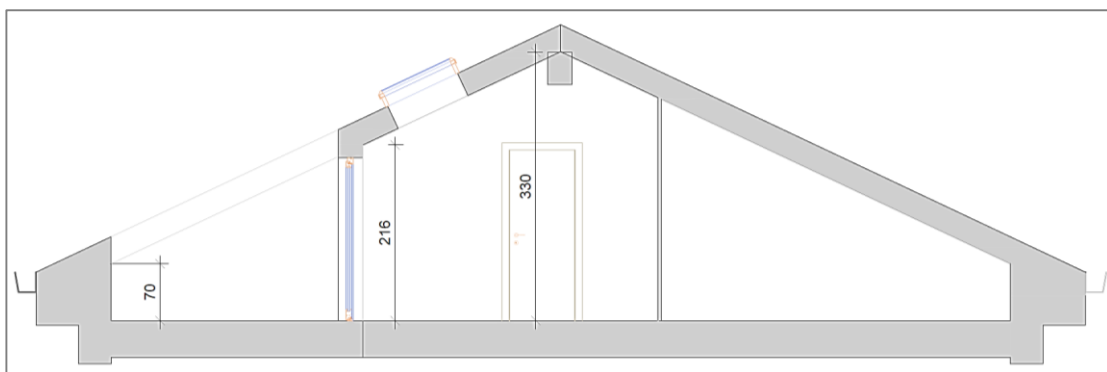


Figura 56: Sezione del sottotetto.

Per quanto riguarda le caratteristiche tecnologiche, le pareti esistenti erano realizzate in muratura tradizionale con mattoni pieni, così come la copertura a falde inclinate. Il locale era privo di sistemi tecnologici di riscaldamento o raffrescamento a servizio dei diversi ambienti ed era caratterizzato da una sezione rappresentata in Figura 56 con un'altezza interna massima di 3,30 metri in corrispondenza del colmo della copertura e un'altezza interna minima di 0,70 metri.

5.3.4 Descrizione dell'intervento

L'intervento effettuato è una ristrutturazione del sottotetto con fini di recupero abitativo; la volontà è di creare due appartamenti separati, serviti da due corpi scala adeguati, entrambi dotati di un impianto ascensore.

Si illustrano tutte le scelte tecnologiche, costruttive e progettuali che hanno portato alla realizzazione dell'intervento nel rispetto dei vincoli citati (cfr. §5.3.2), della sostenibilità e del comfort interno da garantire alla futura utenza, nel rispetto dell'aspetto esterno e degli elementi peculiari del fabbricato.



Figura 57: Render di come appare la copertura dopo la costituzione degli abbaini.



Figura 58: Vista dal basso dell'intervento.

Il progetto prevede la realizzazione di due appartamenti che devono essere abitabili e rispettare quindi anche le caratteristiche architettoniche di altezza minima necessarie. A tale scopo, si decide di realizzare una serie di abbaini che diano la possibilità di alzare l'altezza interna dell'ambiente, altrimenti troppo basso per essere abitato; questo è permesso dalle norme e il risultato finale dell'intervento prevede che siano utilizzati

materiali e colori idonei nel rispetto delle prescrizioni estetiche del regolamento e degli altri fabbricati presenti nella zona (Figura 57 e 58).

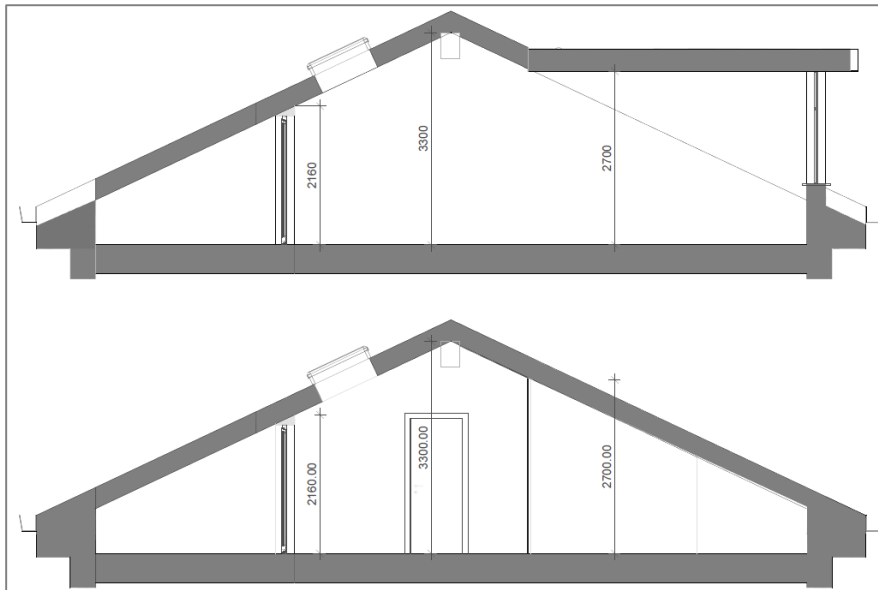


Figura 59: Sezioni del sottotetto; sopra: sezione in corrispondenza dell'abbaino, sotto: sezione tipica.

Le pareti divisorie interne pre-esistenti sono demolite e al loro posto si predispone una distribuzione interna differente. Questo permette inoltre di realizzare la distribuzione tecnica degli impianti relativa all'installazione dei nuovi servizi tecnologici previsti. In Figura 60 si può osservare la fase di progettazione della distribuzione interna, in cui la nuova superficie lorda complessiva di pavimento, pari a 231,3 metri quadrati, è ottenuta in seguito alla realizzazione degli abbaini che trasformano la sezione come mostrato in Figura 59, aumentando l'altezza interna dei locali e rendendoli quindi fruibili.

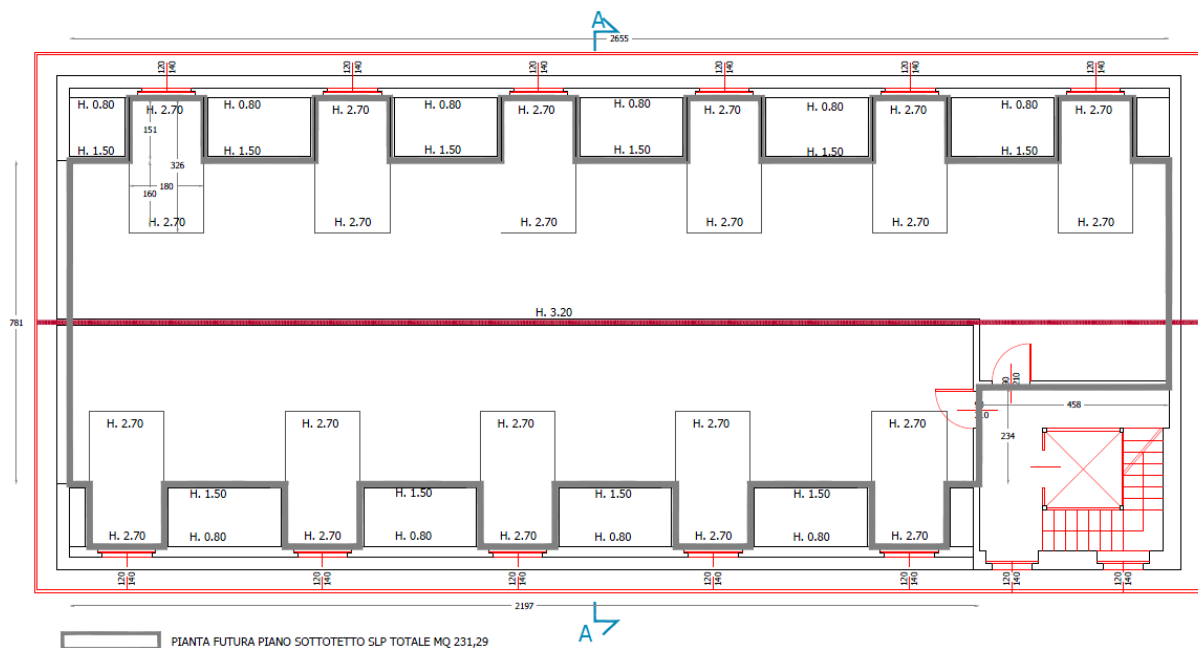


Figura 60: Pianta Piano sottotetto.

Per quanto riguarda la distribuzione interna, si prevedono due appartamenti, A e B, entrambi connotati da due camere da letto, due bagni e un ampio salotto con zona cottura (Figura 61).

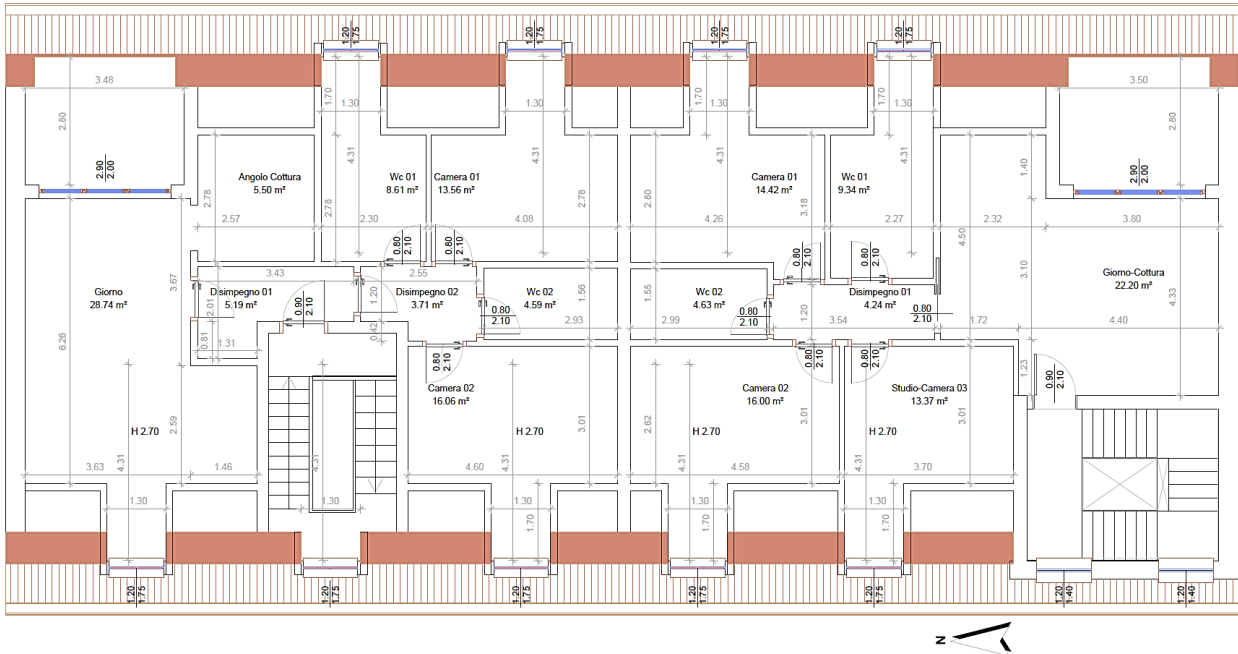


Figura 61: Distribuzione interna degli appartamenti.

5.3.4.1 Abachi degli elementi tecnici

Il recupero del sottotetto di via Varese 12 rappresenta un intervento delicato poiché presuppone la ristrutturazione e la modifica di una parete esterna esistente tradizionale in muratura e di una copertura esistente. È quindi da considerare l'interfaccia con l'esistente nonché da motivare la scelta delle stratigrafie scelte. Si analizzano le soluzioni stratigrafiche adottate nell'intervento e le prestazioni dell'involucro.

La tecnologia utilizzata è una tecnologia a secco in legno lamellare. Le chiusure verticali opache sono realizzate mediante una parete a cappotto con isolamento a lana di roccia e parte portante in legno lamellare. La copertura a falda è realizzata tramite una struttura in legno da costruzione X-Lam e un rivestimento esterno in tegole marsigliesi, nel rispetto delle caratteristiche peculiari del centro storico.

Nelle tabelle seguenti sono riassunte le caratteristiche degli abachi, le resistenze e le conduttività dei singoli strati, nonché la trasmittanza dell'intero pacchetto, con le verifiche delle trasmittanze.

Chiusura verticale opaca				
Strato	Materiale	Spessore [m]	Conduttività λ [W/mK]	Resistenza termica [m ² K/W]
Resistenza superficiale interna R_{si}		-	-	0,13
1	Pannello in cartongesso	0,0125	0,21	0,06
2	Struttura in cartongesso	0,028	0,21	0,13
3	Morale in legno lamellare	0,2	0,12	1,67
4	Isolante in lana di vetro	0,12	0,036	3,33
5	Rasatura esterna in malta	0,005	0,21	0,02
Resistenza superficiale esterna R_{se}		-	-	0,04
Spessore totale				0,366 m
Trasmittanza				0,186 W/m ² K
Verifica: OK				< 0,29 W/m ² K

Tabella 8: Caratteristiche delle chiusure verticali opache.

Chiusura orizzontale opaca				
Strato	Materiale	Spessore [m]	Conduttività λ [W/mK]	Resistenza termica [m ² k/W]
Resistenza superficiale interna R_{si}		-	-	0,1
1	Tegole marsigliesi di rivestimento	-	-	0,00
2	Tavolato di chiusura	0,02	0,21	0,10
3	Camera di ventilazione	0,04	0,055	0,73
4	Telo antivento	0,004	0,23	0,02
5	Isolamento in lana di vetro	0,06	0,033	1,82
6	Pannello in lana di vetro	0,08	0,036	2,22
7	Barriera al vapore	-	-	-
8	Pannello in legno X-lam	0,083	0,21	0,40
Resistenza superficiale esterna R_{se}		-	-	0,04
Spessore totale			0,29 m	
Trasmittanza			0,185 W/m ² K	
Verifica: OK			< 0,26 W/m ² K	

Tabella 9: Caratteristiche della copertura.

Partizione verticale opaca su ambiente non riscaldato				
Strato	Materiale	Spessore [m]	Conduttività λ [W/mK]	Resistenza termica R_{se} [m ² ·K/W]
Resistenza superficiale interna R_{si}		-	-	0,17
1	Struttura in cartongesso	0,028	0,21	0,13
2	Morale in legno lamellare	0,15	0,12	1,25
3	Isolante in lana di vetro	0,08	0,036	2,22
4	Rasatura	0,003	0,21	0,01
Resistenza superficiale esterna R_{se}		-	-	0,04
Spessore totale				0,26 m
Trasmittanza				0,261 W/m ² K
Verifica: OK				< 0,28 W/m ² K

Tabella 10: Caratteristiche delle pareti che confino con il vano scale.

Partizione orizzontale interna: solaio su appartamento sottostante

Strato	Materiale	Spessore [m]
1	Riscaldamento a pavimento	0,04
2	Sottofondo	0,05
3	Lamiera grecata e getto di completamento	0,13
4	Assito esistente	0,02
5	Trave HEA 800 e sella di sostegno	0,145
Spessore totale		0,385 m

Tabella 11: Caratteristiche del solaio a pannelli radianti.

Per la verifica dei vetri, sono stati eseguiti i calcoli di trasmittanza che mostrano come i serramenti utilizzati portino a soddisfare i requisiti imposti: la trasmittanza totale dei serramenti è $1,514 \text{ W/m}^2\text{K}$, minore di quella limite prefissata a $2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Sfasamento termico e fattore di attenuazione

Lo sfasamento termico è l'arco di tempo che serve all'onda termica per fluire dall'esterno all'interno attraverso un componente edile. È perciò la differenza di tempo che intercorre tra l'ora in cui si ha la massima temperatura all'esterno e l'ora in cui si ha la massima temperatura all'interno. È stato necessario verificare che questo intervallo temporale fosse maggiore di 10 ore, come stabilito dal regolamento, e che il fattore di attenuazione, o decremento, indentificato come il rapporto tra la trasmittanza termica dinamica e quella termica, risulti superiore a 0,3. Utilizzando il procedimento individuato dalla norma UNI EN ISO 13786:2008, si sono calcolati e verificati i valori relativi alle stratigrafie delle superfici disperdenti. La parete perimetrale esterna risulta avere uno sfasamento di 13,33

$h > 10$ h e un fattore di attenuazione di 0,32; la copertura invece ha uno sfasamento termico di 11,76 h.

Verifiche altezza minima e RAI

Trattandosi del recupero di un sottotetto, il Regolamento Edilizio di Milano stabilisce determinate prescrizioni in termini di altezza minima da rispettare, 1,50 metri, altezza massima, 2,70 metri, e altezza media, calcolata come il rapporto tra il volume delle aree con altezza maggiore di 1,50 metri e la superficie da queste occupata. In Figura 62 è riportato lo schema utilizzato per il calcolo delle superfici dei due appartamenti; a seguito sono riportate le tabelle con le misure delle altezze medie e la verifica della rispondenza ai requisiti regolamentari (Figura 63 e 64). La realizzazione degli abbaini, permessa dal regolamento ai fini del recupero del sottotetto, è stata determinante nel raggiungimento degli obiettivi previsti.

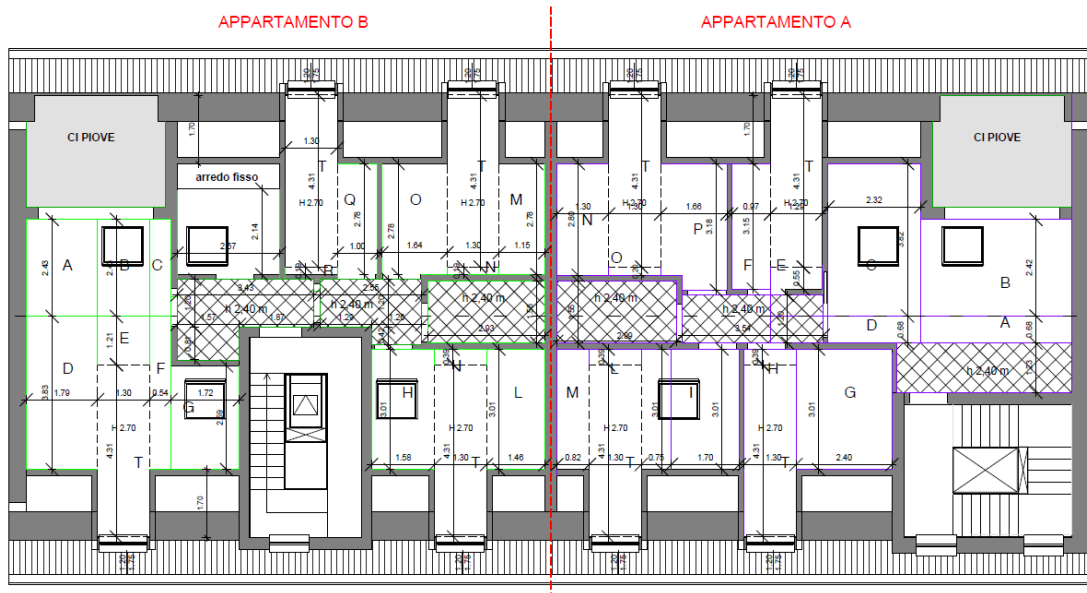


Figura 62: Schema per il calcolo delle superfici dei locali - Altezza ponderale.

VERIFICA ALTEZZA SOTTOTETTO										
APPARTAMENTO A										
LOCALE	DIMENSIONE LOCALE			TOT. SUP. NETTA (mq)	ALTEZZA LOCALE				VOLUME LOCALE	HMP LOCALE
	LARGHEZZA	LUNGHEZZA	Sup. (mq)		H1 (min)	H2 (max)	HM (m)	VOL. mc		
Porzione A	3.80	2.43	9.23	93.82	2.16	3.30	2.73	25.21	241.04	2,57
Porzione B	2.47	3.83	9.46		1.50	3.30	2.40	22.70		
Porzione C	2.75	3.83	10.53		1.50	3.30	2.40	25.28		
Porzione D X4	1.30	1.23	6.40		2.70	3.30	3.00	19.19		
Porzione E	1.30	3.83	4.98		1.50	3.30	2.40	11.95		
Porzione F	4.52	0.67	3.03		3.00	3.30	3.15	9.54		
Porzione M	4.52	1.23	5.56		2.40	2.40	2.40	13.34		
Porzione G	2.40	3.83	9.19		1.50	3.30	2.40	22.06		
Porzione H	2.58	3.83	9.88		1.50	3.30	2.40	23.72		
Porzione I	0.82	3.83	3.14		1.50	3.30	2.40	7.54		
Porzione T X4	1.30	4.31	22.41		2.70	2.70	2.70	60.51		

Figura 63: Verifica altezza dell'appartamento A.

APPARTAMENTO B										
LOCALE	DIMENSIONE LOCALE			TOT. SUP. NETTA (mq)	ALTEZZA LOCALE				VOLUME LOCALE	HMP LOCALE
	LARGHEZZA	LUNGHEZZA	Sup. (mq)		H1 (min)	H2 (max)	H3 (m)	VOL. mc		
Porzione A	3,80	2,43	9,23	89,72	2,16	3,30	2,73	25,21	230,97	2,57
Porzione B	2,70	3,19	8,61		1,80	3,30	2,55	21,96		
Porzione C	2,76	3,83	10,57		1,50	3,30	2,40	25,37		
Porzione D X4	1,30	1,23	6,40		2,70	3,30	3,00	19,19		
Porzione E	1,15	3,83	4,40		1,50	3,30	2,40	10,57		
Porzione F	1,79	3,83	6,86		1,50	3,30	2,40	16,45		
Porzione G	2,01	3,83	7,70		1,50	3,30	2,40	18,48		
Porzione H	1,84	3,83	7,05		1,50	3,30	2,40	16,91		
Porzione I	1,46	3,83	5,59		1,50	3,30	2,40	13,42		
Porzione L	3,31	0,27	0,89		3,18	3,30	3,24	2,90		
Porzione T X4	1,30	4,31	22,41		2,70	2,70	2,70	60,51		

Figura 64: Verifica altezza dell'appartamento B.

L'altezza ponderale è pari a 2,57 metri per entrambi gli appartamenti, quindi i limiti sono verificati. Poiché si tratta della realizzazione di nuovi appartamenti, è necessario calcolare anche i rapporti areo-illuminanti minimi (RAI), di cui in Figura 65 e 66 si riporta la verifica.

VERIFICA RAPPORTI AEROILLUMINATI DEI LOCALI - APPARTAMENTO A											
PIANO	TIPOLOGIA LOCALI	DIMENSIONE LOCALE			SUP. LOCALE (mq)	TIPOLOGIA APERTURA	DIMENSIONE APERTURA			SUP. APERTURA (mq)	SUP. APERTURA/SUP. LOCALE > 1/8 (0,125)
		LUNGHEZZA	LARGHEZZA	Sup. (mq)			LUNGHEZZA	LARGHEZZA	Sup. (mq)		
SOTTOTETTO	Giorno - Cottura / Ingresso										
	AREA 1	2,32	4,50	10,44	27,63					4,06	0,15
	AREA 2	3,80	3,10	11,78							
	Ingresso	4,40	1,23	5,41							
		Wc 01									
	AREA 1	2,27	3,15	7,15	9,36					2,10	0,22
	AREA 2	1,30	1,70	2,21							
		Camera 01									
	AREA 1	3,14	2,80	8,79	14,56					2,10	0,14
	AREA 2	1,12	3,18	3,56							
	AREA 3	1,30	1,70	2,21							
		Camera 02									
	AREA 1	4,58	3,01	13,79	16,00					2,11	0,13
	AREA 2	1,30	1,70	2,21							
	Studio - Camera 03										
AREA 1	3,70	3,01	11,14	13,35					2,10	0,16	
AREA 2	1,30	1,70	2,21								
	Wc 02*										
AREA 1	1,55	2,99	4,63	4,63	FINESTRA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Figura 65: Verifica rapporti aero-illuminanti Appartamento A.

VERIFICA RAPPORTI AEROILLUMINATI DEI LOCALI - APPARTAMENTO B											
PIANO	TIPOLOGIA LOCALI	DIMENSIONE LOCALE			SUP. LOCALE (mq)	TIPOLOGIA APERTURA	DIMENSIONE APERTURA			SUP. APERTURA (mq)	SUP. APERTURA/SUP. LOCALE > 1/8 (0,125)
		LUNGHEZZA	LARGHEZZA	Sup. (mq)			LUNGHEZZA	LARGHEZZA	Sup. (mq)		
SOTTOTETTO	Giorno										
	AREA 1	3,63	6,26	22,72	34,22					6,16	0,18
	AREA 2	1,46	2,59	3,78							
	AREA 4 (COTTURA)	2,57	2,14	5,50							
	AREA 3	1,30	1,70	2,21							
		Wc 01									
	AREA 1	2,30	2,78	6,39	8,60					2,10	0,86
	AREA 2	1,30	1,70	2,21							
		Camera 01									
	AREA 1	4,08	2,78	11,34	13,55					2,10	1,69
	AREA 2	1,30	1,70	2,21							
		Camera 02									
	AREA 1	4,59	3,01	13,82	16,03					2,10	2,00
	AREA 2	1,30	1,70	2,21							
		Wc 02*									
	AREA 1	1,56	2,93	4,57	4,57	FINESTRA	0,00	0,00	0,00	#RIFI	0,00

Figura 66: Verifica rapporti aero-illuminanti Appartamento B.

5.3.4.2 Sistema impiantistico

Gli appartamenti realizzati devono essere serviti di tutti i servizi tecnologici per la climatizzazione invernale ed estiva, la distribuzione di acqua potabile e di acqua calda sanitaria, che sono stati progettati ex-novo, dovendosi interfacciare con i componenti degli impianti esistenti nell'edificio a servizio dei piani sottostanti.

Gli impianti sono a servizio dei due appartamenti separati; ciascun alloggio è climatizzato in modo autonomo mediante l'utilizzo di una pompa di calore aria/acqua costituita da un'unità esterna installata in copertura, in modo analogo sul terrazzo dei due appartamenti. L'unità interna è installata in un opportuno vano tecnico previsto nella progettazione.

La pompa di calore alimenta tutti gli impianti di climatizzazione, invernale ed estiva, e la produzione di acqua calda sanitaria in stagione sia invernale che estiva.

L'impianto termico di riscaldamento è realizzato tramite una pavimentazione a basso spessore a pannelli radianti annegati nella struttura, con integrazione di radiatori di tipo scaldasalviette nei bagni. La distribuzione è suddivisa per unità immobiliari, formata da una linea principale che dal generatore pompa di calore alimenta i collettori posti nei singoli appartamenti, i quali distribuiscono il fluido termovettore all'unità di competenza.

La stessa pompa di calore aria/acqua alimenta anche un accumulo installato in un vano tecnico comune che ha il compito di produrre acqua calda sanitaria. La produzione dell'acqua calda sanitaria è prodotta in un bollitore di accumulo, collegato alla rete di acqua potabile dell'intero edificio, ed è distribuita alle utenze mediante collettori posti in prossimità dei locali da servire.

La regolazione dell'impianto è effettuata tramite dei termostati a programmazione settimanale, regolabili su due livelli nell'arco della giornata, così da funzionare ad attenuazione notturna, e gestisce l'impianto dell'intera unità servita. Ogni radiatore presente nei bagni è dotato di una propria valvola termostatica.

Per quanto riguarda la distribuzione dell'acqua potabile, si sono sfruttati i montanti condominiali di distribuzione.

La climatizzazione estiva è realizzata tramite un impianto a tutt'aria costituito da ventilconvettori canalizzati che inviano l'aria per il raffrescamento degli ambienti. La ventilazione prevista è di tipo naturale, quindi non è presente un sistema di controllo dell'umidità relativa dei locali. La regolazione della temperatura dell'ambiente nella stagione estiva avviene mediante un cronotermostato posto nei disimpegni.

5.3.4.3 Studio energetico

Stabilite le caratteristiche delle stratigrafie e dei servizi tecnologici da installare, si procede con l'analisi dei calcoli per la determinazione del fabbisogno energetico degli appartamenti, così da dimensionare correttamente i componenti impiantistici e poter poi verificare le prestazioni del sistema edificio nella sua globalità.

Per il dimensionamento è stato necessario calcolare i disperdimenti nella stagione invernale ed estiva: si riportano in versione sintetica i dati relativi alle superfici disperdenti utilizzate per effettuare i calcoli.

APP.	LOCALE	SUP. ESTERNE TRASPARENTI					SUPERFICI ESTERNE OPACHE						ALTRE INTERNE - NR [m ²]
		N [m ²]	W [m ²]	S [m ²]	E [m ²]	COPERT. [m ²]	N [m ²]	W [m ²]	S [m ²]	E [m ²]	COPERT. -NR [m ²]	COPERT. [m ²]	
B	Giorno	-	2,1	-	5,8	1,9	25,4	3,1	5,0	4,3	26,3	24,4	21,7
B	Cottura	-	-	-	-	1,0	2,9	-	-	-	9,3	8,3	5,7
B	Dis 01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,0	6,0	6,0
B	Dis 02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,4	4,4	2,6
B	Wc 01	-	-	-	2,1	-	5,0	-	5,0	3,1	9,5	9,5	7,6
B	Camera 1	-	-	-	2,1	-	5,0	-	5,0	3,1	14,9	14,9	11,1
B	Wc 02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,3	5,3	-
B	Camera 2	-	2,1	-	-	1,0	5,0	3,1	5,0	-	12,7	11,8	21,3
A	Giorno-cottura	-	-	-	-	1,9	-	-	19,0	10,1	34,9	33,0	18,2
A	Studio-camera	-	2,1	-	-	-	5,0	3,1	5,0	-	15,0	15,0	15,1
A	Camera 2	-	2,1	-	-	1,0	5,0	3,1	5,0	-	17,5	16,5	12,1
A	Wc 02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,3	5,3	-
A	Camera 1	-	-	-	2,1	-	5,0	-	5,0	3,1	16,7	16,7	11,5
A	Wc 01	-	-	-	2,1	-	5,0	-	5,0	3,1	10,9	10,9	7,5
A	Dis 01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	5,0	-
	TOTALI	0,0	8,4	0,0	14,2	6,7	62,9	12,6	58,7	27,0	193,7	186,9	140,4

Tabella 12: Superfici disperdenti suddivise per tipologia ed esposizione.

5.3.4.3.1 Calcolo dei disperdimenti e degli apporti termici

Disperdimenti invernali

I disperdimenti invernali si suddividono in: disperdimenti per trasmissione attraverso l'involucro; disperdimenti per ventilazione; disperdimenti dovuti ai ponti termici.

I *disperdimenti per trasmissione* si calcolano mediante il prodotto tra il valore delle superfici disperdenti, il corrispettivo valore di trasmittanza, la differenza tra le temperature esterna e interna di progetto, aumentati tramite un coefficiente, che varia a seconda

dell'esposizione, ricavato dalla norma UNI 7357/74. Il rapporto può essere riassunto nell'espressione seguente:

$$Q_{T,tot} = \sum_{i=1}^n S_i \Delta T_i U_i C_{i-esp.}$$

$U_{PARETE ESTERNA}$	0,186 [W/m ² /°C]	$\Delta T_{PARETI ESTERNE}$	25 [°C]	$C_{PARETI N}$	1,38
$U_{COPERT.}$	0,185 [W/m ² /°C]	ΔT_{VETRI}	25 [°C]	$C_{PARETI W}$	1,27
$U_{PAVIM. (suolo)}$	0,3 [W/m ² /°C]	ΔT_{SUOLO}	13 [°C]	$C_{PARETI S}$	1,15
U_{VETRI}	1,3 [W/m ² /°C]	$\Delta T_{PARETI INTERNE}$	5 [°C]	$C_{PARETI E}$	1,32
$U_{PARETE INTERNA}$	0,5 [W/m ² /°C]			$C_{COPERTURA}$	1,15
$U_{PARETE vs NR}$	0,32 [W/m ² /°C]				
$U_{PAVIM. INTERNO}$	0,5 [W/m ² /°C]				

Tabella 13: Valori di trasmittanze, differenze di temperatura e coefficienti utilizzati per il calcolo.

APP.	LOCALE	DISPERSIONI TOTALI PER TRASMISSIONE [W]
B	Giorno	826
B	Cottura	113
B	Dis 01	47
B	Wc 01	237
B	Camera 01	275
B	Wc 02	28
B	Camera 02	315
A	Giorno-cottura	456
A	Studio-camera	281
A	Camera 02	318
A	Wc 02	28
A	Camera 01	285
A	Wc 01	244
A	Dis 01	27
	TOTALI [W]	3510

Tabella 14: Disperdimenti per trasmissione.

Nelle tabelle seguenti (Tabelle 13 e 14) si riportano i dati di trasmittanze, differenza di temperature e coefficienti utilizzati per il calcolo e, a seguito, i valori totali dei disperdimenti per trasmissione ottenuti, in forma sintetica, suddividendoli per tipologia di locale.

I *disperdimenti per ventilazione* si calcolano tramite l'espressione seguente:

$$Q_V = \rho * c_p * \dot{V}_{tot} * \Delta T = 0,334 \frac{W * h}{^{\circ}C * m^3} * 417,5 m^3 * 0,5 \frac{ricambi}{h} * 25^{\circ}C = 1835,1W$$

Per il calcolo dei disperdimenti dovuti ai ponti termici si utilizza l'ausilio del software Therm, che fornisce un valore di ψ pari a 0,185 W/mK. Si sono presi in considerazione i ponti termici in corrispondenza degli abbaini, il cui contributo è riassunto in Tabella 15.

Ponte termico abbaino		
Lunghezza tot.	47,2	m
ψ	0,185	W/mK
Q_{PT}	218,3	W

Tabella 15: Ponti termici abbaini.

Apporti termici estivi

Gli apporti termici che è necessario contrastare nella stagione estiva sono: i carichi sensibili dovuti alla trasmissione di calore attraverso l'involucro (chiusure opache e trasparenti), i carichi sensibili dovuti all'irraggiamento solare attraverso le chiusure trasparenti, i carichi sensibili dovuti alla presenza di persone e corpi illuminanti all'interno dei locali e i carichi latenti dovuti all'affollamento dei locali.

I *carichi sensibili per trasmissione scambiati attraverso le chiusure opache* si calcolano moltiplicando le superfici disperdenti per le trasmittanze e per una differenza di temperatura equivalente, che varia a seconda del tempo e dell'esposizione delle superfici all'irradiazione e della massa areica; tale valore viene ricavato da delle tabelle fornite dagli strumenti legislativi e normativi. La formula utilizzata per il calcolo è quindi:

$$Q_{SENS, T, Opache} = S * \Delta T_{eq} * U = 1109,7 W$$

I *carichi sensibili scambiati per trasmissione attraverso le pareti trasparenti* si calcolano mediante il prodotto della superficie disperdente, della corrispettiva trasmittanza, moltiplicati per la differenza di temperatura tra esterno e interno. Per Milano, la temperatura esterna massima è pari a 32°C⁵⁶ mentre quella di progetto dell'ambiente interno è 26°C.

$$Q_{SENS, T, Trasparenti} = S * \Delta T_{max} * U = 228,7 W$$

Per quanto riguarda il calcolo dei carichi sensibili per irradiazione attraverso i vetri, sono stati ricavati dalla norma UNI 10349 i valori di irradianza massima estiva incidente su un vetro semplice disposto verticalmente e orizzontalmente a seconda delle esposizioni. I

⁵⁶ Si utilizza il valore fornito dalla norma UNI 10349, corrispondente alla temperatura massima alle ore 15:00.

carichi termici (Tabella 16) sono poi stati calcolati moltiplicando le superfici vetrate per la radiazione solare incidente e per due fattori correttivi, che tengono conto dell'oscuramento e del telaio degli infissi. Si sono utilizzati come fattore g il valore 0,3 e come fattore telaio 1.

Esposizione	S	E	N	W	Orizz.
Radiazione solare attraverso il vetro semplice [W/m ²]	46	443	32	32	331
Superfici vetrate [m ²]	0	14,2	0	8,4	6,7
Q _{sens,irr} [W]	0	1887,2	0	80,6	667,6
Q _{sens,irr TOT} [W]	2635,4				

Tabella 16: Carichi sensibili scambiati attraverso le superfici vetrate dovuti alla radiazione solare incidente.

I carichi sensibili per la presenza di persone valgono:

$$Q_{SENS,pers} = \sum_{i=1}^n n_{pers,i} q_{s,pers} = 16 * 65 \frac{W}{pers} = \mathbf{1040 W}$$

Analogamente, i disperdimenti termici sensibili per la presenza di luci si calcolano:

$$Q_{SENS,luci} = \sum_{i=1}^n S_i q_{s,luci} = 177,4 m^2 * 10 \frac{W}{m^2} = \mathbf{1774 W}$$

È necessario inoltre calcolare il calore latente da abbattere dovuto alla presenza di persone:

$$Q_{LAT,pers} = \sum_{i=1}^n n_{pers,i} q_{L,pers} = 16 * 85 \frac{W}{pers} = \mathbf{1360 W}.$$

I calcoli sono stati svolti suddivisi per ogni singolo locale, in modo da poter così dimensionare poi i terminali dei diversi impianti.

5.3.4.3.2 Potenza dei generatori

La potenza totale richiesta per la generazione di calore è data dalla somma dei contributi dei disperdimenti calcolati e della potenza necessaria alla produzione di acqua calda sanitaria, che risulta pari a 1700 W, moltiplicata per un fattore correttivo di maggiorazione, a favore di sicurezza, di 1,10. La potenza termica totale risulta:

$$W_{Termica,tot} = (3810 + 1835 + 218,3 + 1700) W * 1,1 = 8300 W = \mathbf{8,3 kW}$$

La potenza frigorifera totale richiesta è la somma degli apporti e disperdimenti calcolati, moltiplicata anch'essa per un fattore amplificativo di 1,10. Tale potenza risulta:

$$W_{Frigorifera,tot} = (1109 + 228 + 2635,4 + 1040 + 1774 + 1360) W * 1,1 = 8762 W = \mathbf{8,76 kW}.$$

In base ai valori trovati, è stato possibile dimensionare e scegliere i generatori idonei al soddisfacimento delle potenze richieste. Le caratteristiche della pompa di calore aria/acqua idonea sono riassunte in Tabella 17. È stata scelta una pompa di calore

VISSMANN modello Vitocal 200-S. I calcoli sopra riportati sono riassuntivi di una computazione svolta singolarmente per ogni locale, grazie alla quale è stato possibile dimensionare i terminali degli impianti; i pannelli radianti in base alla richiesta energetica invernale e, in parte, estiva, mentre i ventilconvettori in base alla richiesta per la climatizzazione estiva. La Figura 68 mostra lo schema funzionale di uno dei due appartamenti (appartamento A); quello dell'appartamento B risulta del tutto simile in quanto la distribuzione interna e le superfici occupate sono molto simili.

Generatore per la produzione acqua calda e refrigerata		
Tipologia:	Pompa di calore aria/acqua costituita da un' unità esterna e una interna a parete.	
Potenza in riscaldamento	8,3 kW.	Alle condizioni di: $T_{aria,esterna} = +7^{\circ}\text{C}$; $T_{mand} = +35^{\circ}\text{C}$; $T_{rit} = +30^{\circ}\text{C}$
COP	4,28	
Potenza di raffrescamento	8,8 kW.	$T_{aria,esterna} = +35^{\circ}\text{C}$; $T_{mand} = +7^{\circ}\text{C}$; $T_{rit} = +12^{\circ}\text{C}$
EER	3.35	$T_{aria,esterna} = +32^{\circ}\text{C}$; $T_{mand} = +7^{\circ}\text{C}$; $T_{rit} = +12^{\circ}\text{C}$
Unità esterna	Batteria alettata; 1 ventilatore assiale a velocità variabile.	
Unità interna	Installazione murale; completa di pompa di circolazione, scambiatore elettrico a 3 stadi, valvola a 3 vie per ACS.	

Tabella 17: Caratteristiche principali del generatore.

5.3.4.3.3 Impianto Fotovoltaico

A servizio degli appartamenti viene installato inoltre un impianto fotovoltaico dalla potenza di 3,5 kWp, tramite l'installazione di 14 pannelli esposti a Sud e inclinati di 10°. Le caratteristiche dei pannelli *Sharp ND-R250A5* utilizzati sono riassunte in Tabella 18.

Dati elettrici (STC)		ND-R250A5	Dati di base modulo		
Potenza di picco	P_{MAX}	250 Wp	Altezza	1652	mm
Tensione a potenza massima	V_{MPP}	30,9 V	Larghezza	994	mm
Corrente a potenza massima	I_{MPP}	8,1 A	Spessore	46	mm
Tensione a circuito aperto	V_{OC}	37,6 V	Peso	19	Kg
Corrente di corto circuito	I_{SC}	8,68 A	Materiale cella	Si-poli	
Rendimento	η	15,2 %	Dimensioni cella	156,5 x 156,5	mm
Dati elettrici (NOCT)			Numero celle	60	
Potenza di picco	P_{MAX}	180 W	Copertura frontale	Vetro solare (VST)	
Tensione a potenza massima	V_{MPP}	27,7 V	Materiale di cornice	Lega di Al	
Tensione a circuito chiuso	V_{OC}	36,7 V			
Corrente di corto circuito	I_{SC}	7 A			
Normal Operating Cell Temperature	NOCT	47,5 °C			

Tabella 18: Caratteristiche dei pannelli fotovoltaici Sharp ND-R250A5.

Per stimare la quantità di energia elettrica prodotta dall'impianto si è utilizzato l'ausilio del portale online di calcolo PVGIS⁵⁷, da cui si sono ricavati i valori della produzione media giornaliera di energia elettrica dei sistemi (E_d), la produzione media mensile (E_m), entrambe in kWh, la radiazione solare media giornaliera per metro quadrato di modulo fotovoltaico (H_d) e la radiazione totale media per metro quadrato (H_m), entrambe in kWh/m² (Figura 67).

L'energia elettrica complessiva prodotta dall'impianto è:

$$W_{EL,tot} = 4290 \frac{kWh}{anno}$$

Fixed system: inclination=10 deg., orientation=0 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	4,51	140	1,52	47,2
Feb	8,17	229	2,75	76,9
Mar	12,40	385	4,30	133
Apr	14,30	429	5,08	152
May	17,00	526	6,19	192
Jun	18,40	551	6,84	205
Jul	19,40	601	7,28	226
Aug	16,50	511	6,18	192
Sep	13,10	394	4,78	143
Oct	8,19	254	2,89	89,6
Nov	4,95	149	1,71	51,3
Dec	4,02	125	1,37	42,4
Year	11,80	358	4,25	129
Total for year		4290		1550

Figura 67: Energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico installato. [Fonte: PVGIS]

⁵⁷ PVGIS, acronimo di Photovoltaic Geographical Information System, è una mappa interattiva che contiene l'inventario della radiazione solare incidente nei paesi d'Europa, Africa e Asia sud occidentale e permette di calcolare la produttività degli impianti fotovoltaici installati in queste località.

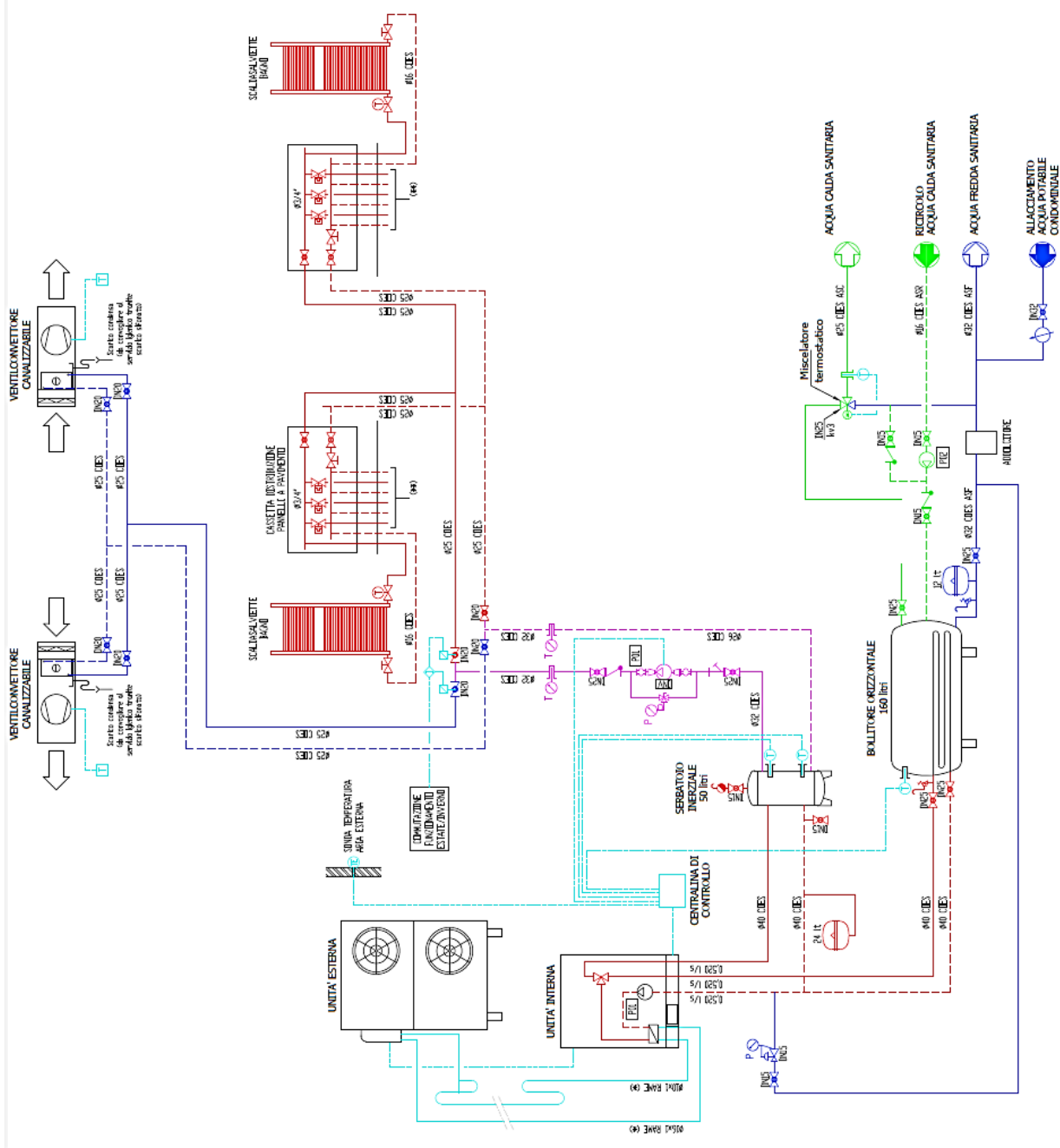


Figura 68: Schema funzionale dell'impianto di climatizzazione estiva e invernale dell'alloggio A.

5.3.4.4 Fabbisogno energetico

Il recupero del sottotetto rientra nella categoria di interventi di ristrutturazione rilevante, pertanto è necessario conoscerne il fabbisogno energetico per poter verificare la rispondenza ai limiti energetici di legge.

5.3.4.4.1 Fabbisogno invernale

Per eseguire il calcolo è stato usato il software CENED+. I dati utilizzati sono riassunti nella tabella seguente:

Località	Milano
Zona climatica	E
Gradi Giorno	2404
Giorni di riscaldamento	183
Superficie utile	169,9 m ²
Superficie disperdente	540,4 m ²
Volume netto	417,5 m ³

Dal supporto del programma risulta che il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento degli appartamenti è 23,64 kWh/m²anno che corrisponde alla classe energetica A.

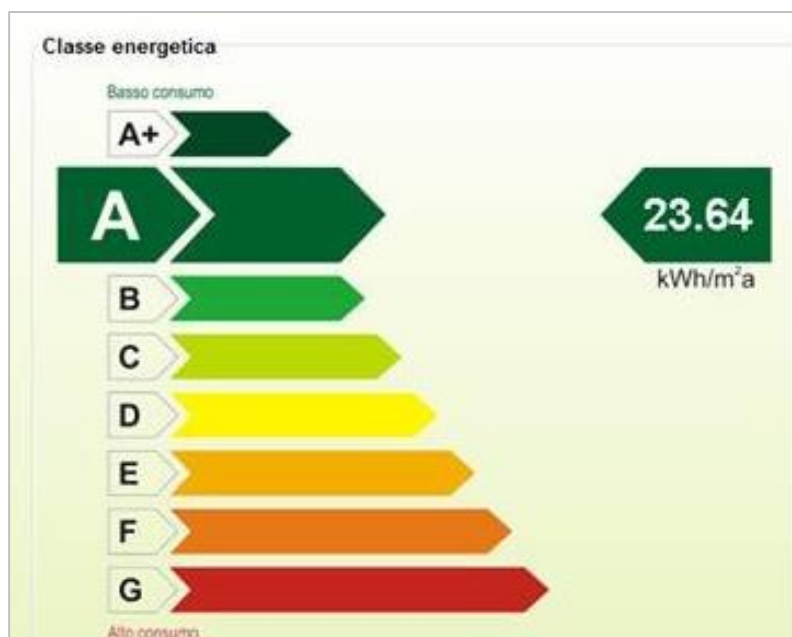


Figura 69: Calcolo del fabbisogno energetico per il riscaldamento del sottotetto, in kWh/m²anno.

[Fonte: Software Cened+]

È necessario verificare che il fabbisogno energetico per il riscaldamento dei locali rispetti il valore limite; si è calcolato il rapporto superfici disperdenti/volume riscaldato del sottotetto, con:

$$S = 540,4 \text{ m}^2$$

$$V = 417,5 \text{ m}^3$$

$$S/V = 1,29.$$

Poiché i Gradi Giorno della località di Milano sono 2404, è stato necessario effettuare un'interpolazione lineare dei valori forniti dalla normativa (cfr. Figura 54) per trovare il valore di EP_h limite da soddisfare. Le quantità fornite dalla Tabella sono state ridotte del 30% nel calcolo, così da rispettare i requisiti normativi. Utilizzando i seguenti dati, si è ottenuto il valore limite e la verifica:

Dati	Norma	Ridotto del 30%	Udm
$EP_{h,lim1}$	88	61,6	kWh/m ² anno
$EP_{h,lim2}$	106	81,2	
X_1	2101		GG
X_2	3000		GG
$X_{sottotetto}$	2404		GG

$$EP_{H,lim,sottotetto} = \frac{X_2 - X_{sott.}}{X_2 - X_1} * EP_{H,lim.1} + \frac{X_{sott.} - X_1}{X_2 - X_1} * EP_{H,lim.2} = 68,57 \frac{kWh}{m^2 anno} > 23,64 \frac{kWh}{m^2 anno}.$$

5.3.4.4.2 Fabbisogno estivo

Tramite il software Cened+ è stato inoltre possibile trovare il fabbisogno estivo del sottotetto: il fabbisogno di energia frigorifera è quindi 28,78 kWh/m²anno.

5.3.5 Utilizzo delle fonti rinnovabili e considerazioni finali

La restaurazione del sottotetto ha raggiunto risultati energetici soddisfacenti tenendo conto dei numerosi vincoli e prescrizioni dettati dagli strumenti urbanistici e legislativi per il raggiungimento degli obiettivi comunitari di riferimento. Nel caso in esame, la relativa libertà di intervenire sull'involucro e sulle pavimentazioni ha contribuito al soddisfacimento dei requisiti energetici, permettendo l'installazione di un impianto di riscaldamento a pannelli radianti, che ben si accoppia con la soluzione di generazione tramite pompa di calore, e di un impianto di climatizzazione a ventilconvettori.

Le percentuali di fonti rinnovabili da utilizzare risultavano elevate in riferimento alla potenza totale, poiché riguardavano il 50% dell'acqua calda sanitaria e il 20% della somma dei consumi di acqua calda sanitaria, riscaldamento e climatizzazione estiva. L'installazione di pannelli solari termici sarebbe risultata un problema a causa della conservazione dell'omogeneità visiva della copertura con gli edifici circostanti e a causa dello spazio piuttosto limitato. Grazie all'utilizzo della pompa di calore aria/acqua, composta da un'unità esterna dalle dimensioni piuttosto ridotte, posta in copertura ma non visibile dalla strada, è stato possibile coprire i consumi totali con energia rinnovabile aerotermica. In Tabella 19 è riportata la verifica delle prestazioni della pompa di calore, mediante il calcolo del COP, corretto in funzione della temperatura esterna dell'aria, e la quota di energia rinnovabile utilizzata dalla pompa, pari a quasi l'80% del totale. La frazione di energia rinnovabile utilizzata è calcolata secondo l'espressione (inversa) fornita dal D. Lgs. 28/2011:

$$\frac{E_{RES}}{Q_{usable}} = \left(1 - \frac{1}{SPF}\right)$$

In cui Q_{usable} è il calore prodotto dalla pompa di calore, E_{res} la quota di energia rinnovabile sfruttata dalla pompa e SPF il fattore di rendimento medio stagionale.

Mese	Giorni mese	Temp. aria esterna [°C]	Temp. acqua impianto [°C]	COP (SPF) corretto in funzione della T_{ext}	Frazione di energia rinnovabile utilizzata E_{RES}/Q_{USABLE}
Gen	31	1,7	35,0	3,58	0,721
Feb	28	4,2	35,0	3,87	0,742
Mar	31	9,2	35,0	4,41	0,773
Apr	30	14,0	35,0	4,88	0,795
Mag	31	17,9	35,0	5,22	0,808
Giu	30	22,5	35,0	5,59	0,821
Lug	31	25,1	35,0	5,78	0,827
Ago	31	24,1	35,0	5,71	0,825
Set	30	20,4	35,0	5,42	0,816
Ott	31	14,0	35,0	4,88	0,795
Nov	30	7,9	35,0	4,28	0,766
Dic	31	3,1	35,0	3,75	0,733
Valore medio annuale				4,79	0,79

Tabella 19: Calcolo della quota di energia rinnovabile utilizzata all'anno.

Questo è stato possibile poiché l'impianto in questione, termoautonomo, richiede una quantità di energia modesta e le pompe di calore scelte hanno delle ottime prestazioni.

In modo da valutare le prestazioni dell'impianto fotovoltaico, è stato stimato il consumo di energia elettrica dei due appartamenti, in base alle apparecchiature utilizzate e al loro numero di ore di funzionamento, ipotizzando la presenza, in ogni appartamento, di 12 lampadine, una lavastoviglie, una lavatrice, un microonde e due televisioni. Si è stimato un consumo di 2169 kWh/anno per ogni appartamento, per cui con il solo utilizzo di una superficie di 22,5 metri quadrati di pannelli fotovoltaici, è stato possibile coprire quasi l'intero fabbisogno elettrico degli appartamenti, se si esclude il funzionamento dei ventilconvettori, poiché l'impianto fotovoltaico installato produce circa 4290 kWh/anno (che corrisponde esattamente al 98,6% del fabbisogno elettrico complessivo degli appartamenti).

La soluzione proposta mostra come sia possibile, anche in un fabbricato situato nel centro storico della città, caratterizzato da aspetti intrinseci unici e caratteristici, simili a quelli degli altri immobili limitrofi, facente quindi parte di un tutt'uno con il paesaggio e l'ambiente circostante, ottenere ottimi risultati in termini di efficienza energetica,

sfruttando le fonti pulite, senza deturpare l'aspetto esteriore. Il fatto che gli appartamenti rientrino nella Classe energetica A, inoltre, non solo permette il soddisfacimento delle prescrizioni normative, ma garantisce un impatto ambientale ottimale del sistema sottotetto, unito al risparmio economico delle utenze per soddisfare le esigenze di riscaldamento, illuminazione e raffrescamento degli appartamenti.

L'intervento rappresenta un classico esempio di ristrutturazione conservativa⁵⁸ in cui l'ambiente interno viene quasi completamente stravolto, ri-ideato e pensato per una destinazione d'uso e una funzione nuova rispetto a quelle per cui era stato costruito originariamente, senza che il guscio esterno e l'impatto visivo ne siano modificati in maniera sostanziale.

Quello affrontato rappresenta un esempio attuale e significativo della realtà degli interventi edilizi del nostro tempo.

Le soluzioni impiantistiche pensate sono state ottimali dal punto di vista realizzativo, tant'è che la difficoltà più grande nella realizzazione di servizi tecnologici e chiusure è stata intervenire confrontandosi con gli appartamenti sottostanti: tenere conto degli elementi di scarico fumi e delle altre componenti impiantistiche preesistenti, nonché interfacciarsi con gli elementi tecnici e le chiusure in muratura piena esistenti e conservate ai piani inferiori.

⁵⁸ La parola "conservativo" non è utilizzata in questo caso nel senso regolamentare e legislativo del termine, bensì secondo il suo significato letterale.

5.4 Secondo caso di studio: sostituzione edilizia e ristrutturazione rilevante di un complesso edilizio

5.4.1 Introduzione e stato di fatto

Il gruppo di fabbricati oggetto di studio è situato in Viale Montello, a Milano, nella zona Nord del centro storico della città (Figura 70).

Il complesso si compone di sei edifici separati, di cui quattro costruiti attorno ad una corte romboidali, mentre gli altri due separati e disposti come in Figura 71, e confina a est con la strada di Viale Montello, a Sud con Via Giorgione, mentre a Ovest e a Nord con altre proprietà.

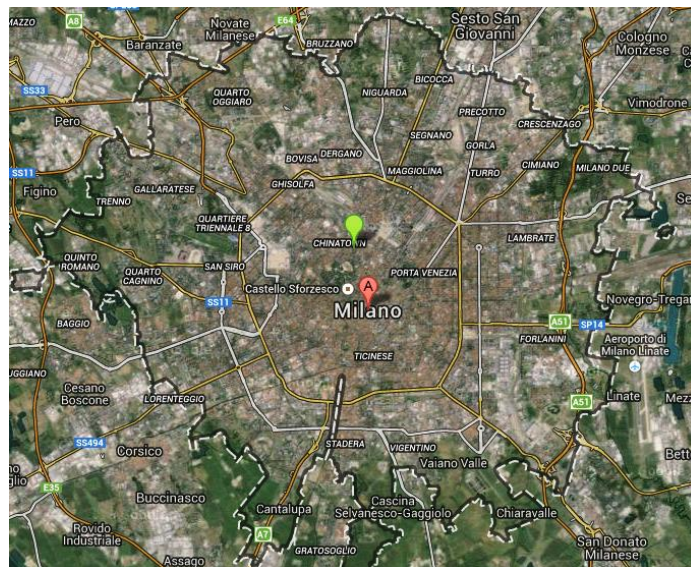


Figura 70: Milano.

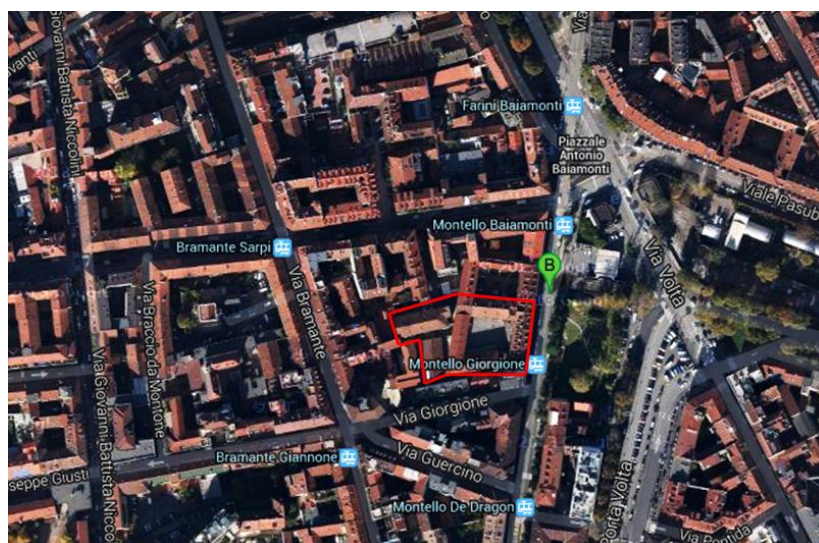


Figura 71: Inquadramento dei sei fabbricati. [Fonte: GoogleMaps]

Il gruppo si compone di quattro corpi adiacenti, evidenziati in blu in Figura 72 e due corpi separati, visibili in giallo; gli interventi effettuati si diversificano per tipologia, in quanto per i primi quattro si affronta una ristrutturazione rilevante, recuperando e modificando l'esistente, mentre gli altri due incorrono in una sostituzione edilizia, perciò demoliti e rifatti.



Figura 72: Identificazione dei fabbricati: si evidenziano in blu quelli ristrutturati, in giallo quelli sottoposti a sostituzione edilizia. Il pallino verde indica Viale Montello.

I corpi hanno caratteristiche differenti a livello di dimensioni, numero di piani e criticità; si procede quindi con analizzare i due interventi in modo separato, studiando parallelamente i vincoli normativi, lo stato di fatto, la descrizione degli interventi e le soluzioni scelte per rispondere al meglio al tema dell'efficienza energetica sia nel caso della ristrutturazione che in quello della realizzazione di nuovi corpi di fabbrica. In Figura 73 è riportato l'inquadramento dei diversi fabbricati, da qui in poi denominati A, B, C, D, E, F.

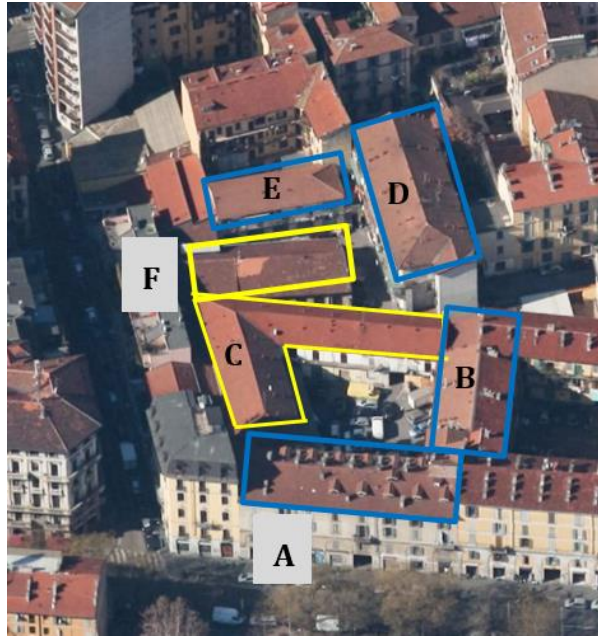


Figura 73: Individuazione dei blocchi A, B, C, D, E, F. Vista da Viale Montello. [Fonte: Google Maps]

In riguardo allo stato di fatto prima dell'inizio dei lavori, i sei blocchi presentano come destinazione d'uso quella residenziale, con predisposizione di attività commerciali e laboratori al piano terra. A livello di tecniche costruttive, sono costituiti da pareti perimetrali in muratura piena rastremata, dallo spessore che varia dai 60 ai 40 cm a seconda dei piani. La distribuzione interna esistente è mostrata nel paragrafo 5.4.3.1 in comparazione con le modifiche di costruzione e demolizione effettuate.

5.4.2 Vincoli normativi

Il complesso di edifici si trova, come il sottotetto analizzato nel paragrafo precedente, all'interno del Nucleo di Antica Formazione della città; tuttavia, secondo quanto indicato dalle tavole del Piano delle Regole, è all'interno di una zona che il precedente PRG definiva zona di recupero, e che ricade sotto la regolamentazione di norme transitorie.

L'intervento prevede il recupero di sottotetti a fine abitativo, per cui sono valide tutte le prescrizioni analizzate precedentemente (cfr. §5.3.2.2), ad eccezione di quelle specifiche per i sottotetti appartenenti al N.A.F., per il motivo appena spiegato. Tutti i fabbricati sono soggetti agli stessi vincoli urbanistici, che sono quindi analizzati una volta sola nel prossimo paragrafo.

5.4.2.1 Urbanistici ed edilizi

5.4.2.1.1 Blocchi A, B, C, D, E, F

La zona in cui si trova il complesso edilizio è all'interno del Nucleo di Antica Formazione della città ma si distingue da questo poiché è definita dallo strumento urbanistico di riferimento, il Piano delle Regole, una zona di recupero. In Figura 74 è riportato uno stralcio della tavola *Tav. R.01 – Ambiti territoriali omogenei* - del Piano delle Regole in cui sono indicate le zone territoriali appartenenti alle stesse categorie. Si può individuare che la zona in cui ricadono gli edifici oggetto dell'intervento è la R.1.5 (in basso a sinistra in Figura).



Figura 74: Stralcio della Tavola R.01 del Piano delle Regole. Il fumetto rosso indica la posizione dei fabbricati, la freccia rossa in legenda il tipo di zona cui fanno parte. [Fonte: *pgtmilano.mi.it*]

La zona era stata identificata come “di recupero” già dal precedente Piano Regolatore Generale⁵⁹ comunale: l’area “Sarpi-Canonica”⁶⁰ è una vasta porzione urbana situata tra Parco Sempione e in Cimitero Monumentale, interessata dalla presenza di numerose zone

⁵⁹ Il P.R.G., Piano Regolatore Generale, è lo strumento urbanistico che ha regolato l’attività edificatoria del Comune di Milano dal 1980 fino all’avvenuta approvazione della Legge Regionale della Lombardia n. 12 dell’11 marzo 2005. Il P.R.G. è stato sostituito dal Piano del Governo del Territorio, P.G.T., a tutti gli effetti dal 21 novembre 2012, tramite la delibera n. 16 nella seduta del 22 maggio 2012 del Consiglio Comunale (cfr. § 5.2.2).

⁶⁰ Ex zona B2.62 del Piano Regolatore Generale.

di recupero contigue. La suddetta zona, ad oggi delimitata dagli stessi confini, ha margini molto irregolari, come visibile in Figura 75, delimitati da Via Londonio, via Melzi D'Eril e viale Elvezia verso sud e dal Piazzale del Cimitero Monumentale, Via Farini e proprio Viale Montello a nord e verso est.



Figura 75: Zona di Recupero R 1.5 ex B2 6.2 "Serpi-Canonica". [Fonte: www.comune.milano.it]

La pratica relativa a questo intervento ricade all'interno degli ambiti soggetti alle norme transitorie del P.G.T. (art.31 e 34 delle Norme di Attuazione del Piano delle Regole), per cui continuano ad applicarsi le disposizioni della relativa variante di completamento (Variante 5 gruppo III), contenute nell'Allegato 5 del Piano delle Regole. Per le Zone di Recupero "B"⁶¹, le disposizioni normative prevedono che per i lavori di edificazione svolti al loro interno valga il principio di finalizzare il completamento e la riorganizzazione dei tessuti edilizi e urbanistici al migliore utilizzo delle strutture edilizie esistenti, nel rispetto dei valori storico-ambientali, architettonici e testimoniali presenti. In Figura 76 è riportata la Variante in questione, tramite uno stralcio del Progetto-guida⁶², che individua il complesso di Viale Montello come un insieme di immobili con elementi di valore ambientale. Valgono quindi le seguenti prescrizioni e indicazioni (Allegato 5 del Piano delle Regole, variante dell'articolo 19-bis, comma 5.5):

⁶¹ L'Allegato 5 del Piano delle Regole contiene anche le Norme tecniche di Attuazione relative alle zone di recupero "A".

⁶² Il Progetto-guida è uno strumento di supporto del precedente P.R.G. composto da elaborati grafici che indicano le categorie cui appartengono gli immobili e gli interventi cui possono essere sottoposti. Le zone di recupero A e B sono soggette a norme transitorie, perciò in tali aree sono ancora valide le prescrizioni contenute nel P.R.G. Al fine di comprendere al meglio i vincoli normativi cui sono sottoposti gli edifici caso di studio è necessario riferirsi alle tavole del Progetto-guida, cui l'Allegato 5 del Piano delle Regole vigente rimanda.

- Sono consentiti gli interventi di manutenzione ordinaria, straordinaria, restauro, risanamento conservativo, interventi di ristrutturazione edilizia senza demolizione e ricostruzione, anche con cambio d'uso;
- Gli interventi devono preservare e valorizzare gli aspetti caratteristici che costituiscono specifico valore in relazione al contesto ambientale in cui sono inseriti, come le caratteristiche compositive e materiche delle facciate e delle coperture, a livello di materiali, finiture e colori, in continuità con il contesto insediativo storico e la presenza di singoli elementi di valore storico come volte, capitelli, logge, affreschi o altro;
- Dove è ammessa la demolizione anche parziale (come nel caso in esame) degli edifici esistenti, la ricostruzione deve mantenersi entro il profilo preesistente, ovvero al contorno dell'edificio in tutte le sue parti, dalla quota di spiccato al colmo del tetto, in rispetto delle volumetrie esistenti, salvo diversamente indicato nel Regolamento Edilizio;
- Il recupero dei sottotetti a fini abitativi non deve portare a modifiche delle altezze di colmo, di imposta e delle linee di pendenza delle coperture a falde.

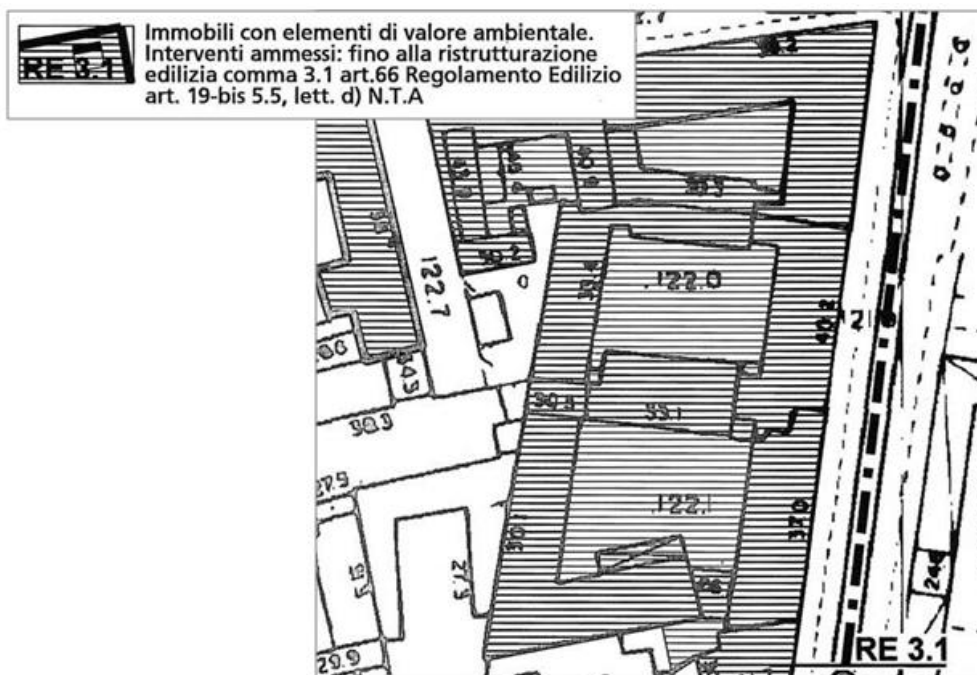


Figura 76: Stralcio Progetto-guida del P.G.T. relativo alla zona di recupero R 0.1.

[Fonte: Progetto-guida]

La tavola R. 04 del Piano delle Regole, relativa alle tipologie di intervento ammesse all'interno del N.A.F., ribadisce l'appartenenza degli immobili analizzati alla zona di Recupero B, mostrando come la regolamentazione relativa a tali aree sia complessa e

variegata, discostandosi dalle già di per sé restrittive indicazioni riguardanti il Nucleo di Antica Formazione (Figura 77).



Figura 77: Tipologie di intervento ammesse nel centro storico. Il complesso edilizio di Viale Montello ricade nell'area indicata in legenda come "Zona A di Recupero" e "Zona B di Recupero". In legenda, la sigla cd. B" indica il riferimento del P.R.G. [Fonte: Tavola R.04 Allegato 3 P.G.T.]

Nella zona di recupero in questione si applicano inoltre gli indici urbanistici riassunti in Tabella 20 seguente, come previsto dal Regolamento Edilizio e dal P.G.T..

Indice fondiario massimo (I. f.)	2 mc/mq
Rapporto di copertura massimo (R. c.)	60%
Altezza massima	16 metri o pari a esistente
Numero di piani abitabili massimo	5

Tabella 20: Indici urbanistici delle zone B.1. [Fonte: Norme Tecniche di Attuazione del P.G.T.]

L'indice fondiario massimo è il volume massimo edificabile per metri quadrati di superficie fondiaria, il rapporto di copertura è il rapporto massimo, in percentuale, tra la Superficie Coperta e la Superficie Fondiaria corrispondente.

Il Regolamento Edilizio di Milano, inoltre, stabilisce che la superficie filtrante non deve essere inferiore al 10% del lotto funzionale per quanto concerne gli ambiti di tessuto urbano consolidato; fuori da tali ambiti la prescrizione rimane valida se non precisato diversamente dagli strumenti urbanistici di dettaglio, come nel presente caso (articolo 78 comma 1). In aggiunta al valore minimo di superficie filtrante, negli interventi di nuova costruzione, la superficie minima di spazio aperto a verde non deve essere inferiore al 25% del totale.

5.4.2.2 Energetici

5.4.2.2.1 Blocchi A, B, D, E

Il riferimento principale è ancora una volta il regolamento edilizio di Milano, dal quale non si può prescindere nell'effettuare le modifiche agli edifici esistenti. Poiché si tratta di una ristrutturazione rilevante, i blocchi A, B, D ed E non sono soggetti a vincoli per quanto riguarda il fabbisogno annuo di energia primaria necessario alla climatizzazione invernale dell'edificio; in merito all'involucro, invece, l'articolo 131 del Regolamento, *Prestazioni dell'involucro opaco*, pone delle limitazioni per gli interventi di ristrutturazione edilizia che interessano in parte la superficie disperdente dell'edificio; nel caso di integrale rifacimento delle coperture esistenti si deve rispettare:

$$U_{opache,vert} < 0,85 * U_{limite} = 0,85 * 0,34 \frac{W}{m^2K} = 0,29 \frac{W}{m^2K}$$

$$U_{copertura} < 0,85 * U_{limite} = 0,85 * 0,30 \frac{W}{m^2K} = 0,26 \frac{W}{m^2K}$$

In modo analogo, il limite di trasmittanza termica media dei serramenti deve essere, secondo l'articolo 132:

$$U_{trasparenti} < 0,90 * U_{limite} = 0,90 * 2,20 \frac{W}{m^2K} = 1,98 \frac{W}{m^2K}$$

Poiché tutti gli interventi devono essere volti alla promozione della sostenibilità ambientale ed edilizia, attraverso l'uso di risorse rinnovabili e il contenimento dei carichi inquinanti dell'ambiente, con lo scopo, tuttavia, di migliorare il comfort degli spazi interni e l'uso degli spazi esterni agli edifici, il regolamento prevede che qualora si installassero impianti per il miglioramento della condizione estiva, questi non devono recare danno acustico né termico, né soprattutto essere visibili dal fronte stradale o affacciare su luogo pubblico (art. 135 comma 3).

A riguardo della prestazione estiva dell'involucro, l'articolo 135 stabilisce che le pareti opache con orientamento compreso in un intorno di 90° rispetto alla direzione sud, devono rispettare il valore minimo di sfasamento termico di 10 ore.

Nel rispetto degli obiettivi e della sostenibilità, nell'intervento è necessario includere degli impianti ad energia rinnovabile, in quantità delimitate dall'Allegato 3 del Dlgs. 28/2011 (art. 137 del regolamento edilizio), il quale prevede che almeno il 50% dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria e il 20% della somma dei consumi previsti per l'acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento deve essere coperto da energie non fossili.

5.4.2.2.2 Blocchi C e F

I fabbricati sono demoliti e rifatti, quindi sottoposti a un intervento di sostituzione edilizia, per la quale sono previste prescrizioni più restrittive in termini energetici, poiché è come se rientrassero nella tipologia di nuova costruzione: l'aspetto della sostenibilità è, giustamente, preponderante rispetto a quello della conservazione. L'articolo 130 del regolamento edilizio prevede delle limitazioni per quanto riguarda il fabbisogno energetico per la climatizzazione invernale: i fabbricati devono ricadere nella classe energetica A, perciò deve essere verificato il limite indicato nella Tabella A.4.1. del DGR. 8745, qui di seguito riportata (Figura 78). Per la zona climatica E, il fabbisogno di riscaldamento non deve superare i **29 kWh/m²anno**.

Classe	Edifici di classe E.1 esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme		
	Zona E	Zona F1	Zona F2
A+	$EP_H < 14$	$EP_H < 20$	$EP_H < 25$
A	$14 \leq EP_H < 29$	$20 \leq EP_H < 39$	$25 \leq EP_H < 49$
B	$29 \leq EP_H < 58$	$39 \leq EP_H < 78$	$49 \leq EP_H < 98$
C	$58 \leq EP_H < 87$	$78 \leq EP_H < 118$	$98 \leq EP_H < 148$
D	$87 \leq EP_H < 116$	$118 \leq EP_H < 157$	$148 \leq EP_H < 198$
E	$116 \leq EP_H < 145$	$157 \leq EP_H < 197$	$198 \leq EP_H < 248$
F	$145 \leq EP_H < 175$	$197 \leq EP_H < 236$	$248 \leq EP_H < 298$
G	$EP_H \geq 175$	$EP_H \geq 236$	$EP_H \geq 298$

Figura 78: Valori limite delle classi energetiche per la climatizzazione invernale per gli edifici di classe E1, a seconda della zona climatica. [Fonte: DGR. n. 8745- Tabella A.4.1.]

Il regolamento edilizio di Milano è molto severo a riguardo delle prescrizioni energetiche delle nuove costruzioni: oltre al limite del fabbisogno, impone il raggiungimento di alte prestazioni a livello di chiusure opache. La trasmittanza media delle strutture opache deve essere (art. 131 R.E.) almeno del 15% inferiore a quella dei limiti posti dalla Deliberazione della Giunta Regionale (8/8745, tabella A.2):

$$U_{opache} < 0,85 * U_{limite} = 0,85 * 0,34 \frac{W}{m^2K} = 0,29 \frac{W}{m^2K}$$

$$U_{copertura} < 0,85 * U_{limite} = 0,85 * 0,30 \frac{W}{m^2K} = 0,26 \frac{W}{m^2K}$$

Per le coperture, lo stesso articolo determina che è necessario realizzarle di tipo ventilato qualora quelle esistenti vengano rifatte integralmente; inoltre esse, insieme con le pareti opache con orientamento compreso in un intorno di 90° rispetto alla direzione sud, devono rispettare il valore minimo dello sfasamento, di dieci ore, e del fattore di attenuazione, al massimo 0,3, definiti dal regolamento (art. 135). A proposito della prestazione energetica estiva, in caso di interventi di sostituzione edilizia, il miglioramento del microclima deve

essere ottenuto anche attraverso dei provvedimenti relativi al miglioramento dell'area esterna, quali la predisposizione di un adeguato ombreggiamento con elementi vegetali o l'adozione di un sistema di pavimentazione ad elementi drenanti con vegetazione al loro interno. In ogni caso, tutte le apparecchiature o ausili impiantistici per la climatizzazione estiva non devono essere visibili dal fronte stradale o affacciare su un luogo pubblico.

Per il benessere invernale, invece, le prestazioni dei serramenti, comprese del telaio, sono anche in questo caso (art. 132):

$$U_{trasparenti} < 0,90 * U_{limite} = 0,90 * 2,20 \frac{W}{m^2K} = 1,98 \frac{W}{m^2K}$$

Per gli interventi di sostituzione edilizia, inoltre, in caso di fabbricati composti da più di quattro unità abitative, l'articolo 134 obbliga l'installazione di impianti di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria di tipo centralizzato.

L'utilizzo di fonti rinnovabili è ancora una volta obbligatorio nelle misure indicate dal Dlgs.28/2011, dovendo quindi coprire almeno il 50% del fabbisogno dell'acqua calda sanitaria da questo tipo di energie e il 20% della somma della richiesta proveniente da acqua calda sanitaria, riscaldamento e raffrescamento (art. 137).

In Tabella 21 si riassumono in forma schematica i vincoli urbanistici, edilizi ed energetici riferiti ai diversi fabbricati.

Vincoli	Corpo	Strumento legislativo di riferimento	Obblighi, requisiti e prescrizioni
Urbanistici/ Edilizi	A, B, C, D, E, F.	P.G.T.- Piano delle Regole: • Articolo 34 delle N.T.A . che rimanda a: Allegato 4, Allegato 5 e Tav. R.01 – <i>Ambiti territoriali omogenei</i> ; Allegato 3 e Tav. R. 03/R.04.	<ul style="list-style-type: none"> • Edifici appartenenti ad una Zona B di Recupero, zona R1. - Interventi ammessi: manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, ristrutturazione edilizia anche con cambio di uso; - E' necessario preservare e valorizzare gli aspetti caratteristici, compositivi e materici delle facciate e coperture, cromatici in continuità con il contesto insediativo storico; - Nel caso di demolizione, mantenere la sagoma, la quota e la volumetria esistente; - Il recupero di sottotetti a fini abitativi non deve modificare le altezze di colmo,

		<ul style="list-style-type: none"> • Norme Tecniche di Attuazione del P.G.T. <p>REGOLAMENTO EDILIZIO del comune di MILANO.</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Articolo 78, comma1.</i> • <i>Scheda Requisito 5 – Spazi verdi e superfici esterne.</i> 	<p>di imposta e le linee di pendenza delle coperture a falde.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gli indici urbanistici da rispettare sono: $I.f._{max} = 2mc/mq$; $R.c._{max} = 60\%$; $altezza_{max} = 16$ metri o esistente,; n°_{max} piani abitabili = 5. • La superficie filtrante deve essere almeno pari al 10% del lotto funzionale. • La superficie minima di spazio aperto a verde, in aggiunta a quella filtrante, non deve essere inferiore al 25% del totale.
Energetici	<p>A, B, D, E, C, F.</p> <p>C, F</p>	<p>REGOLAMENTO EDILIZIO di Milano:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Articolo 131, in riferimento alla Scheda requisito 8, Livello 3_OB, che rimanda alla Tabella A.2. del D.G.R. n. 8745. • Articolo 132, in riferimento alla Scheda requisito 8, Livello 1_OB, che rimanda alla Tabella A.2. del D.G.R. n. 8745. • Articolo 130, Scheda requisito 1 Livello 2_OB, che rimanda alle Tabelle A.4.1. del D.G.R. n. 8745 del 22 dicembre 2008. • Articolo 130 • Articolo 130 	<ul style="list-style-type: none"> • $U_{opache} < 85\% U_{limite} = 0,29 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U_{copertura} < 85\% U_{limite} = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$. • $U_{trasparenti} < 90\% U_{limite} = 1,98 \text{ W/m}^2\text{K}$; • Limite del fabbisogno invernale: $EP_h < 29 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$ • Prestazione estiva: le pareti con orientamento $\pm 90^\circ$ rispetto alla direzione sud devono avere uno sfasamento dell' oscillazione termica $S > 10 \text{ h}$ e un fattore di attenuazione $fa > 0,3$.

	A, B, D, E, C, F.	<p>RINNOVABILI: REGOLAMENTO EDILIZIO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Articolo 137, che rimanda al Dlgs. 28/2011 Allegato 3. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produzione di calore: per sostituzione edilizia con più di 4 unità abitative è obbligatorio l'impiego di impianti di riscaldamento e ACS centralizzati. • Produzione di energia da fonti rinnovabili deve coprire il 50% dei consumi per ACS e il 20% della somma dei consumi di ACS, riscaldamento e raffrescamento.
--	----------------------	---	--

Tabella 21: Riassunto dei vincoli normativi riguardanti il secondo caso di studio.

5.4.3 Descrizione dell'intervento globale

L'intervento si propone di ristrutturare i blocchi maggiori in termini di dimensioni, A, B, D, E, migliorandone le caratteristiche dell'involucro e rifacendone gli impianti, nel rispetto della sostenibilità e del risparmio energetico. Tutte le scelte progettuali e tecnologiche sono volte alla conservazione e valorizzazione degli aspetti caratteristici che costituiscono specifico valore in relazione al contesto ambientale in cui sono inseriti, nel rispetto dei materiali, delle finiture e dei colori con cui sono realizzati. Ciò rispecchia anche i vincoli cui sono sottoposti, quali la soprintendenza e gli altri specificati al paragrafo 5.4.2.



Figura 79: Vista di viale Montello. Il secondo edificio da sinistra rappresenta uno dei blocchi oggetto di intervento (Blocco A). [Fonte: Google Maps]

I blocchi C e F sono invece demoliti e rifatti interamente, sempre nel rispetto della sostenibilità e dell'aspetto estetico che caratterizza lo stesso complesso di fabbricati su cui si interviene. I nuovi fabbricati sono stati realizzati con l'intento di risultare congruenti alle caratteristiche comuni del contesto insediativo storico della zona.

Le singole scelte e caratteristiche costruttive sono descritte separatamente nei paragrafi seguenti. A livello impiantistico, le soluzioni adottate sono simili, poiché entrambi gli interventi ricadono sotto le stesse prescrizioni in materia di sfruttamento di energie rinnovabili e poiché lo scopo comune degli interventi è quello di garantire ottime prestazioni in termini di comfort ed efficienza senza trascurare l'impatto ambientale e il rispetto dell'ambiente.

Il progetto generale si propone di realizzare due cortili interni, uno più grande, già esistente, l'altro, di dimensioni più ridotte, ricavato dallo spazio occupato dal corpo demolito, attorno cui si dispongono i sei blocchi, nella peculiare disposizione a corte tipica dell'edilizia milanese (Figura 80).

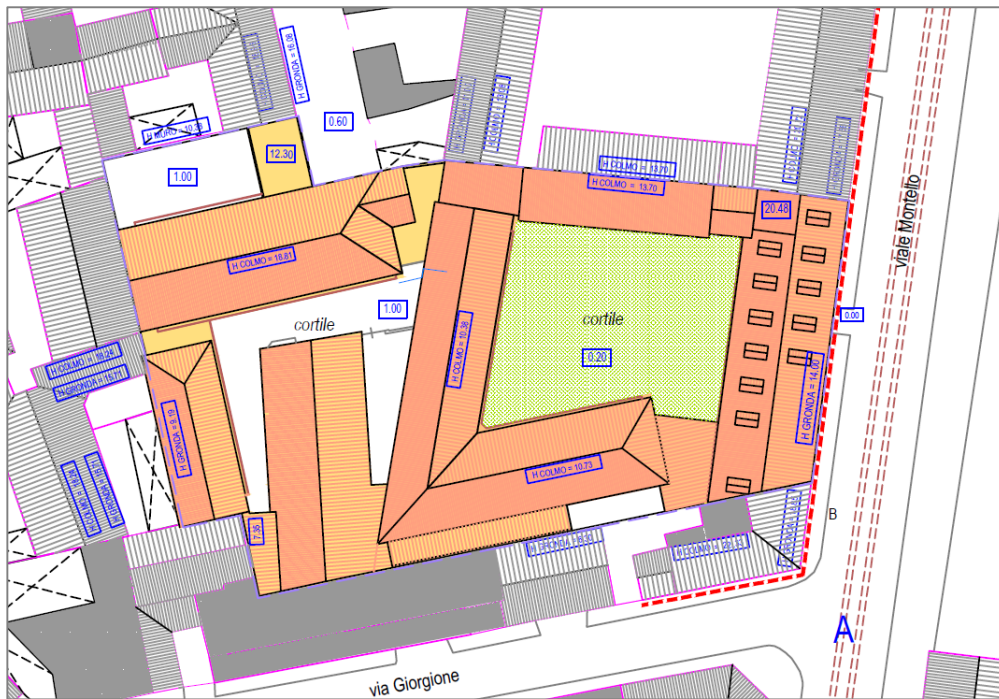


Figura 80: Disposizione dei blocchi attorno ai due cortili.

5.4.4 Ristrutturazione edilizia dei blocchi A, B, D, E

I quattro immobili oggetto della ristrutturazione sono caratterizzati da singolarità e peculiarità uniche per quanto riguarda gli aspetti costruttivi, dimensionali ed estetici. Con l'intervento si è voluto procedere ad un risanamento conservativo di questi edifici poiché in grado di essere strutturalmente mantenuti. Per garantire un migliore comportamento sismico e strutturale, nonché favorire la distribuzione interna e rispettare le norme sulle barriere architettoniche, si sono realizzati anche due nuovi corpi ascensori e scale, all'interno degli edifici, così da non occupare i cortili. Per tutti i corpi è previsto il recupero delle pareti perimetrali esterne, apportando delle modifiche alle stratigrafie esistenti. Le chiusure orizzontali andranno rifatte integralmente, mentre quelle verticali interne andranno in parte mantenute e in parte rifatte, in base alle esigenze di distribuzione interna e tecnica degli impianti previste dal progetto.

5.4.4.1 Aspetti estetici e funzionali

Il blocco A, che dà su Viale Montello, è quello di ingresso, da cui si accede poi a tutti gli altri fabbricati del complesso. Nel progetto si prevede una sopraelevazione del fabbricato di un piano, in modo tale da rendere allineati i fili di gronda dell'edificio adiacente a Nord. In questo modo si garantisce una maggiore uniformità dell'aspetto esteriore che dà sul Viale, nel rispetto delle caratteristiche costruttive del costruito adiacente.

Il blocco A diventa quindi un immobile di cinque piani, che si estende per una superficie di 323 metri quadrati, elevandosi in altezza di 20,72 metri. Nel rispetto delle singolarità estetiche e delle caratteristiche del contesto insediativo di riferimento, l'intervento prevede il ripristino dell'intonaco esterno esistente, civile a base di calce, con verniciatura al quarzo giallo, così da ottenere il colore tipico del "giallo-Milano", in accordo con le caratteristiche estetiche dei fabbricati contigui al corpo A, così da ottenere una facciata omogenea rispetto alla vista esterna da Viale Montello (Figura 79).

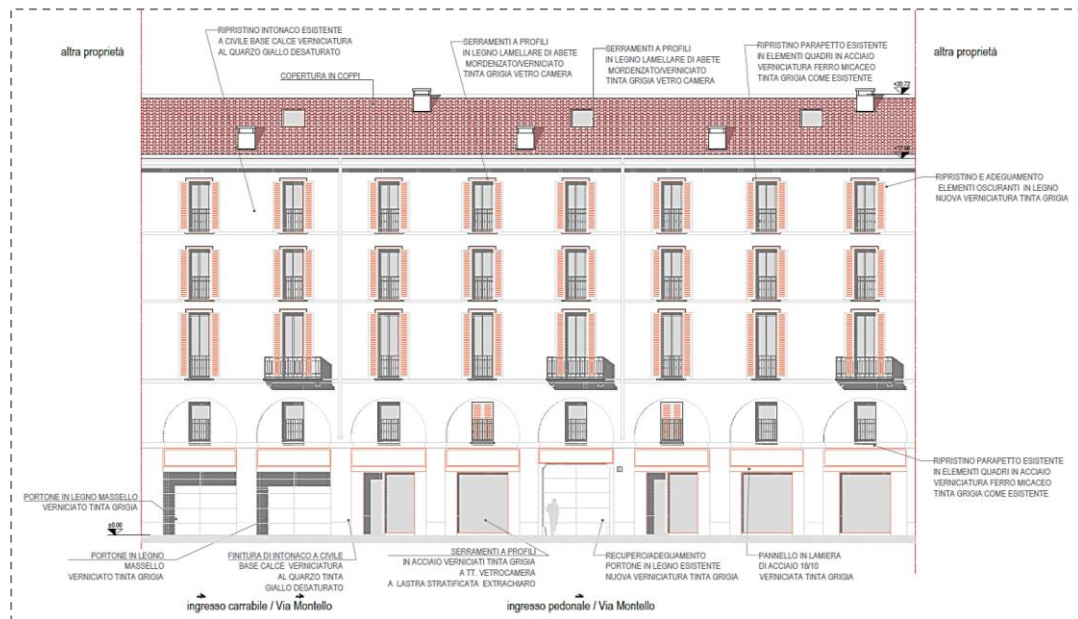


Figura 81: Prospetto del corpo A che dà su Viale Montello con indicazione delle modifiche.

Per quanto riguarda i serramenti, inoltre, il progetto prevede di ripristinare il parapetto esistente posto a filo delle finestre che danno sul Viale, che verrà realizzato con elementi quadri in acciaio, verniciati dello stesso colore di quello esistente, ovvero grigio; anche gli elementi oscuranti in legno sono ripristinati e adeguati agli altri elementi, tramite una verniciatura, anch'essa in tinta grigia. Per il portone di ingresso principale esistente, in legno, è previsto lo stesso trattamento di recupero; gli altri portoni del piano terra, che sono modificati, verranno realizzati in legno massello verniciato di grigio, in modo tale da uniformare gli elementi lignei degli infissi della facciata. Sopra i nuovi portoni, che corrispondono a degli ingressi carrabili, si installano delle lamiere di acciaio, rettangolari e tutte uguali in modulo.

Per conferire la massima uniformità all'aspetto della facciata, tutti gli infissi nuovi installati, compresi i lucernari in copertura, sono realizzati in legno lamellare e verniciati di tinta grigia.

La finitura della copertura è in coppi, così come le falde dei fabbricati circostanti.

In Figura 81 sono riassunti tutti gli aspetti di recupero e modifica relativi al prospetto del fabbricato A; in Figura 82 si può osservare un render della facciata dopo i lavori di risanamento, dal quale si comprende come le scelte siano finalizzate a mantenere elevato il livello di coerenza paesistica e tipologica con il contesto urbano.



Figura 82: Render della facciata del corpo A su Viale Montello in seguito agli interventi di recupero e ripristino previsti e all'innalzamento dell'ultimo piano, con allineamento dei fili di gronda dell'edificio con quello a Nord (destra).

Gli stessi accorgimenti sono stati intrapresi nel ristrutturare e modificare gli elementi delle facciate degli altri tre blocchi, B, D, E, che danno sui cortili: si sono ripristinati anche in questo caso i parapetti esistenti in elementi di acciaio; tutti i serramenti, compresi i lucernari, sono stati muniti di profili in legno lamellare verniciato di tinta grigia; la copertura è realizzata in coppi; gli elementi nuovi inseriti, come le mensole in granito e la pavimentazione esterna in lastre di beola levigata, sono inseriti in maniera ottimale nel contesto decorativo delle facciate.

Le figure seguenti riassumono tutti gli interventi di ripristino, recupero e inserimento sulle facciate del blocco E (Figura 83), composto da quattro piani fuori terra più il sottotetto, che risultano identici a quelli previsti per il blocco E, di tre piani, entrambi rivolti verso il cortile 2, e per il blocco B, anch'esso composto da tre piani, affacciato sul cortile interno più esteso.

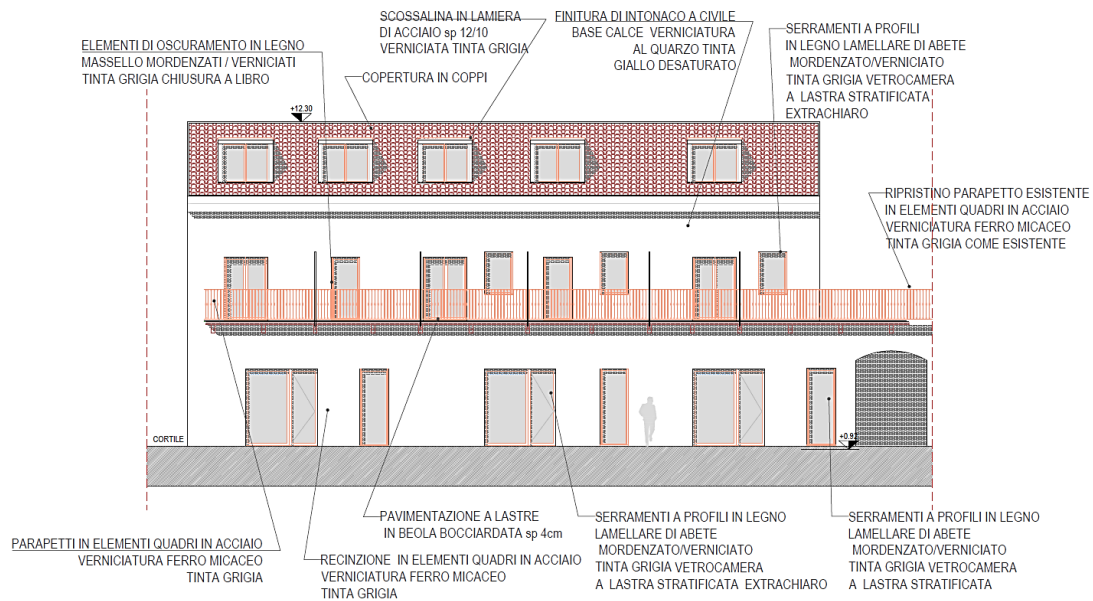


Figura 83; Prospetto del corpo E con indicazione delle misure di conservazione intraprese.

Per realizzare la nuova distribuzione interna, sono state progettate numerose demolizioni e costruzioni, cercando di limitarne il più possibile il numero per quanto riguarda i quattro blocchi ristrutturati. Le figure seguenti mostrano tali modifiche relative ai corpi A, B, D, E ai diversi piani, in cui le demolizioni sono disegnate in giallo mentre le nuove costruzioni in rosso (Figure 84-90).

Il progetto del corpo A prevede la realizzazione di 17 appartamenti, su cinque piani, compreso il sottotetto, per una SLP totale di 323 metri quadrati per ogni piano.

Il blocco B è caratterizzato da un piano terra a destinazione commerciale e due piani adibiti a residenze, più un sottotetto destinato all'ubicazione della sotto-centrale impiantistica. La Superficie Lorda complessiva di Pavimento di questo blocco è pari a 150 metri quadrati per piano.

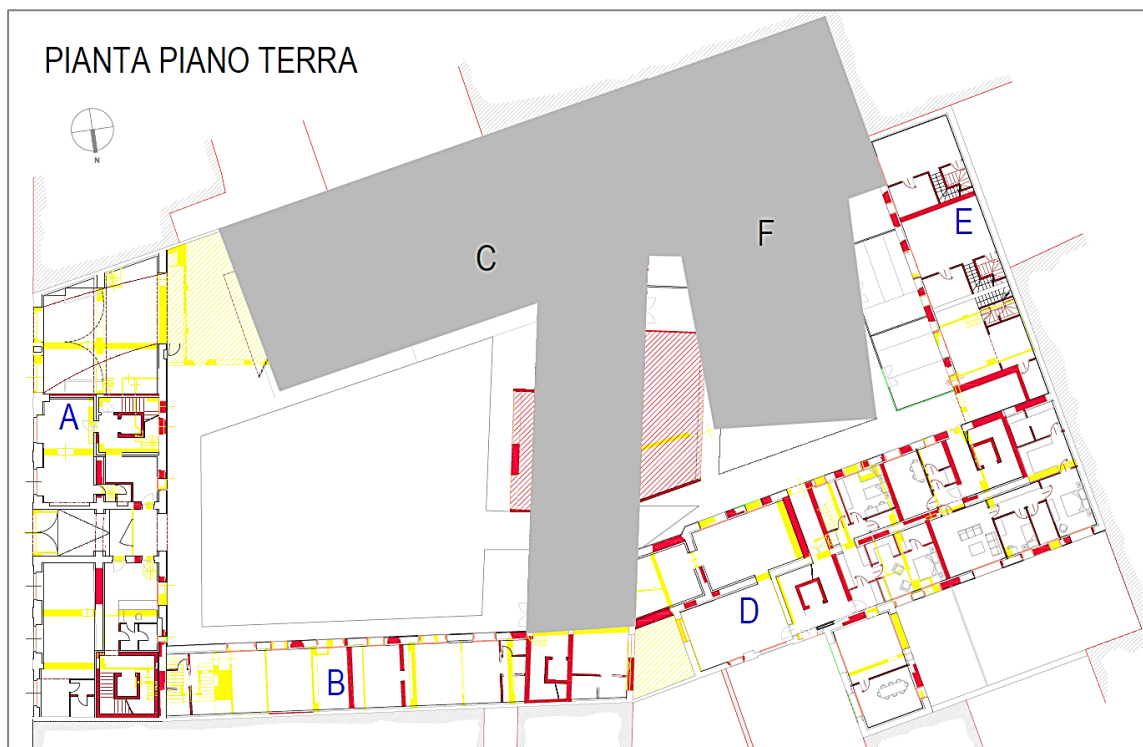


Figura 84: Demolizioni (in giallo) e costruzioni (in rosso) del piano terra dei blocchi A, B, D, E.

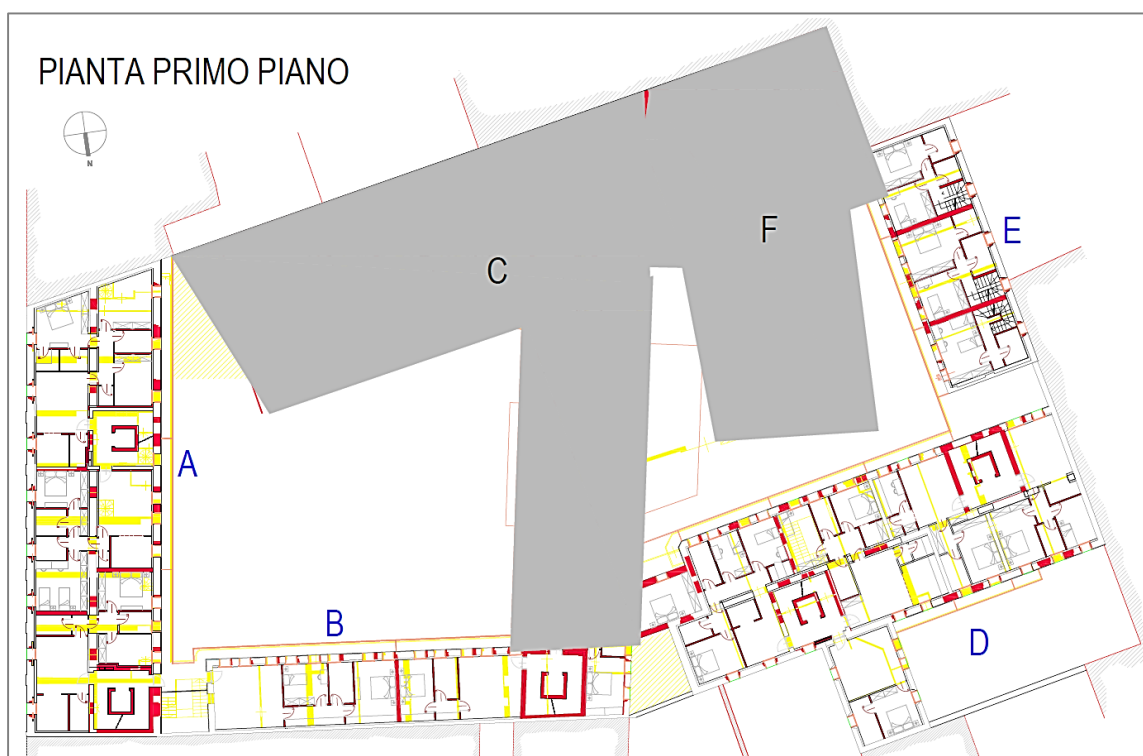


Figura 85: Demolizioni e costruzioni della pianta del piano primo dei corpi A,B,D,E.

Il corpo D è il più esteso tra i quattro edifici ristrutturati, occupando una SLP di 572 metri quadrati per ognuno dei tre piani fuori terra che lo compongono, più il sottotetto. Si articola in 22 appartamenti, compresi i tre che occupano il sottotetto abitabile.

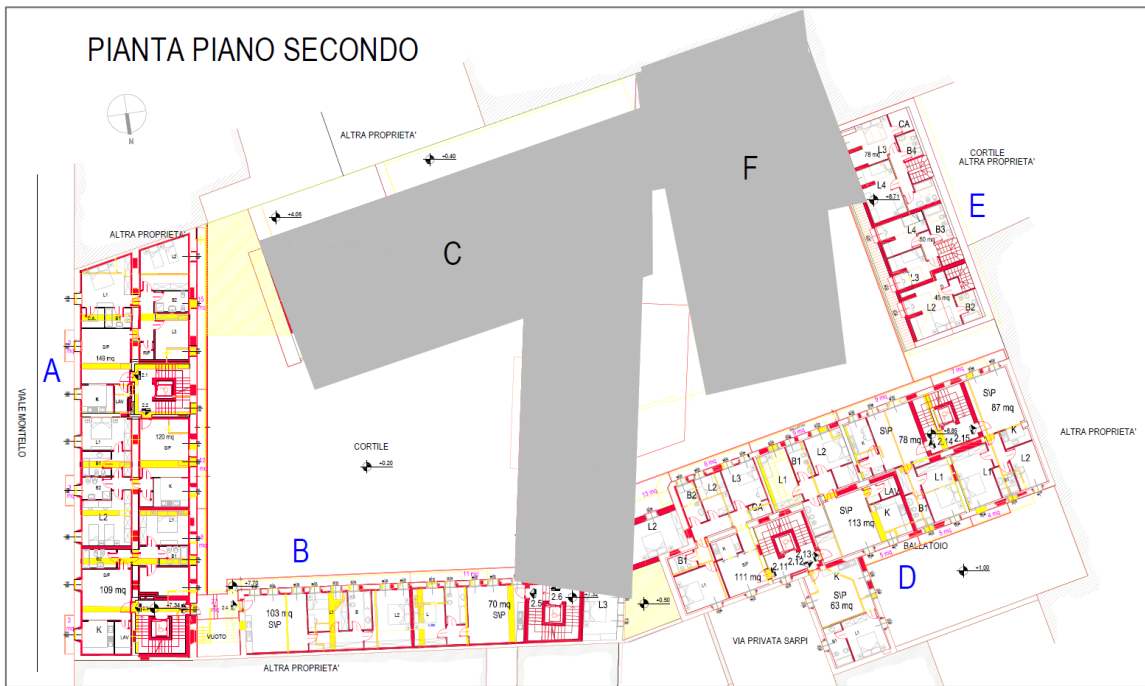


Figura 86: Demolizioni e costruzioni della pianta del piano secondo dei blocchi A, B, D, E.

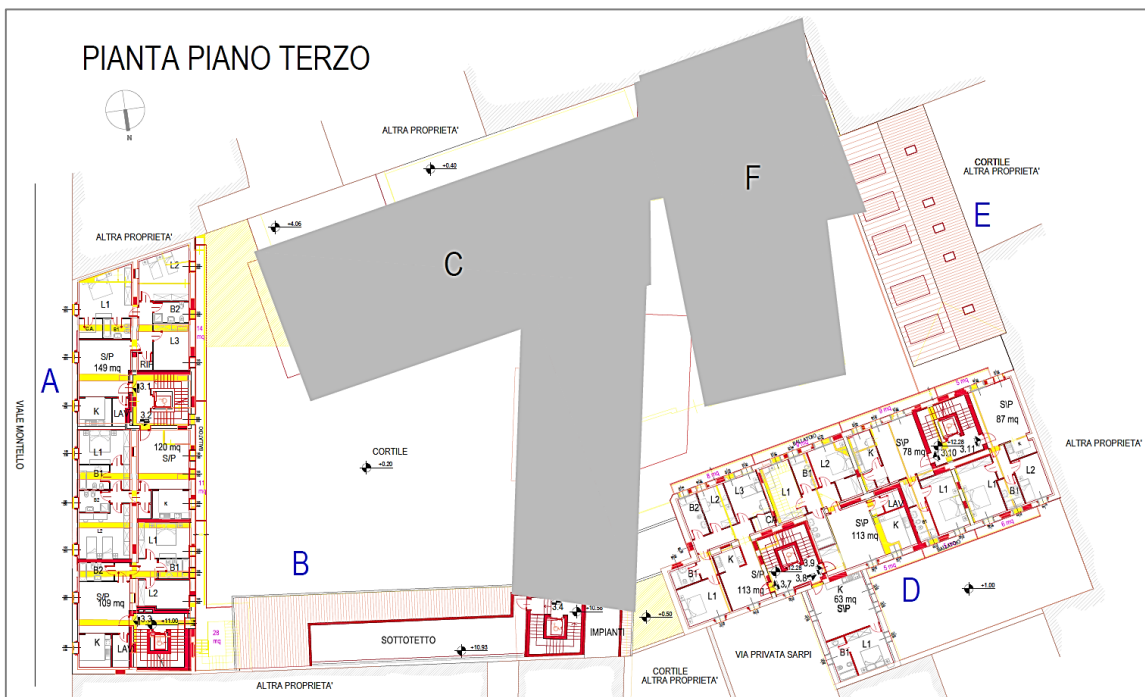


Figura 87: Demolizioni e costruzioni della pianta del piano terzo dei blocchi A, B, D, E.

Infine il fabbricato E, il più piccolo dei quattro, si estende su una Superficie Lorda complessiva di Pavimento di 147 metri quadrati per piano, suddiviso in 9 appartamenti per tre piani.

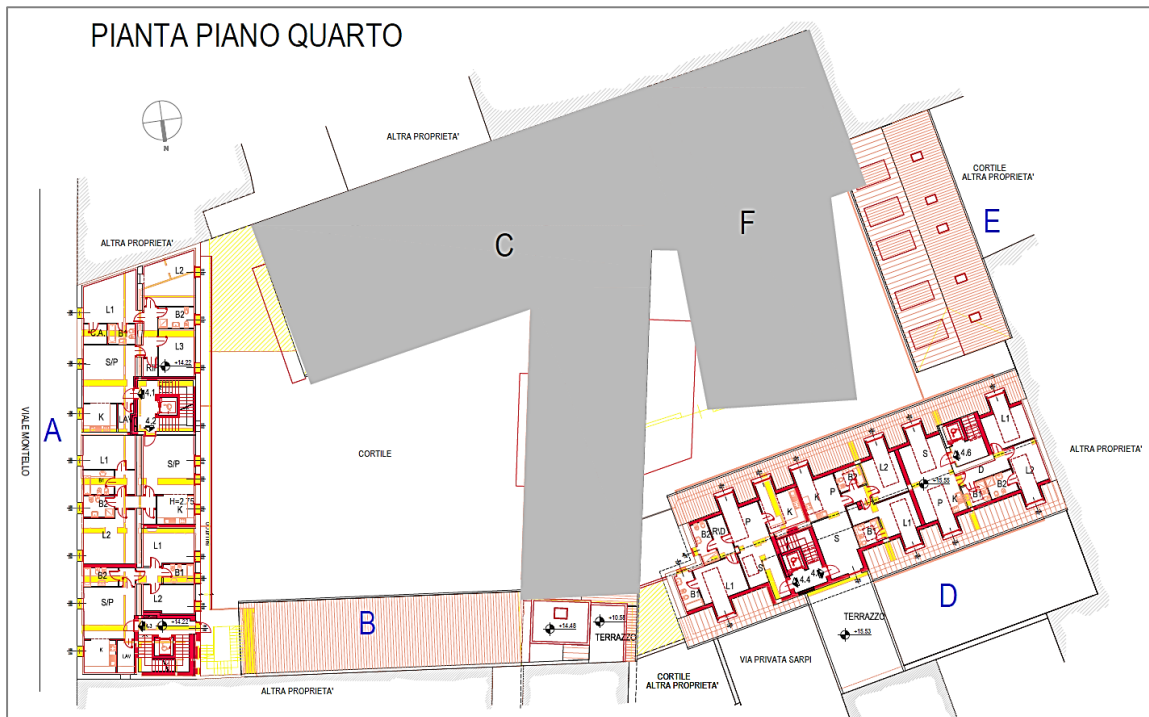


Figura 88: Pianta piano quarto dei blocchi A, B, D, E.

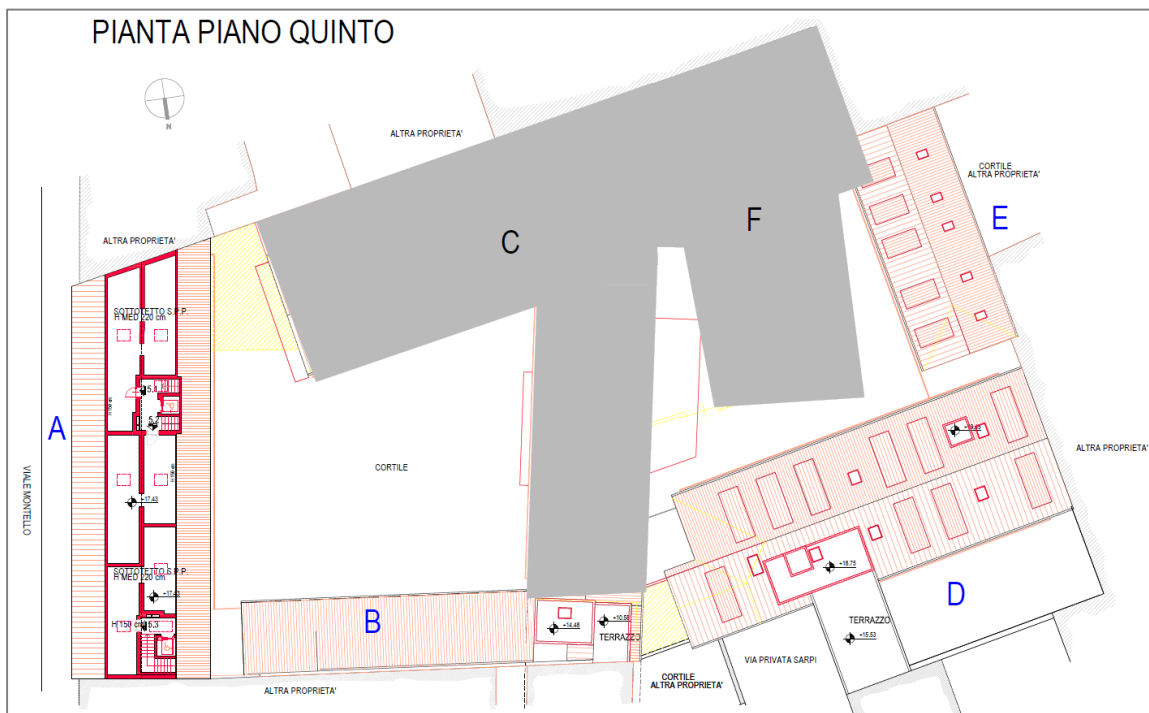


Figura 89: Demolizioni e ricostruzioni del piano quinto del blocco A e coperture dei B, D ed E.

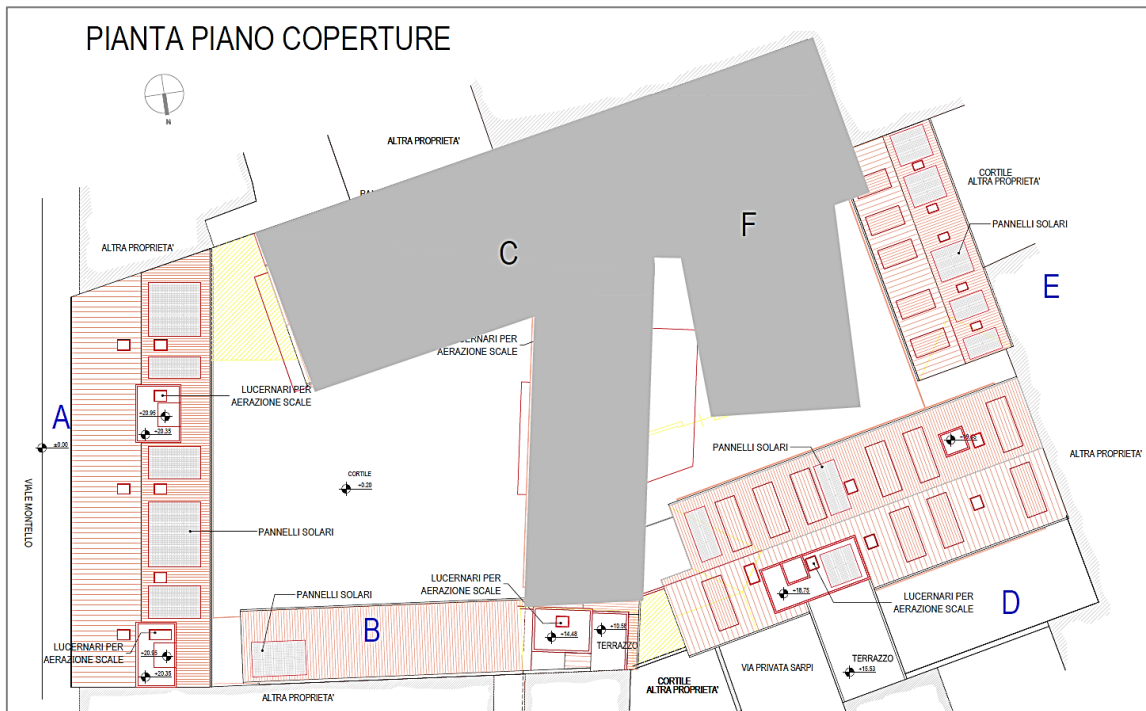


Figura 90: Pianta coperture dei blocchi A, B, D, E con indicazione dei pannelli solari.

Le piante e le sezioni che caratterizzano in modo definitivo tutti i piani sono riportate al paragrafo 5.4.6 comprensive di tutti e sei i blocchi. Il complesso edilizio si avvale anche di due piani interrati, in cui si dispongono le cantine dei fabbricati e i box, serviti da una rampa, nel cui spazio di risulta si colloca la centrale impiantistica.

Per quanto riguarda i corpi ristrutturati, sono previsti i recuperi dei sottotetti a fini abitativi, nel rispetto delle prescrizioni normative individuate. Il sottotetto del corpo B sarà adibito a spazio per i componenti della centrale impiantistica. Sono stati effettuati i calcoli e le verifiche relative al rispetto dei rapporti areo-illuminanti e delle altezze minime ponderali. Le tavole riassuntive con le verifiche sono riportate, complessive di tutti e sei i blocchi, al paragrafo 5.4.6.

5.4.4.2 Abachi degli elementi tecnici

La ristrutturazione prevede il recupero e il mantenimento delle murature esistenti esterne portanti, che compongono le chiusure verticali opache, tramite la realizzazione di una contro-parete armata di rinforzo e placcate con pannelli isolanti, con l'intento di migliorarne, oltre alle prestazioni strutturali, il comportamento energetico. La copertura è ripristinata e rifatta in modo integrale, tramite strutture lignee e rivestimento in coppi.

Di seguito si riportano le caratteristiche delle chiusure verticali e orizzontali opache con le relative prestazioni di trasmittanza termica. Il sistema di riscaldamento sarà di tipo a

pannelli radianti, quindi la stratigrafia dei solai di interpiano viene modificata come di seguito illustrato.

Chiusura verticale opaca - Parete esterna 1				
Strato	Materiale	Spessore [m]	Conduttività λ [W/mK]	Resistenza termica [m ² k/W]
Resistenza superficiale interna R_{si}		-	-	0,130
1	Intonaco	0,015	0,9	0,017
2	Mattoni pieni	0,60	0,72	0,833
3	Calcestruzzo (2200 kg/m ³)	0,05	1,65	0,030
4	Isolamento in stiferite	0,03	0,028	1,071
5	Isolamento in lana di roccia (70 kg/m ³)	0,05	0,035	1,429
4	Cartongesso in lastre	0,025	0,21	0,119
Resistenza superficiale esterna R_{se}		-	-	0,04
Spessore totale				0,77 m
Trasmittanza				0,273 W/m ² K
Verifica				< 0,280 W/m ² K

Tabella 22: Caratteristiche delle chiusure verticali opache con muratura da 60 cm.

Chiusura verticale opaca - Parete esterna 2				
Strato	Materiale	Spessore [m]	Conduttività λ [W/mK]	Resistenza termica [m ² k/W]
Resistenza superficiale interna R_{si}		-	-	0,13
1	Intonaco	0,015	0,9	0,017
2	Mattoni pieni	0,40	0,72	0,556
3	Calcestruzzo (2200 kg/m ³)	0,05	1,65	0,030
4	Isolamento in lana di roccia (70 kg/m ³)	0,1	0,035	2,857
5	Cartongesso in lastre	0,025	0,21	0,119
Resistenza superficiale esterna R_{se}		-	-	0,04
Spessore totale				0,59 m
Trasmittanza				0,267 W/m ² K
Verifica				< 0,280 W/m ² K

Tabella 23: Caratteristiche delle chiusure verticali opache con muratura da 40 cm.

Chiusura orizzontale opaca - Copertura				
Strato	Materiale	Spessore [m]	Conduttività λ [W/mK]	Resistenza termica [m ² k/W]
Resistenza superficiale interna R_{si}		-	-	0,10
1	Tegole in laterizio di rivestimento	0,015	1,00	0,02
2	Listelli di legno	0,028	0,21	0,13
3	Strato di ventilazione	0,07	0,261	0,27
4	Telo riflettente e guaina impermeabilizzante	0,003	0,055	0,05
5	Isolamento termico fibre di vetro	0,10	0,04	2,50
6	Assito in legno	0,24	0,21	1,14
Resistenza superficiale esterna R_{se}		-	-	0,04
Spessore totale				0,456 m
Trasmittanza				0,24 W/m ² K
Verifica				< 0,26 W/m ² K

Tabella 24: Caratteristiche della copertura.

Chiusura orizzontale opaca: Solaio contro-terra				
Strato	Materiale	Spessore [m]	Conduttività λ [W/mK]	Resistenza termica [m ² k/W]
Resistenza superficiale interna R_{si}		-	-	0,17
1	Pavimentazione in gres porcellanato	0,03	1,00	0,03
2	Pannelli radianti	0,08	0,21	0,38
3	Strato in cls alleggerito per ripartizione carichi	0,08	1,08	0,07
4	Polistirene espanso estruso	0,10	0,041	2,44
5	Cappa in c.a.	0,06	0,94	0,06
6	Moduli prefabbricati di polistirene rigido	0,4	-	-
7	Magrone di livellamento armato con rete elettrosaldata	0,1	0,94	0,11
Resistenza superficiale esterna R_{se}		-	-	0,04
Spessore totale				0,85 m
Trasmittanza				0,26 W/m ² K
Verifica				< 0,29 W/m ² K

Tabella 25: Caratteristiche del solaio contro terra.

Chiusura orizzontale opaca: Solaio interpiano		
Strato	Materiale	Spessore [m]
1	Pavimentazione	0,02
2	Massetto radiante e isolamento	0,08
4	Materassino acustico	0,002
5	Strato in cls alleggerito per ripartizione carichi	0,08
6	Film in polietilene	0,002
7	Cappa in c.a.	0,05
8	Assito in legno	0,07
9	Pannello isolante rigido	0,12
10	Travetto in legno lamellare	0,12
11	Controsoffitto in cartongesso	0,00125
Spessore totale		0,545 m

Tabella 26: Caratteristiche del solaio interpiano.

Sfasamento termico e fattore di attenuazione

Si riportano le verifiche dello sfasamento termico delle pareti, effettuati secondo il procedimento UNI 13786:08.

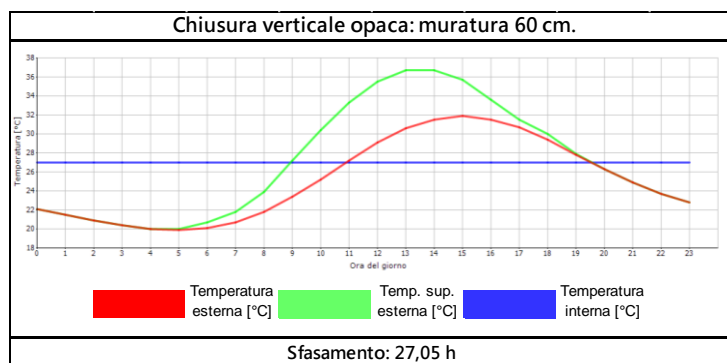


Figura 91: Verifica dello Sfasamento termico della chiusura verticale opaca di muratura da 60 cm.

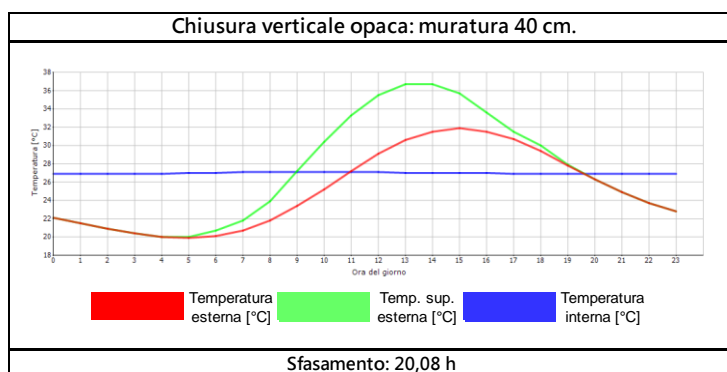


Figura 92: Verifica dello sfasamento termico della chiusura verticale opaca di muratura da 40 cm.

5.4.4.3 Sistema impiantistico

Tutti gli appartamenti necessitano di essere serviti da tutti i servizi tecnologici; poiché ogni immobile è costituito da più di quattro unità abitative, è obbligatorio, secondo il Regolamento del comune, installare un impianto centralizzato per la produzione di riscaldamento e acqua calda sanitaria. Per fare fronte alle esigenze dei quattro corpi si prevede un impianto centralizzato di riscaldamento e raffrescamento, in cui la generazione di energia per il fabbisogno sia invernale che estivo è affidata ad un sistema di pompe di calore reversibili, dalle elevate prestazioni energetiche e ottimali per il funzionamento durante tutto l'anno.

Le pompe di calore aria/acqua alimentano un sistema di riscaldamento a pannelli radianti per i quattro corpi e un bollitore per la produzione di acqua calda sanitaria durante tutto l'anno. Era stata prevista l'installazione di un impianto solare termico ad integrazione del sistema a pompa di calore, che è stato tuttavia accantonato in quanto non necessario al raggiungimento della quota minima di energia prodotta da fonti energetiche rinnovabili richiesta (cfr. § 5.4.4.5).

Per il raffrescamento, nel periodo estivo si ha un'inversione di funzionamento delle pompe che alimentano un impianto di distribuzione a servizio di un sistema a ventilconvettori nelle diverse unità abitative. Le pompe di calore funzionano a cascata; una delle pompe è

destinata alla produzione di acqua calda sanitaria e nella situazione normale funziona a cascata con le altre pompe. In fase di raffrescamento questa pompa inverte il proprio ciclo per produrre acqua calda sanitaria, disgiungendosi dall'impianto di distribuzione del freddo tramite una valvola a tre vie.

Ogni alloggio è munito di un contabilizzatore con valvola di zona così da consentire il funzionamento indipendente degli appartamenti; i singoli ambienti sono muniti di termostati che agiscono sui collettori dei pannelli a pavimento, mentre i ventilconvettori sono muniti di un proprio pannello di controllo installato a bordo degli stessi.

Si è progettata una vasta installazione di pannelli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica, così da coprire in parte il fabbisogno degli appartamenti tramite l'uso dell'energia solare.

Nella progettazione delle centrali si sono riscontrati non pochi problemi di spazio, in quanto il progetto architettonico dei piani interrati prevede la realizzazione di cantine e box e di un'ampia rampa curva a servizio di questi ultimi, che lascia ben pochi metri quadrati disponibili per la centrale. Per questo motivo si sono disposti in un piano i generatori e le altri componenti di pompaggio sono disposte su entrambi i due piani interrati; le tubazioni si diramano poi passando obbligatoriamente dalle cantine per poter raggiungere i cavedi di distribuzione. Per la predisposizione delle piante dei piani interrati, confrontare il paragrafo 5.4.6.

5.4.4.4 Studio energetico e dimensionamento impiantistico

È necessario conoscere il fabbisogno energetico di riscaldamento e raffrescamento così da poter dimensionare gli impianti e le loro componenti nel modo adeguato. Il calcolo dei disperdimenti termici e degli apporti di calore è effettuato seguendo le stesse formule e modalità spiegate per il dimensionamento dell'impianto del sottotetto di Via Varese (cfr. § 5.4.3.4). Si riportano in forma schematica i risultati ottenuti.

Il calcolo delle superfici disperdenti è stato svolto per ogni singolo appartamento di ogni blocco A, B, D, E; i risultati sono stati infine sommati per conoscere le potenze totali necessarie da installare. In Tabella 27 sono riassunti i risultati ottenuti per i diversi corpi, insieme con i valori di superficie netta e volume complessivi.

Corpo	Superficie pavimento netta [m ²]	Volume [m ³]	Superfici disperdenti [m ²]											Tot per corpo
			Opache						Altre	Trasparenti				
			N	W	S	E	Copert.	Pav (suolo)		N	W	S	E	
A	1151,2	3342,9	140,2	470	278,7	633	685,1	270,5	610	0	62,7	0	53,2	3203,4
B	286,4	1609,1	267,2	0	218,6	0	131,7	200,5	83	0	0	60	0	961
D	1809,6	4822,6	801,6	460,3	596,9	388,82	339	573,3	1158,7	85,2	29,2	144,25	11,5	4566
E	411,1	1312,8	78,2	203,4	101,6	266,5	96,5	193,5	68,2	0	4,6	0	56,8	1069,3
Totali	3658,3	11087,4	1287	1134	1196	1288	1252	1238	1920	85	97	204	122	9800

Tabella 27: Superfici di pavimento, volumi e superfici disperdenti totali dei corpi A, B, D, E.

5.4.4.1 Dispersimenti invernali

Si utilizzano i seguenti dati per il calcolo dei dispersimenti invernali per trasmissione.

$U_{\text{PARETE ESTERNA}}$	0,267 [W/m ² /°C]	$\Delta T_{\text{PARETI ESTERNE}}$	25 [°C]	$C_{\text{PARETI N}}$	1,38
$U_{\text{COPERT.}}$	0,241 [W/m ² /°C]	ΔT_{VETRI}	25 [°C]	$C_{\text{PARETI W}}$	1,27
$U_{\text{PAVIM. (suolo)}}$	0,267 [W/m ² /°C]	ΔT_{SUOLO}	13 [°C]	$C_{\text{PARETI S}}$	1,15
U_{VETRI}	1,3 [W/m ² /°C]	$\Delta T_{\text{PARETI INTERNE}}$	25 [°C]	$C_{\text{PARETI E}}$	1,32
$U_{\text{PARETE INTERNA}}$	0,267 [W/m ² /°C]			$C_{\text{COPERTURA}}$	1,15
$U_{\text{SOFFITTO INTERNO}}$	0,43 [W/m ² /°C]				

Si ottengono i valori di dispersioni per trasmissione seguenti (Tabella 28).

Corpo	Dispersioni per trasmissione [W]											Tot per corpo
	Opache						Altre	Trasparenti				
	N	W	S	E	Copert.	Pav (suolo)		N	W	S	E	
A	1625,4	4728,5	2421,4	6305,5	2351,8	1220,6	6098	0	2344,2	216,8	1988,4	29300,6
B	2439,4	0	2012,9	0	475,6	904,7	423	0	0	2009,4	0	8265
D	8000	4593,7	5956,2	3880,1	3054,4	2586,9	11595,2	3183,4	1091	5391,5	420,1	49752,5
E	780,4	2029,9	1013,6	2659,6	869,2	873,1	682,8	0	172	0	2121,4	11202
Totali	12845	11352	11404	12845	6751	5585	18799	3183	3607	7618	4530	98520

Tabella 28: Dispersioni per Trasmissione dei corpi A, B, D, E.

Le dispersioni per ventilazione, invece, sono riassunti in Tabella 29.

Corpo	Volume [m ³]	Disperdimenti per ventilazione [W]
A	3343	13957
B	1609	6718
D	4823	20134
E	1313	5481
Totali	11087	46290

Tabella 29: Dispersioni per ventilazione dei blocchi A, B, D, E.

Le pompe di calore alimentano anche l'impianto di acqua calda sanitaria, pertanto è necessario considerare la potenza termica richiesta dal bollitore. Si valuta la portata minima d'acqua richiesta da ogni componente del sistema di erogazione, assegnando ad ogni componente un'unità di carico specifica di acqua fredda e calda, in litri al secondo, secondo quanto indicato dalla norma UNI 806. In base alla portata d'acqua totale richiesta si trova il consumo in litri di picco; si dimensionano quindi i volumi dei bollitori a servizio dei corpi A, B e D, E, che lavorano con una temperatura di 50°C e utilizzano uno scambiatore istantaneo esterno così da ridurre gli ingombri in centrale. La potenza totale necessaria alla produzione di acqua calda sanitaria, dimensionata considerando il valore massimo tra quella istantanea e quella di massimo utilizzo contemporaneo, riferita a tutti e quattro gli edifici risulta:

$$Q_{SAN-A, B} = Q_{SAN-D, E} = 95323 \text{ W} = \mathbf{95,3 \text{ kW}}$$

I contributi dovuti ai ponti termici dei serramenti e dell'attacco dei solai sono riassunti nella tabella seguente.

Ponte termico serramenti		
Lunghezza tot.	3125	m
$Q_{PT,s}$	7,8	kW

Ponte termico solai		
Lunghezza tot.	5890	m
$Q_{PT,p}$	22,1	kW

Tabella 30: Ponti termici dei blocchi A, B, D, E.

5.4.4.4.2 Apporti termici estivi

Di seguito sono riportati in maniera sintetica i valori dei carichi sensibili dovuti alla trasmissione delle pareti opache e delle componenti vetrate, ai carichi sensibili dovuti

all'irraggiamento solare, quelli relativi alla presenza di persone e alla presenza di luci e i valori relativi ai carichi latenti dovuti alla presenza di persone. Si utilizzano i dati di radiazione solare incidente riassunti precedentemente in Tabella 14.

APPORTI TERMICI [W]		Blocchi A,B,D,E
SENSIBILI		
SUP. TRASP.	Trasmissione	11201
	Irraggiamento	26487
SUP. OPACHE	Trasmissione	29176
ENDOGENI	PERSONE	33540
	LUCI	7776
VENTILAZIONE		10042
TOTALI SENSIBILI		118222
LATENTI [W]		
PERSONE		62900
TOTALI LATENTI [W]		62900
POTENZA TOTALE [W]		181122

Tabella 31: Calcolo degli apporti termici estivi relativi ai blocchi A, B, D, E.

5.4.4.4.3 Potenza dei generatori

La potenza termica su cui si dimensionano i generatori è data dalla somma delle potenze richieste, più, nel caso invernale, del contributo dei ponti termici, moltiplicata per un fattore di maggiorazione a favore di sicurezza di 1,1. Si ottiene:

$$W_{Termica,tot} = (98520 + 46290 + 29900) W * 1,1 = 192181 W = \mathbf{192,2 kW}$$

$$W_{Frigoriferata,tot} = 181122 W * 1,1 = 199534 W = \mathbf{199,5 kW}$$

Poiché le pompe di calore devono servire sia l'impianto di riscaldamento invernale che quello estivo, è necessario dimensionarle in base alla potenza richiesta maggiore. Il sistema di riscaldamento, essendo a pannelli radianti, è dotato di un'elevata inerzia termica, perciò si tiene conto del fabbisogno di acqua calda sanitaria di 200 kW sapendo che la sua produzione non deve avvenire per forza contemporaneamente a quella dell'acqua necessaria al riscaldamento. Per coprire la richiesta totale si utilizzano quindi tre pompe di calore aria/acqua elettriche, di tipo reversibile, modello *Climaveneta AWR-HT - 0302* dalla potenza di riscaldamento di 102 kW e di refrigerazione di 91,7 kW ognuna. Questo tipo di pompe di calore è in grado di produrre sia acqua refrigerata che acqua calda ad alta

temperatura, fino a 65°C. La tabella seguente riassume le caratteristiche generali delle pompe di calore.

GRANDEZZA		0122	0152	0202	0262	0302
AWR-HT /CA-E						
REFRIGERAZIONE	(1)					
Potenza frigorifera	kW	34,1	43,8	60,3	76,4	91,7
Potenza assorbita totale (unità)	kW	11,6	14,7	20,4	25,8	31,3
EER		2,94	2,98	2,96	2,96	2,93
ESEER		3,4	3,34	3,4	3,38	3,35
Portata acqua scambiatore	m ³ /h	5,87	7,54	10,4	13,2	15,8
Perdita di carico scambiatore	kPa	8,10	9,21	11,0	14,5	18,2
AWR-HT /CA-E						
RISCALDAMENTO	(2)					
Potenza termica	kW	38,0	51,3	68,8	84,9	102
Potenza assorbita totale (unità)	kW	10,7	14,4	19,4	23,6	27,7
COP		3,55	3,56	3,55	3,60	3,68
Portata acqua scambiatore	m ³ /h	6,60	8,91	12,0	14,8	17,7
Perdita di carico scambiatore	kPa	10,2	12,9	14,6	18,3	22,9

Tabella 32: Caratteristiche e prestazioni delle pompe di calore reversibili aria/acqua scelte.

Si prevede l'installazione delle pompe in cascata, così da garantire un funzionamento ottimale nel caso di richiesta di acqua calda sanitaria in estate; poiché la terza pompa di calore ha funzione quasi di riserva, in estate funziona soprattutto per la produzione di acqua calda sanitaria. La valvola a tre vie permette di deviare il flusso di acqua calda sanitaria verso un accumulo dedicato. Questo tipo di installazione permette alla pompa di evitare di invertire continuamente il proprio ciclo, senza passare continuamente dalla produzione di freddo a quella di caldo, una volta chiamata in causa dalla necessità di acqua calda sanitaria.

In Figura 93 è mostrato il funzionamento dell'impianto di riscaldamento e di produzione di acqua calda sanitaria; due circuiti separati forniranno i montanti di riscaldamento e acqua calda sanitaria dei blocchi A-B e D-E. A livello di distribuzione, ogni scala sarà servita dal proprio montante (Figura 94 e 95). Il funzionamento di climatizzazione estiva è del tutto analogo, solo che il ciclo delle pompe sarà invertito a produzione del freddo, ad esclusione della terza pompa che tendenzialmente resterà a servizio del fabbisogno di acqua calda sanitaria, e i terminali saranno dei ventilconvettori installati nelle diverse utenze.

5.4.4.4 Impianto fotovoltaico

Per sopperire in parte al fabbisogno di energia elettrica si è progettato un impianto solare fotovoltaico a servizio di tutti e quattro i corpi. Come visibile in Figura 90, la copertura del fabbricato A ospita cinque grandi installazioni fotovoltaiche sulla falda interna, così da non essere visibile dal lato della strada, per un totale di 90 metri quadrati, rivolti a Ovest. L'edificio B non dispone di molto spazio libero per l'installazione dei pannelli in copertura, poiché nel sottotetto è prevista la sotto-centrale impiantistica, che deve essere fornita di griglia sul soffitto. Per questo edificio sono previsti 14 metri quadrati di pannelli rivolti a

Nord. Il corpo D vede l'installazione di 30 metri quadrati di fotovoltaico, di cui 20 a Sud e 10 a Nord, mentre l'E, seppur di dimensioni più ridotte rispetto agli altri edifici, dispone di 42 metri quadrati di installazione fotovoltaica esposta ad Ovest, nella falda che dà su un'altra proprietà. Tutte le installazioni vengono realizzate sulla parte di falda meno visibile dal fronte stradale.

Il totale di superficie installata ammonta quindi a 176 metri quadrati.

In Tabella 33 sono riassunte le caratteristiche dei 106 pannelli in silicio policristallino *Aleo Solar S18 K260* installati, tutti con inclinazione di 22° nelle diverse esposizioni, per una potenza totale di circa 27 kW di picco. Si è utilizzato il sistema PVGIS per stimare le quantità di energia elettrica prodotta dalle diverse installazioni a seconda dell'esposizione delle superfici installate sui diversi edifici A, B, D, E (Tabella 35 – 38).

Dati elettrici (STC)		S18 K260	Dati di base modulo		
Potenza nominale	P_{MPP}	260 Wp	Lungh. x largh. x h	1660 x 990 x 50	mm
Tensione nominale	U_{MPP}	30,5 V	Peso	20	Kg
Corrente nominale	I_{MPP}	8,51 A	Numero di celle	60	
Tensione a vuoto	U_{OC}	37,7 V	Dimensioni cella	156 x 156	mm
Corrente di corto circuito	I_{SC}	9,01 A	Materiale cella	Si-poli	
Rendimento	η	15,8 %	Copertura frontale	Vetro solare (VST)	
Dati elettrici (NOCT)			Materiale di cornice	Lega di Al	
Potenza	P_{MPP}	190 W			
Tensione	U_{MPP}	27,6 V			
Corrente	I_{MPP}	6,89 A			
Tensione a vuoto	U_{OC}	34,6 V			
Corrente di corto circuito	I_{SC}	7,33 A			
Rendimento	η	14,5 %			

Tabella 33: Dati elettrici e dimensionali dei pannelli fotovoltaico Aleo Solar S18 K250.

I dati utilizzati nel calcolo sono riportati in Tabella 34, in cui è presente anche il calcolo del performance ratio dei pannelli ottenuto dal prodotto dei singoli rendimenti riportati in tabella, che permette di stimare le prestazioni effettive del pannello.

Località	Milano
Lat. E long.	45°27'34" N, 9°11'39" E
Altitudine	121 m s.l.m.
Insolazione annuale	4706 MJ/m ²
Insolazione media giornaliera	12,89 MJ/m ² 3,6 kWh/m ²
Inclinazione pannelli	22°

η_{sol}	Rendimento "solare"	0,93
η_{str}	Rendimento stringhe	0,87
η_{cc}	Rendimento rete c. continua	0,98
η_{acc}	Rendimento accum.	1
η_{cinv}	Rendimento inverter	0,92
η_{ca}	Rendimento rete alternata	1
R_p	Performance ratio	0,73

Tabella 34: Dati utilizzati per il calcolo dell'energia elettrica prodotta dal sistema fotovoltaico.

Fixed system: inclination=22 deg., orientation=-90 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	21.50	666	1.41	43.6
Feb	29.60	828	1.90	53.3
Mar	48.40	1500	3.20	99.3
Apr	59.70	1790	4.07	122
May	66.00	2050	4.64	144
Jun	78.80	2360	5.64	169
Jul	80.90	2510	5.84	181
Aug	70.20	2180	5.05	157
Sep	53.70	1610	3.73	112
Oct	34.40	1070	2.32	72.1
Nov	22.30	669	1.49	44.6
Dec	17.00	527	1.13	35.2
Year	48.60	1480	3.38	103
Total for year		17800		1230

Tabella 35: Produzione media dei pannelli fotovoltaici installati sull'edificio A. [Fonte: PVIGIS]

Fixed system: inclination=22 deg., orientation=180 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	1.52	47.0	0.69	21.3
Feb	2.80	78.3	1.18	33.0
Mar	5.92	184	2.31	71.5
Apr	9.09	273	3.44	103
May	11.10	343	4.28	133
Jun	13.40	403	5.31	159
Jul	13.50	419	5.38	167
Aug	10.90	338	4.34	135
Sep	7.04	211	2.81	84.4
Oct	3.58	111	1.52	47.1
Nov	1.68	50.5	0.80	24.0
Dec	1.46	45.4	0.64	19.8
Year	6.86	209	2.73	83.1
Total for year		2500		998

Tabella 36: Corpo B. [Fonte: PVIGIS]

Fixed system: inclination=22 deg., orientation=0 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	8.95	278	2.15	66.8
Feb	10.40	292	2.56	71.8
Mar	15.50	480	3.95	123
Apr	17.40	523	4.57	137
May	18.30	566	4.91	152
Jun	21.50	646	5.88	176
Jul	22.40	693	6.16	191
Aug	20.30	631	5.60	174
Sep	16.80	505	4.50	135
Oct	11.80	365	3.03	93.9
Nov	8.65	259	2.15	64.4
Dec	7.19	223	1.74	53.9
Year	15.00	455	3.94	120
Total for year		5460		1440

Fixed system: inclination=22 deg., orientation=180 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	1.11	34.5	0.69	21.3
Feb	2.06	57.6	1.18	33.1
Mar	4.39	136	2.31	71.5
Apr	6.78	203	3.44	103
May	8.27	256	4.28	133
Jun	10.10	302	5.31	159
Jul	10.10	314	5.38	167
Aug	8.18	254	4.34	134
Sep	5.25	158	2.81	84.4
Oct	2.65	82.2	1.52	47.1
Nov	1.24	37.2	0.80	24.1
Dec	1.07	33.3	0.64	19.8
Year	5.12	156	2.73	83.1
Total for year		1870		998

Tabella 37: Corpo D. [Fonte: PVIGIS]

Fixed system: inclination=22 deg., orientation=-90 deg.				
Month	Ed	Em	Hd	Hm
Jan	11.70	361	1.40	43.5
Feb	16.10	452	1.91	53.4
Mar	26.60	823	3.20	99.2
Apr	33.00	991	4.07	122
May	36.60	1140	4.64	144
Jun	43.80	1310	5.64	169
Jul	45.00	1390	5.84	181
Aug	39.10	1210	5.05	157
Sep	29.70	890	3.73	112
Oct	18.90	586	2.33	72.1
Nov	12.20	365	1.49	44.6
Dec	9.20	285	1.13	35.0
Year	26.90	817	3.38	103
Total for year		9810		1230

Tabella 38: Corpo E. [Fonte: PVIGIS]

Nelle Tabelle, E_d indica la produzione media giornaliera di energia elettrica dei sistemi, E_m la produzione media mensile, entrambe in kWh, H_d è la radiazione solare media giornaliera per metro quadrato di modulo fotovoltaico e H_m la radiazione totale media per metro quadrato, entrambe in kWh/m², riferite ad un anno.

L'energia elettrica totale prodotta dall'impianto installato, complessiva di tutti e quattro i blocchi, è riassunta in Tabella 39.

Corpo	Energia elettrica prodotta [kWh]
A	17800
B	2500
D	7330
E	9810
Totale	37440

Tabella 39: Energia totale elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico degli edifici A, B, D, E.

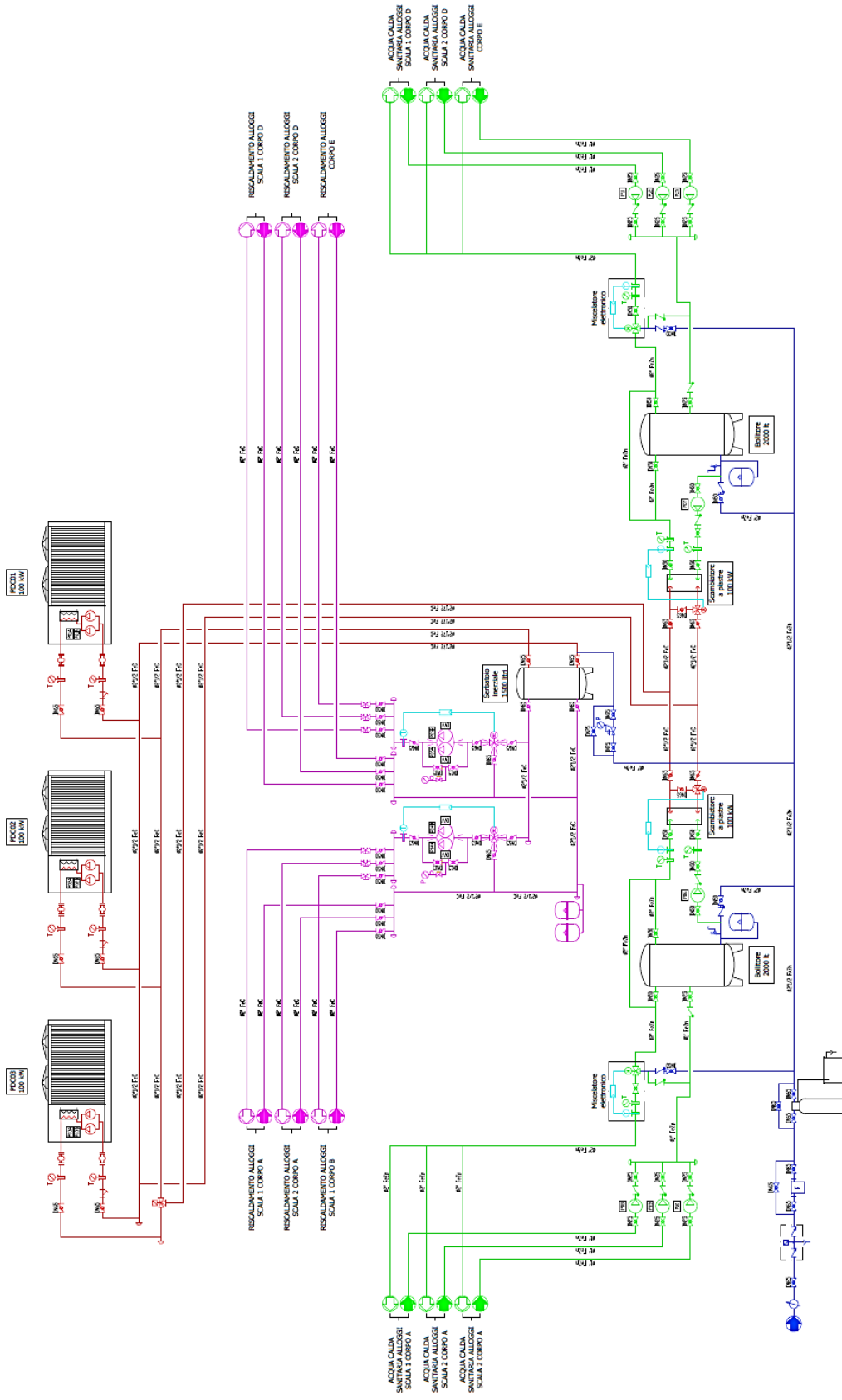


Figura 93: Schema funzionale dell'impianto di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria dei corpi A, B, D, E.

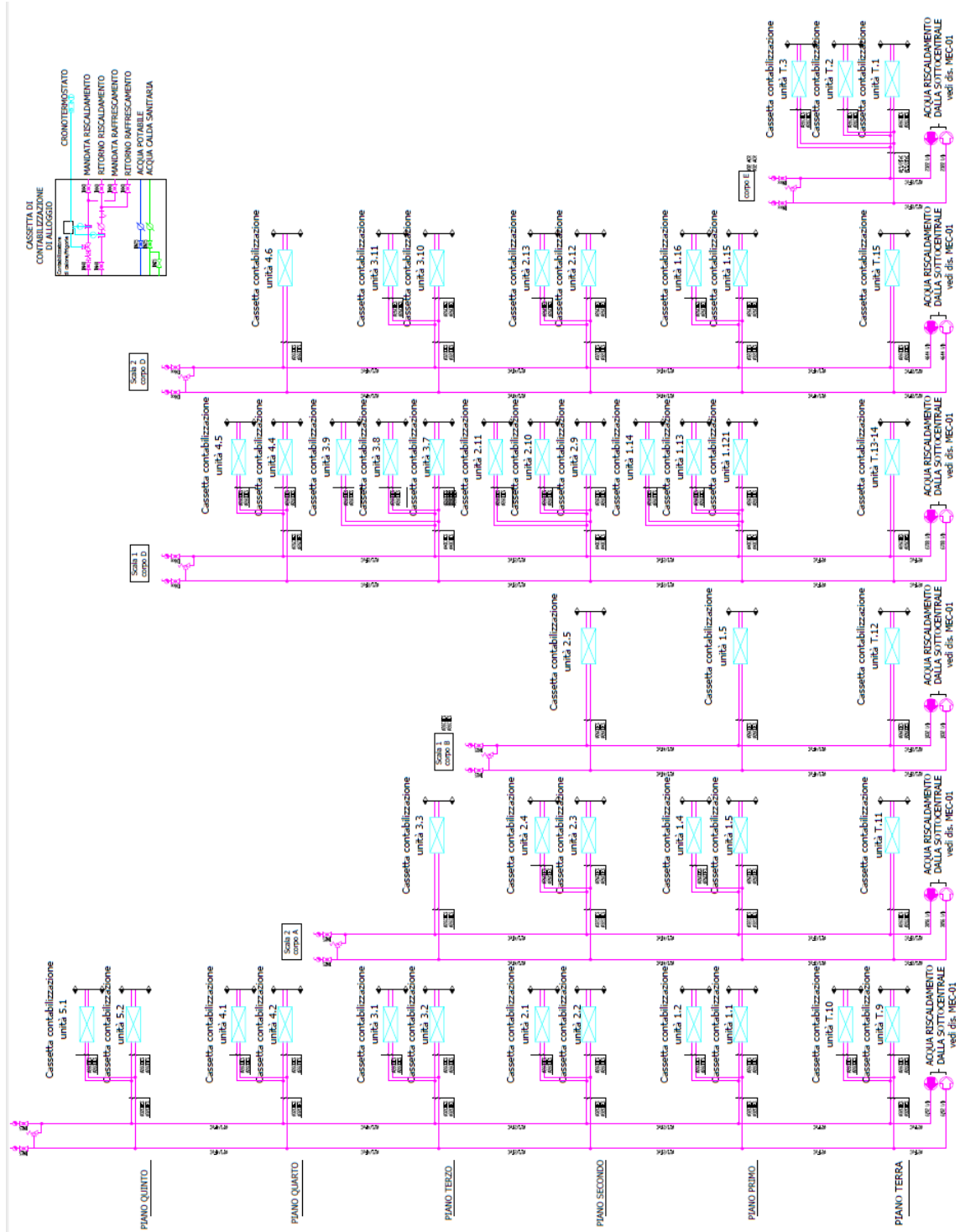


Figura 94: Distribuzione dell'impianto di riscaldamento dei quattro edifici. Ogni montante è a servizio di una scala.

5.4.4.4.5 Fabbisogno energetico

I corpi ristrutturati, come analizzato nel paragrafo, non necessitano di soddisfare specifici requisiti in termini di classe energetica; tuttavia si sono studiate le prestazioni globali dei fabbricati tramite il software Cened+. Poiché la distribuzione impiantistica avviene in due rami separati, per i corpi A-B da un lato e D-E dall'altro, a livello di "zone riscaldate" i blocchi A-B sono stati considerati insieme, così come quelli D-E. In Tabella 40 sono riassunti i dati utilizzati per il calcolo, ovvero le caratteristiche dimensionali dei quattro edifici.

	Località		Milano		
	Zona Climatica		E		
	Gradi Giorno		2404		
	Giorni di riscaldamento		183		
	A	B	D	E	
Sup. disperdente	2646,4	918,3	4588	1069	m ²
Volume netto	3342,8	972	5459,7	1312,8	m ³

Tabella 40: Dati climatici di riferimento e superfici e volumi disperdenti degli edifici A, B, D, E.

Il fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento dei blocchi A, B risulta pari a 30,37 kWh/m²anno, che corrisponde alla classe energetica B, (Figura 96), indice del fatto che le prestazioni degli edifici si possono considerare buone; l'indice di consumo relativo al fabbisogno estivo è pari a 23,16 kWh/m²anno.

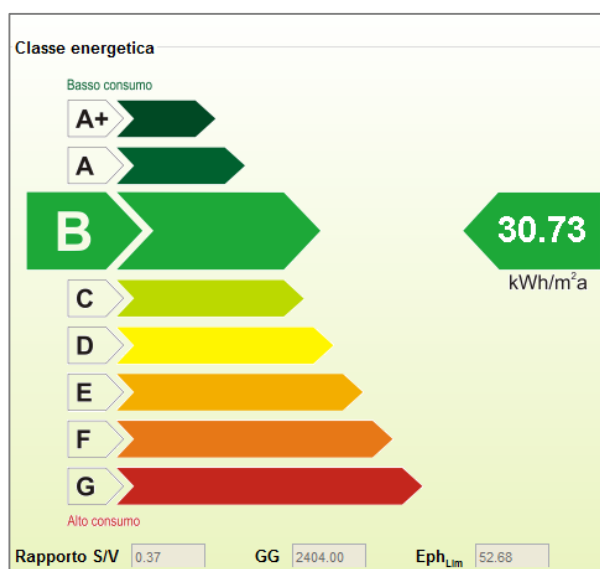


Figura 96: Classe energetica e fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento dei blocchi A-B. [Fonte Cened+]

Gli edifici D, E invece hanno un fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento di 31,97 kWh/m²anno (Figura 97), sempre corrispondente ad una classe energetica B; il fabbisogno estivo è pari a 21,22 kWh/m²anno.

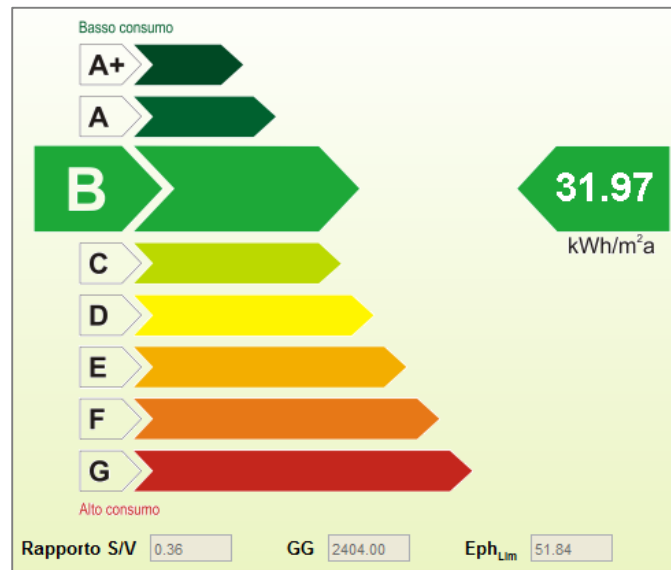


Figura 97: Classe energetica e fabbisogno di energia primaria blocchi D-E. [Fonte Cened+]

5.4.4.5 Utilizzo delle rinnovabili e considerazioni sul tema

Lo studio completo dello stato di fatto e delle peculiarità di questi edifici, uniti alle loro necessità in termini di ristrutturazione, ai vincoli normativi e ai requisiti da soddisfare, nonché del comportamento energetico dei quattro fabbricati ha portato a raggiungere risultati soddisfacenti di sostenibilità e conservazione. I vincoli di conservazione riguardavano, come spesso accade, l'aspetto esteriore degli edifici; questo ha permesso di poter intervenire anche in maniera piuttosto invasiva per quanto riguarda le componenti interne all'edificio, potendo così intervenire sui solai e sul recupero dei sottotetti.

La scelta di utilizzare una pompa di calore si è dimostrata ancora una volta molto efficace; in più, essendo reversibili, i generatori permettono di diminuire le difficoltà e gli ingombri di realizzazione delle centrali. Le pompe di calore ad alta temperatura utilizzate, infatti, si sono rivelate ottimali per gli interventi di riqualificazione degli edifici in esame, in cui è richiesta la realizzazione di un impianto centralizzato, in grado di gestire con poche unità compatte non solo la produzione di acqua calda ad uso sanitario e di riscaldamento ad alta temperatura, ma anche quella di acqua refrigerata per il condizionamento estivo. La scelta di installare più pompe in cascata, in una configurazione modulare quindi, dà modo di gestire in modo ottimale l'utilizzo delle risorse e delle potenze energetiche, differenziando la produzione di acqua calda sanitaria da quella della potenza di riscaldamento e raffrescamento, mediante una deviazione formata da una valvola a tre vie. Il funzionamento

della configurazione scelta per le pompe è sintetizzato in maniera molto semplificata in Figura 98.

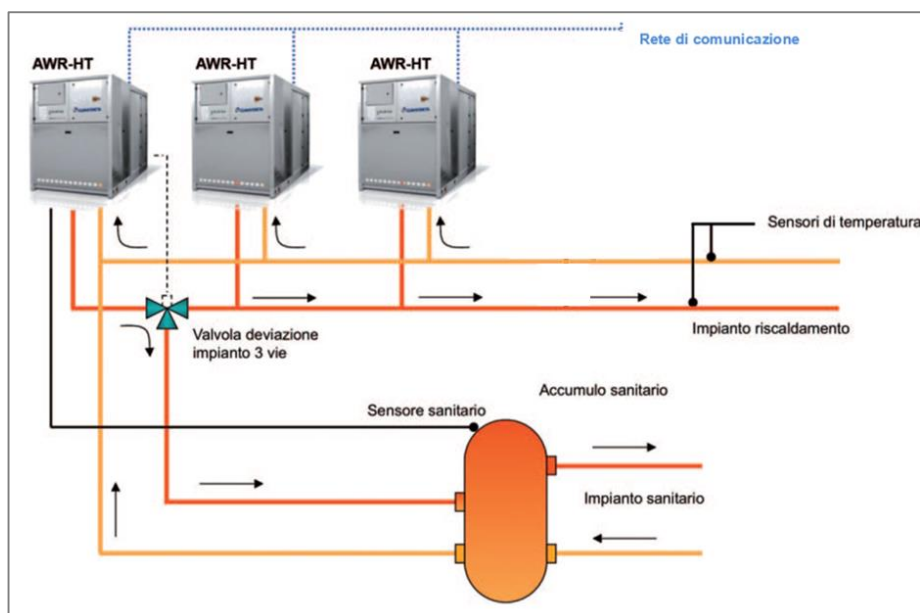


Figura 98: Funzionamento modulare delle pompe di calore connesse tra loro.

La soluzione scelta permette inoltre di garantire la produzione minima di 50% di energia necessaria per la produzione di acqua calda sanitaria da fonti rinnovabili, così come la quota minima di 20% di utilizzo di energie rinnovabili per la somma delle potenze di riscaldamento, raffrescamento e acqua calda sanitaria.

Mese	Giorni mese	Temp. aria esterna [°C]	Temp. acqua impianto [°C]	COP Corretto in funzione di T_{EXT}	Frazione di energia rinnovabile utilizzata E_{RES}/Q_{USABLE}
Gen	31	1,7	55,0	2,69	0,628
Feb	28	4,2	55,0	2,91	0,657
Mar	31	9,2	55,0	3,32	0,698
Apr	30	14,0	55,0	3,66	0,727
Mag	31	17,9	55,0	3,92	0,745
Giu	30	22,5	55,0	4,20	0,762
Lug	31	25,1	55,0	4,35	0,770
Ago	31	24,1	55,0	4,29	0,767
Set	30	20,4	55,0	4,08	0,755
Ott	31	14,0	55,0	3,66	0,727
Nov	30	7,9	55,0	3,22	0,689
Dic	31	3,1	55,0	2,82	0,645
Valore medio annuale				3,60	0,722

Tabella 41: Valore medio annua del COP delle pompe e quota di energia rinnovabile utilizzata.

Si riportano in Tabella 41 i calcoli relativi al rendimento stagionale delle pompe di calore e della quota di energia rinnovabile da esse utilizzata; il procedimento di calcolo è analogo a

quello utilizzato per il sottotetto di via Varese. Il COP riferito alle temperature di riscaldamento di mandata dell'acqua di 55°C con temperatura dell'aria di 7° delle pompe è pari a 3,14; si riportano i dati corretti in funzione della temperatura effettiva dell'aria esterna e la quota di energia rinnovabile utilizzata dalle pompe.

La pompa di calore utilizza per il 72% della propria produzione energie rinnovabili; sono quindi soddisfatti non solo i vincoli di legge ma anche i requisiti che si erano imposti all'inizio della trattazione di sostenibilità. Tale risultato permette inoltre di non dover necessariamente installare un impianto solare termico ad integrazione di quello di produzione di acqua calda sanitaria alimentato dalle pompe, senza così dover togliere spazio ai pannelli solari fotovoltaici necessari alla produzione di energia elettrica e deturpando il meno possibile l'aspetto della copertura.

È stata effettuata una stima dell'energia elettrica consumata dai vari appartamenti in base alle apparecchiature utilizzate e al loro numero di ore di funzionamento, riferita ad un appartamento tipo di 68 metri quadri, che corrisponde alla superficie netta media degli appartamenti. Il consumo annuo stimato per l'appartamento, dotato di lavastoviglie, lavatrice, due televisori, considerando anche l'energia assorbita dai ventilconvettori, è di circa 4500 kWh. Gli appartamenti che compongono, in totale, gli edifici A, B, D, E sono (esclusi i laboratori al piano terra) 53, per cui si stima che il consumo totale annuo di energia elettrica degli edifici sia 238500 kWh. L'impianto fotovoltaico produce 37440 kWh all'anno, e copre quindi il 16% del fabbisogno totale dei quattro edifici. Se si conteggiano a parte i consumi di energia della climatizzazione, si nota come il consumo elettrico dell'appartamento si abbassi a 2354 kWh/anno, per cui in totale 124800 kWh/anno, che corrisponde ad una copertura da parte di energia rinnovabile del 30,3%.

La riqualificazione progettata porta gli edifici ad intraprendere un comportamento prestazionale energetico e di impatto ambientale ottimale: le soluzioni di isolamento termico delle pareti perimetrali e lo sfruttamento dell'energia aerotermica e fotovoltaica rispondono alle esigenze di sostenibilità prefissate. La scelta dei terminali di riscaldamento e raffrescamento (pannelli radianti e ventilconvettori) conferisce inoltre alle abitazioni un elevato comfort ambientale, così da soddisfare anche le esigenze dell'utenza finale.

L'intervento racchiude tutti gli aspetti più critici che si possono riscontrare nell'affrontare il tema della ristrutturazione nell'ottica del risparmio energetico e della sostenibilità, scegliendo soluzioni adatte anche al comfort e all'efficienza energetica. Le soluzioni previste per l'esterno permettono di raggiungere un risultato finale del tutto integrato con il nucleo urbano di appartenenza, migliorando inoltre il fronte sulla via pubblica tramite l'innalzamento di un piano del blocco A, così da allineare i fili di gronda dell'edificio con

quello adiacente. Dal fronte stradale non sono visibili i pannelli fotovoltaici, che contribuiscono alla produzione a impatto zero di energia elettrica, senza quindi deturpare l'aspetto delle coperture, la cui realizzazione del rivestimento in tegole rispecchia la tradizione edilizia del centro storico milanese.

5.4.5 Sostituzione edilizia dei blocchi C ed F

I fabbricati C e F vengono demoliti e ricostruiti, pertanto l'intervento che li caratterizza è molto differente dai precedenti, non tanto per quanto riguarda le soluzioni scelte, ma poiché è maggiormente vincolato dagli aspetti di efficienza energetica piuttosto che dal punto di vista della conservazione e del recupero di elementi costruttivi caratteristici.

La sostituzione edilizia, come è stato analizzato, è come se rientrasse nel regolamento della nuova costruzione dal punto di vista energetico, seppur con i propri vincoli specifici.

Il corpo C è stato rifatto mantenendo il perimetro, la sagoma e la volumetria: il progetto prevede che occupi al piano terra una superficie di 572 metri quadrati, elevandosi per tre piani fuori terra. Si prevede un innalzamento del corpo di fabbrica così da allinearne i fili di gronda con quelli del Blocco A e dell'edificio adiacente a quest'ultimo, che si affaccia su viale Montello. L'immobile F, strutturalmente degradato e impossibile da recuperare, viene demolito e la ricostruzione ricalca in piccola parte il perimetro dell'immobile demolito. L'edificio si estende per una superficie di 100 metri quadrati per ogni piano. Lo spazio ricavato dalla demolizione del corpo F, come visibile dalla Figura 99, permette di creare il secondo cortile interno sui cui si affacciano gli edifici D, E, F e in parte quello C.

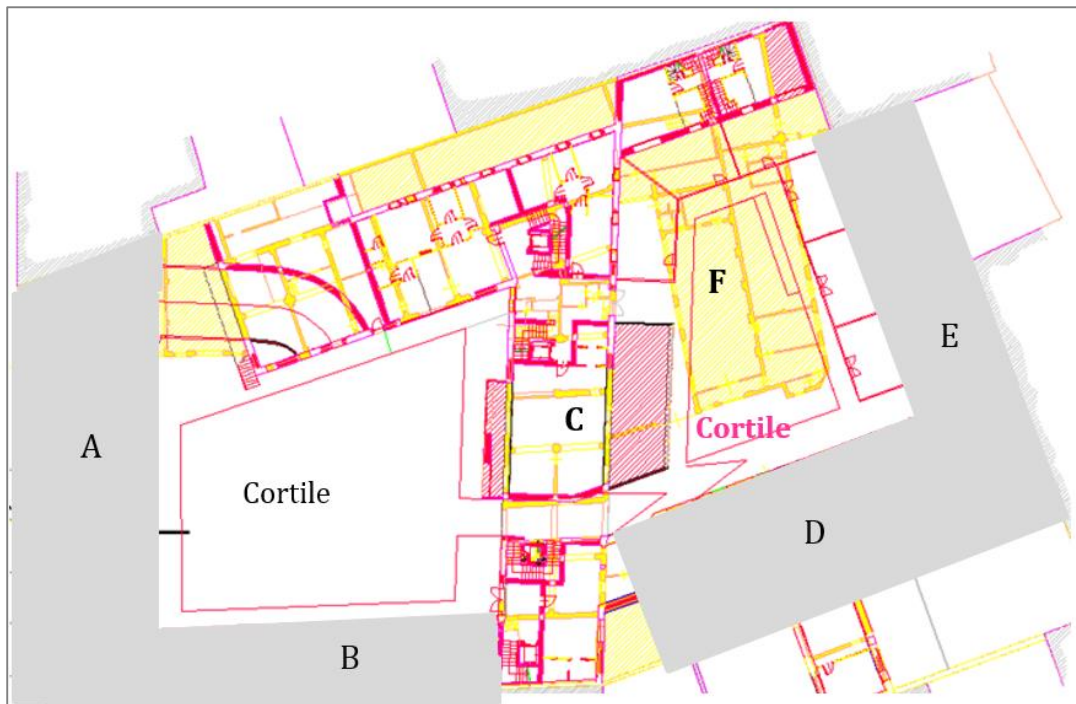


Figura 99: Demolizioni (in giallo) e ricostruzioni (in rosso) dei blocchi C e F. Dalla demolizione del corpo F si ricava il secondo cortile.

La progettazione dei nuovi fabbricati è stata eseguita tenendo conto del fatto che i corpi non solo si trovano all'interno di una specifica area urbana, ma sono anche parte integrante di un complesso edilizio composto da altri quattro edifici (A, B, D, E), da cui non si può prescindere.

È necessario tenere conto dell'aspetto esteriore degli altri fabbricati per poter realizzare al meglio quelli nuovi: va mantenuta la finitura della facciata in intonaco giallo-Milano, si riprendono i sistemi di oscuramento dei serramenti in legno di colore grigio, la copertura in coppi e i parapetti in ferro.

In Figura100 è riportato come esempio il prospetto che dà sul cortile principale del corpo C, a dimostrazione del fatto che gli elementi che compongono i fronti dei tre blocchi sono pensati per essere estremamente uniformi e in linea con le caratteristiche compositive del nucleo urbano di cui fanno parte.

L'edificio C si compone di 18 appartamenti e di un grande laboratorio al piano terra; il corpo F, dalle dimensioni molto più ridotte, ospita due appartamenti che si dispongono su due piani, serviti da una scala interna. Le piante complete, comprensive degli altri sei blocchi, sono riassunte nel paragrafo 5.4.6.

La struttura dei due copri prevede un telaio di travi e pilastri in cemento armato. Le soluzioni tecniche delle pareti e delle coperture sono illustrate nel paragrafo seguente.

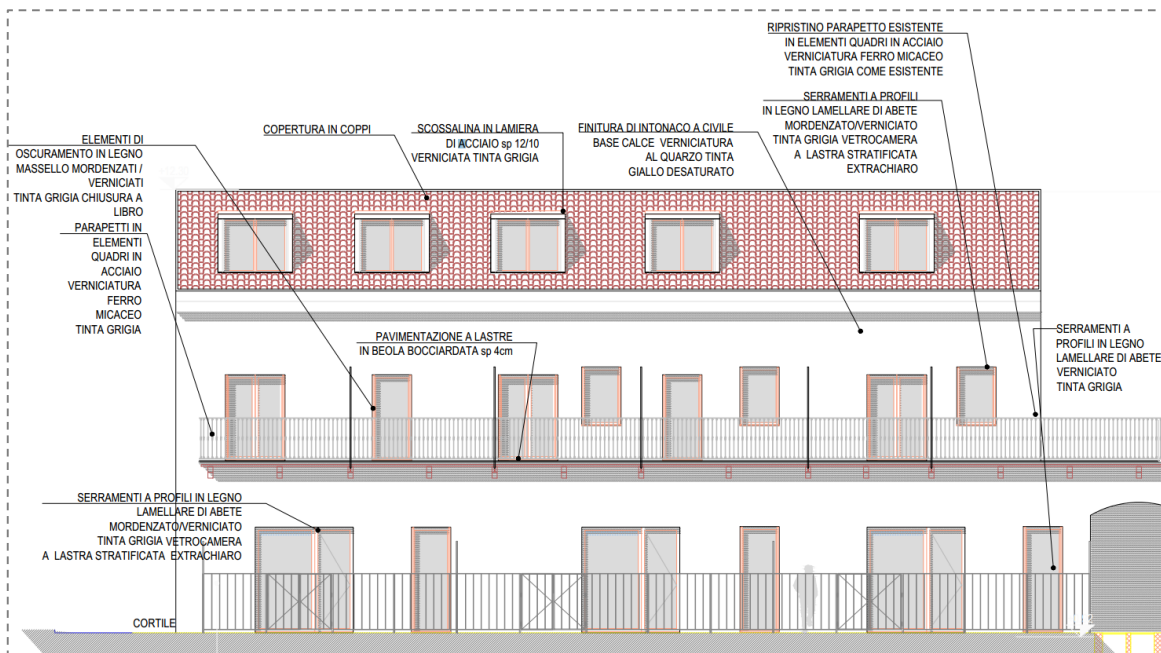


Figura 100: Porzione di prospetto del corpo C che dà sul cortile principale. Sono evidenziati gli interventi che conferiscono all'edificio uniformità con gli altri blocchi.

5.4.5.1 Abachi degli elementi tecnici

L'intervento di sostituzione edilizia dei due corpi di fabbrica deve sottostare a vincoli energetici piuttosto restrittivi; a tale proposito, oltre a progettare un impianto valido dal punto di vista dell'efficienza energetica e del rispetto dell'ambiente, è necessario scegliere delle soluzioni prestanti anche per l'involucro.

Si realizza una parete esterna a cappotto, dalle ottime prestazioni e di semplice e rapida realizzazione, con struttura portante in Poroton. Di seguito le caratteristiche della chiusura perimetrale verticale opaca.

Le stratigrafie della copertura e dei solai sono identiche a quelle stabilite per i corpi A, B, D, E, le cui caratteristiche sono riassunte nelle Tabelle 24-25-26.

Chiusura verticale opaca - Parete esterna a cappotto				
Strato	Materiale	Spessore [m]	Conduttività λ [W/mK]	Resistenza termica [m ² k/W]
Resistenza superficiale interna R_{si}		-	-	0,13
1	Intonaco plastico per cappotto	0,006	0,33	0,018
2	Styrodur pannello isolante	0,14	0,038	3,684
3	Malta di cemento	0,01	1,4	0,007
4	Poroton P700	0,25	0,162	1,543
5	Aria	0,02	0,11	0,182
6	Poroton P700	0,08	0,162	0,494
7	Intonaco di calce e gesso	0,015	0,7	0,021
Resistenza superficiale esterna R_{se}		-	-	0,04
Spessore totale				0,521 m
Trasmittanza				0,163 W/m²K
Verifica				< 0,290 W/m²K

Tabella 42: Caratteristiche della chiusura verticale opaca a cappotto dei copri C e F.

Si riporta inoltre la verifica dello sfasamento termico della parete in Figura 101.

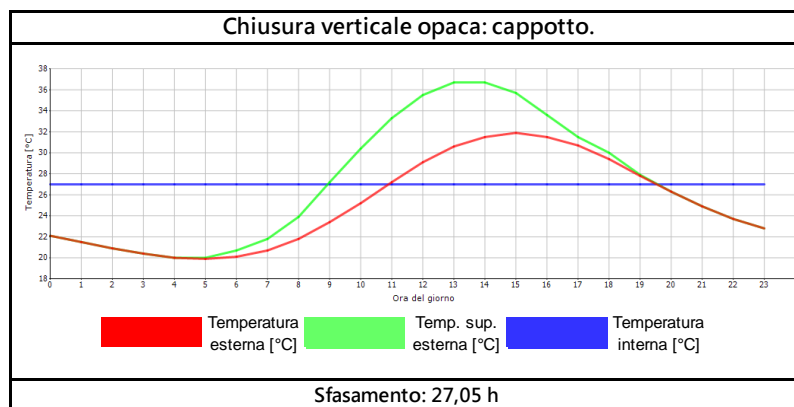


Figura 101: Sfasamento termico della parete a cappotto.

5.4.5.2 Sistema impiantistico

Il sistema di servizi tecnologici è centralizzato e realizzato insieme a quello dei blocchi A, B, D, E, poiché la centrale è unica e le scelte realizzative le medesime.

Il sistema sfrutta, quindi, delle pompe di calore reversibili a servizio di pannelli radianti per il riscaldamento e di ventilconvettori per il raffrescamento. Durante il funzionamento estivo le pompe invertono il loro funzionamento dalla produzione del caldo alla produzione del freddo.

Le pompe sono inoltre adibite alla produzione di acqua calda sanitaria. Il progetto originario prevedeva l'integrazione di un sistema solare termico ad integrazione della pompa di calore, che è stato successivamente abbandonato in quanto non strettamente necessario nel raggiungere la quota di energia da fonti rinnovabili utilizzate.

Anche in questo caso, la regolazione avviene in modo autonomo per i singoli appartamenti. Ogni alloggio è munito di un contabilizzatore con valvola di zona così da consentire il funzionamento indipendente dei diversi alloggi; i singoli ambienti sono muniti di termostati che agiscono sui collettori dei pannelli a pavimento, mentre i ventilconvettori sono muniti di un proprio pannello di controllo installato a bordo degli stessi

Le scelte impiantistiche intraprese sono ottimali e adatte alle esigenze di tutti e sei i fabbricati che compongono il complesso edilizio, poiché raggiungono alti livelli di prestazione energetica, sono efficienti anche dal punto di vista realizzativo, rispettano i limiti di legge, e, inoltre, garantiscono un elevato comfort interno, simile per tutti e sei gli edifici, uniformandoli dal punto di vista funzionale, oltre che estetico e decorativo. Questo permette di realizzare un'unica centrale impiantistica e di avere meno difficoltà nella realizzazione del sistema di distribuzione, di per sé complesso poiché la posizione della centrale nello spazio di risulta della rampa per le automobili a servizio dei box non è ottimale e risulta distante da alcune delle utenze da servire.

5.4.5.3 Studio energetico e dimensionamento del sistema impiantistico

I componenti dei servizi tecnologici sono dimensionati in base al fabbisogno energetico degli edifici. Si riportano i risultati dei calcoli energetici, effettuati secondo le modalità descritte per gli interventi precedenti (cfr. § 5.4.3.4), relativi ai nuovi edifici C ed F, insieme con le dimensioni dei volumi e delle superfici disperdenti totali (Tabella 43).

Corpo	Superficie pavimento netta [m ²]	Volume [m ³]	Superfici disperdenti [m ²]													Tot per corpo
			Opache							Altre	Trasparenti					
			N	W	S	E	Copert.	Pav (suolo)	N		W	S	E	Copert.		
C	1192,9	4171,9	400	570	509	451,4	336,6	393,3	980	25	68	27,2	48,8	193,7	3809,3	
F	171,8	572	142,6	54	126,8	47	228	230	0	23,8	0	0	0	0	852,2	
Totali	1364,7	4743,9	542,6	624,0	635,8	498,4	564,6	623,3	980,0	48,8	68,0	27,2	48,8	193,7	4662	

Tabella 43: Superfici disperdenti suddivise per esposizione e tipologia; superficie di pavimento netta e volume climatizzato dei blocchi C, F.

5.4.5.3.1 Disperdimenti invernali

Per il calcolo dei disperdimenti invernali per trasmissione si utilizzano le stesse differenze di temperatura e gli stessi coefficienti correttivi utilizzati precedentemente, in quanto gli edifici sono tutti collocati a Milano (cfr. § 5.3.4.3.1 e § 5.4.3.1.4). Per le trasmittanze si utilizzano i seguenti valori:

$U_{\text{PARETE ESTERNA}}$	0,163	[W/m ² °C]
$U_{\text{COPERTURA}}$	0,241	[W/m ² °C]
$U_{\text{PAVIMENTO (SUOLO)}}$	0,267	[W/m ² °C]
U_{VETRI}	1,3	[W/m ² °C]
$U_{\text{PARETE INTERNA}}$	0,267	[W/m ² °C]

I disperdimenti per trasmissione sono riportati in Tabella 44 e 45.

Corpo	Dispersioni per trasmissione [W]													Tot per corpo
	Opache							Altre	Trasparenti					
	N	W	S	E	Copert.	Pav (suolo)	N		W	S	E	Copert.		
C	3988,3	5693,3	5079,3	4504,4	3029,2	1774,7	9820	954	2547,3	1014,9	1638,2	7239,5	47283,5	
F	1422,6	538,3	1265,2	468,7	0,0	1037,8	0	890	0	0	0	0	5622,61	
Totali	5410,9	6231,6	6344,5	4973,1	3029,2	2812,5	9820,4	1844,0	2547,3	1014,9	1638,2	7239,5	52906	

Tabella 44: Dispersioni per trasmissione dei corpi C, F.

Corpo	Volume [m ³]	Disperdimenti per ventilazione [W]
C	4171,9	17417,7
F	572	2388,1
Totali	4743,9	19806

Tabella 45: Dispersioni per ventilazione dei corpi C, F.

Il fabbisogno di acqua calda sanitaria considerando il massimo tra il carico di picco e quello di uso contemporaneo è di **96,5 kW**.

I ponti termici considerati sono quelli in corrispondenza dei pilastri e dei serramenti, riassunti in Tabella 46.

Ponte termico pilastro		
Lunghezza tot.	6800	m
$Q_{PT,p}$	11,9	kW

Ponte termico serramenti		
Lunghezza tot.	903	m
$Q_{PT,s}$	4,5	kW

Tabella 46: Ponti termici dei corpi C, F.

5.4.5.3.2 Apporti termici estivi

Gli apporti termici da contrastare nella stagione estiva per gli edifici C ed F sono riassunti in Tabella 47.

APPORTI TERMICI [W]		Blocchi C,F
SENSIBILI		
SUP. TRASP.	Trasmissione	1470
	Irraggiamento	12589
SUP. OPACHE	Trasmissione	15785
ENDOGENI	PERSONE	14560
	LUCI	8800
VENTILAZIONE		4227
TOTALI SENSIBILI		57431
LATENTI		
PERSONE		19040
TOTALI LATENTI		19040
POTENZA TOTALE		76471

Tabella 47: Apporti termici estivi totali riferiti ai Corpi C e F.

5.4.5.3.3 Potenza dei generatori

Le pompe di calore vengono dimensionate sulle dispersioni e sugli apporti totali richiesti, maggiorati, a favore di sicurezza, del 10%. Si ottengono le potenze totali:

$$W_{\text{Termica,tot}} = (52906 + 19806 + 16400) W * 1,1 = 98020 W = \mathbf{98,02 kW}$$

$$W_{\text{Frigoriferica,tot}} = 76471 W * 1,1 = 84118,1 W = \mathbf{84,1 kW}.$$

Le pompe di calore servono sia l'impianto di riscaldamento e acqua calda sanitaria che quello di raffrescamento, perciò vanno dimensionate sul carico maggiore, che corrisponde al fabbisogno invernale di riscaldamento e acqua calda sanitaria, di poco maggiore rispetto a quello estivo. Si utilizzano, anche in questo caso, due pompe di calore reversibili elettriche *Climaveneta AWR-HT - 0302* dalla potenza di refrigerazione di 91,7 kW e di riscaldamento di 102 kW ognuna. Le caratteristiche dei generatori sono riassunti nella Tabella 48 seguente.

GRANDEZZA		0122	0152	0202	0262	0302
AWR-HT /CA-E						
REFRIGERAZIONE	(1)					
Potenza frigorifera	kW	34,1	43,8	60,3	76,4	91,7
Potenza assorbita totale (unità)	kW	11,6	14,7	20,4	25,8	31,3
EER		2,94	2,98	2,96	2,96	2,93
ESEER		3,4	3,34	3,4	3,38	3,35
Portata acqua scambiatore	m³/h	5,87	7,54	10,4	13,2	15,8
Perdita di carico scambiatore	kPa	8,10	9,21	11,0	14,5	18,2
AWR-HT /CA-E						
RISCALDAMENTO	(2)					
Potenza termica	kW	38,0	51,3	68,8	84,9	102
Potenza assorbita totale (unità)	kW	10,7	14,4	19,4	23,6	27,7
COP		3,55	3,56	3,55	3,60	3,68
Portata acqua scambiatore	m³/h	6,60	8,91	12,0	14,8	17,7
Perdita di carico scambiatore	kPa	10,2	12,9	14,6	18,3	22,9

Tabella 48: Caratteristiche delle pompe di calore reversibili *Climaveneta AWR-HT - 0302*.

Come prima ipotesi di funzionamento si era ipotizzato un sistema di acqua calda sanitaria integrato con il solare termico. Le prestazioni ottime delle pompe di calore elettriche hanno però permesso di evitare l'installazione di questo sistema, risparmiando così dal punto di vista economico, degli ingombri e dell'impatto visivo dei collettori solari necessari (cfr. § 5.4.5.4).

Lo schema funzionale definitivo di riscaldamento degli alloggi situati nei blocchi C, F è rappresentato in Figura 102; nel funzionamento estivo, la valvola a tre vie posta sulla seconda pompa di calore permette di far lavorare una pompa quasi sempre a caldo a produzione di acqua calda sanitaria mentre l'altra a freddo, garantendo così una durata di vita utile delle macchine elevata e diminuendo gli oneri di manutenzione.

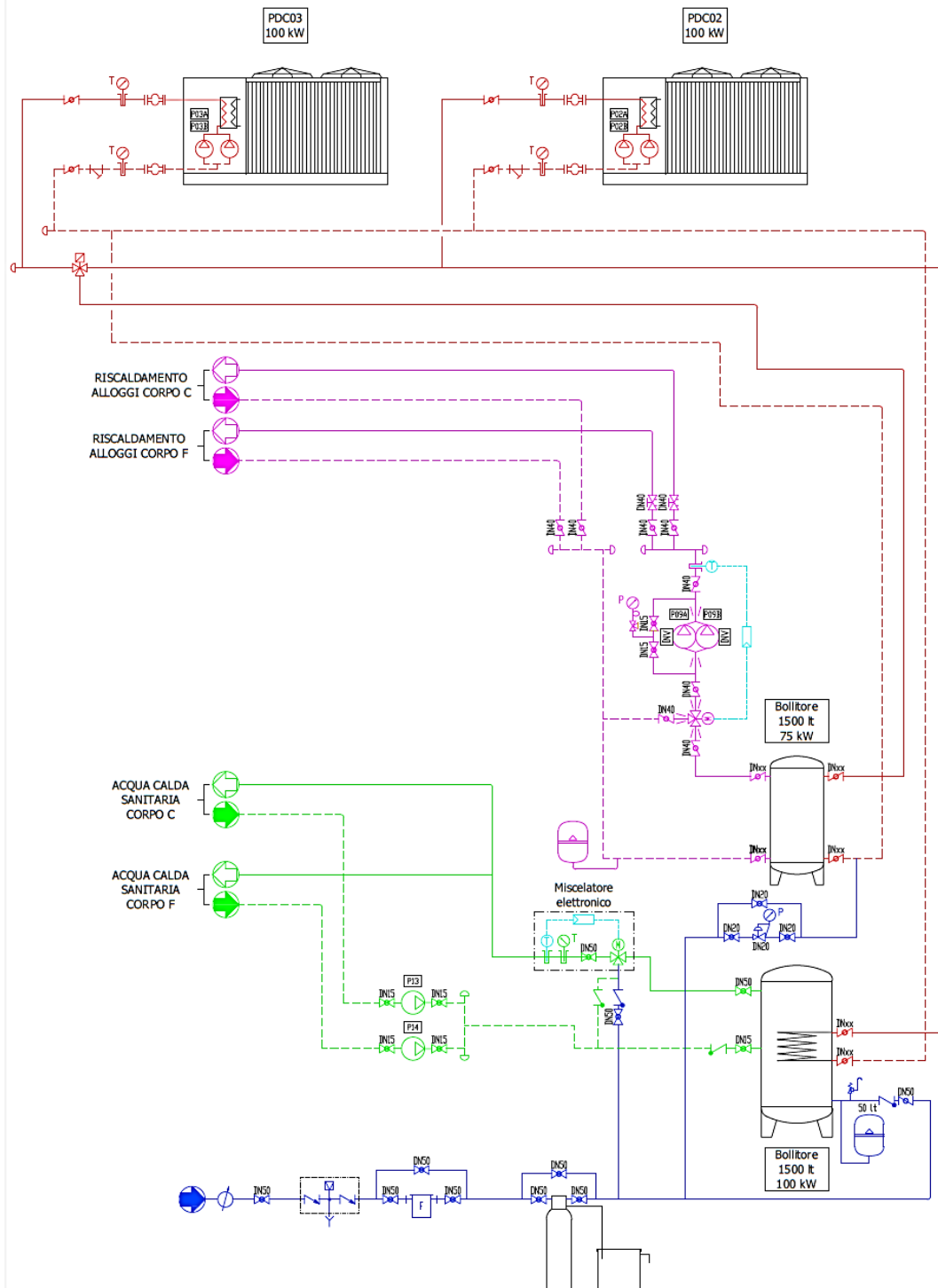


Figura 102: Schema funzionale dell'impianto di acqua calda sanitaria e di riscaldamento dei corpi C, F.

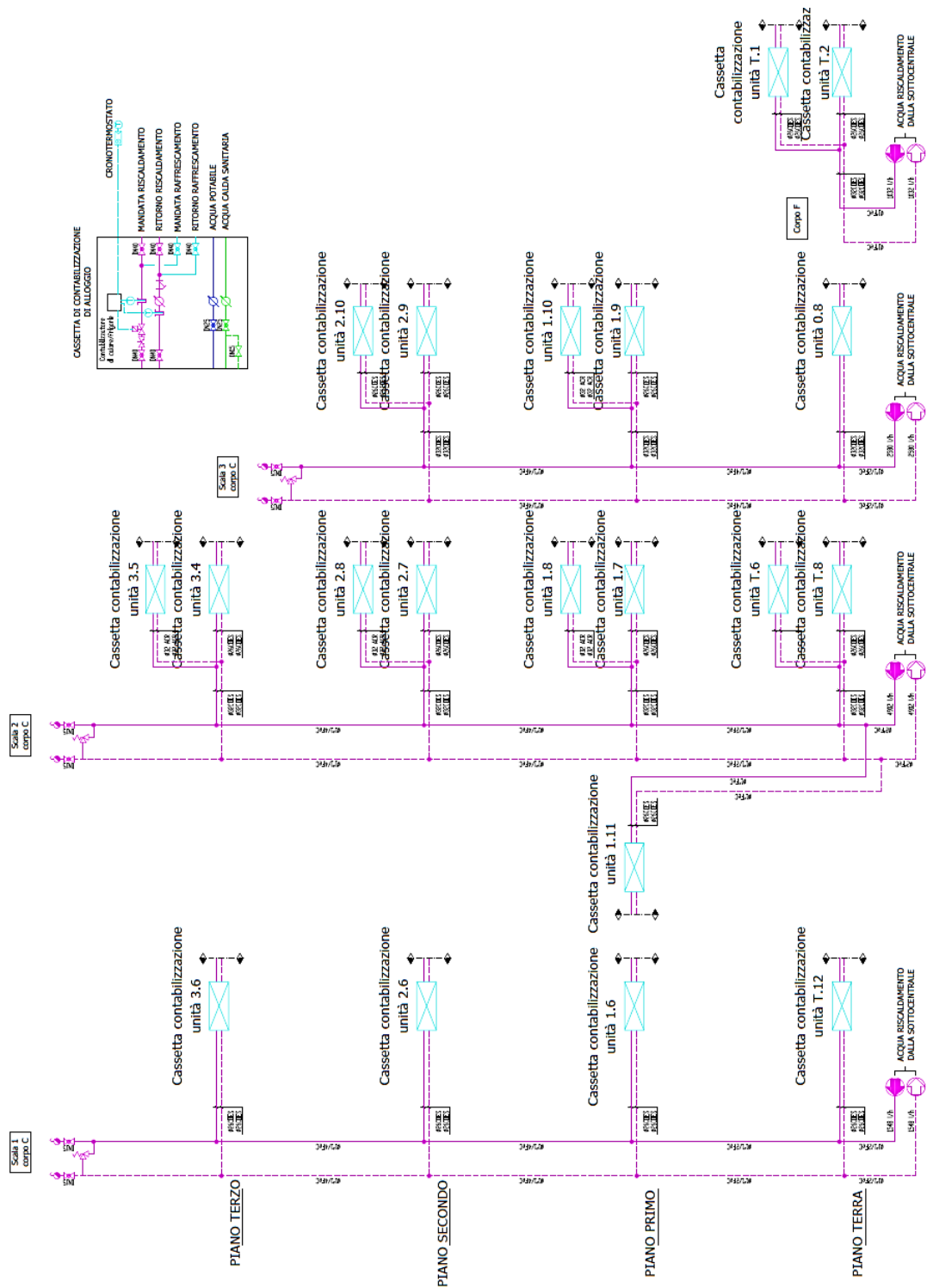


Figura 103: Montanti di distribuzione dell'impianto di riscaldamento dei corpi C e F.

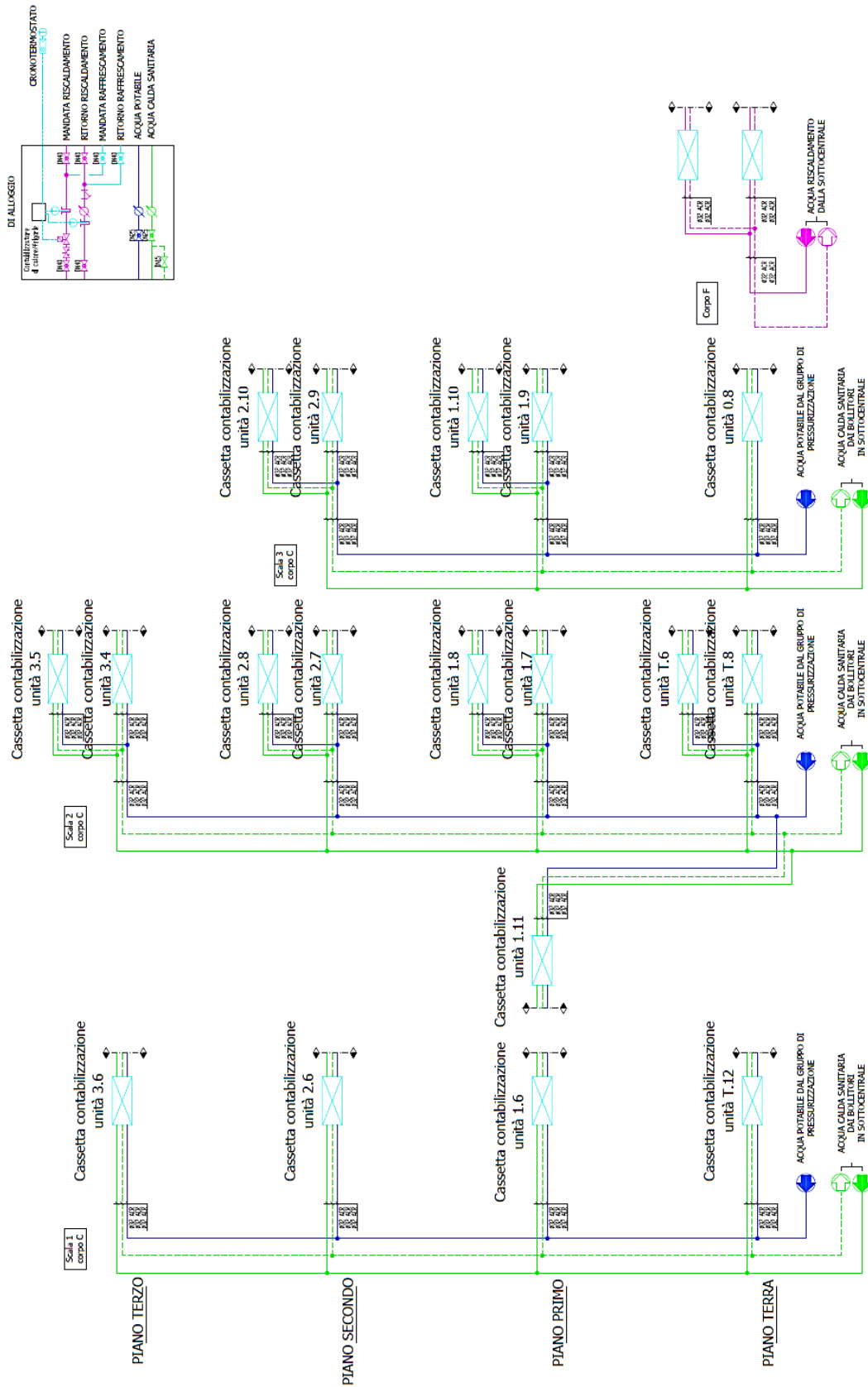


Figura 104: Montanti di distribuzione dell'acqua potabile e dell'acqua calda sanitaria dei corpi C e F.

5.4.5.3.4 Impianto fotovoltaico

In copertura dell'edificio C sono installati 125 metri quadrati di pannelli fotovoltaici diretti verso Sud, inclinati di 22°, mentre sul corpo F, dalla superficie di copertura disponibile molto ridotte, non ne sono installati alcuni. In Tabella 49 sono riassunte le caratteristiche dei pannelli in silicio policristallino *Aleo Solar S18 K260* scelti, che sono uguali a quelli utilizzati per l'intervento di ristrutturazione edilizia degli altri quattro edifici. Il performance ratio calcolato (cfr. Tabella 34) ha permesso di conoscere la quantità di energia elettrica prodotta (Tabella 50).

Dati elettrici (STC)		S18 K260	Dati di base modulo		
Potenza nominale	P_{MPP}	260 Wp	Lungh. x largh. x h	1660 x 990 x 50	mm
Tensione nominale	U_{MPP}	30,5 V	Peso	20	Kg
Corrente nominale	I_{MPP}	8,51 A	Numero di celle	60	
Tensione a vuoto	U_{OC}	37,7 V	Dimensioni cella	156 x 156	mm
Corrente di corto circuito	I_{SC}	9,01 A	Materiale cella	Si-poli	
Rendimento	η	15,8 %	Copertura frontale	Vetro solare (VST)	
Dati elettrici (NOCT)			Materiale di cornice	Lega di Al	
Potenza	P_{MPP}	190 W			
Tensione	U_{MPP}	27,6 V			
Corrente	I_{MPP}	6,89 A			
Tensione a vuoto	U_{OC}	34,6 V			
Corrente di corto circuito	I_{SC}	7,33 A			
Rendimento	η	14,5 %			

Tabella 49: Caratteristiche dei pannelli fotovoltaici Aleo Solar S18 K260.

N° Mese	H_T MJ/m ²	η_{mod} -	R_p -	A_{gen} m ²	W_{prod} MJ	
1	162	0,158	0,73	125	2332	
2	241	0,158	0,73	125	3479	
3	426	0,158	0,73	125	6131	
4	532	0,158	0,73	125	7663	
5	621	0,158	0,73	125	8952	
6	648	0,158	0,73	125	9333	
7	735	0,158	0,73	125	10584	
8	630	0,158	0,73	125	9074	
9	481	0,158	0,73	125	6927	
10	330	0,158	0,73	125	4759	
11	180	0,158	0,73	125	2595	
12	146	0,158	0,73	125	2103	kWh
Totale annuale	5131			Totale annuale	73931	20.479

Tabella 50: Produzione annuale di energia elettrica dei pannelli fotovoltaici installati in copertura del corpo C.

5.4.5.3.5 Fabbisogno energetico

L'intervento di sostituzione edilizia presuppone che il fabbisogno di energia primaria degli edifici non sia superiore ai 29 kWh/m²anno, così da rientrare nella classe energetica A. Tramite il software Cened+ si è studiato il fabbisogno di energia primaria dei due diversi edifici, poiché entrambi vincolati a soddisfare i requisiti di consumo previsti dalla legge. In Tabella 51 sono riassunti i dati utilizzati.

Località	Milano
Zona climatica	E
Gradi Giorno	2404
Giorni di riscaldamento	183

	C	F	
Superficie disperdente	2420,4	163,8	m ²
Volume netto	4171,9	572	m ³

Tabella 51: Dati climatici di riferimento e superfici disperdenti e volumi riscaldati dei corpi C e F.

Il fabbricato F, più piccolo, con una superficie disperdente minore, è caratterizzato da prestazioni leggermente migliori rispetto al corpo C. Il fabbisogno di energia primaria dell'edificio F è di 24,72 kWh/m²anno (Figura 105), mentre l'indicatore di prestazione energetica legato al raffreddamento prevede un fabbisogno estivo di 18,65 kWh/m²anno.

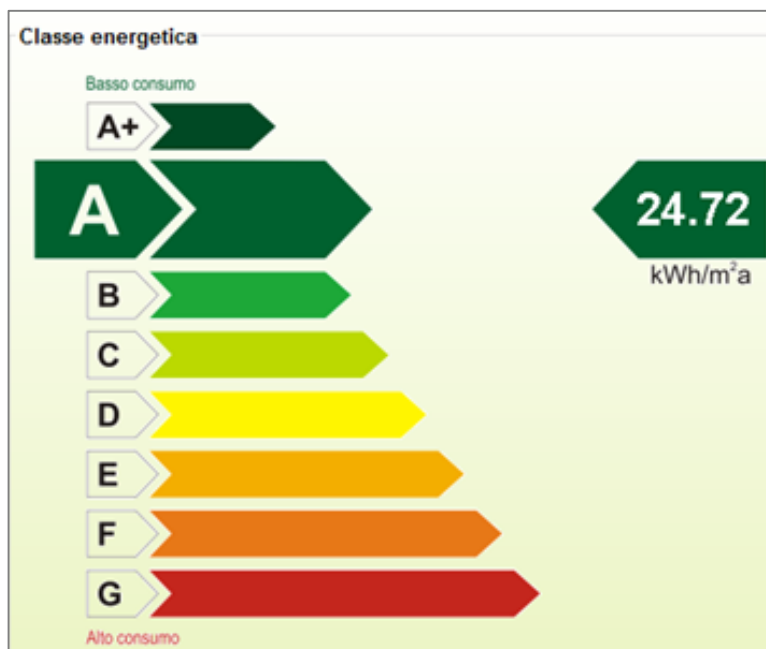


Figura 105: Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento dell'edificio F. [Fonte: Software Cened+]

I corpi C e F hanno un fabbisogno complessivo di energia primaria di 25,39 kWh/m²anno (Figura 106), mentre un fabbisogno estivo di 21,81 kWh/m²anno.

In entrambi i casi sono soddisfatti i limiti di legge previsti ed è stato quindi raggiunto l'obiettivo di realizzare due edifici dalle ottime prestazioni energetiche.

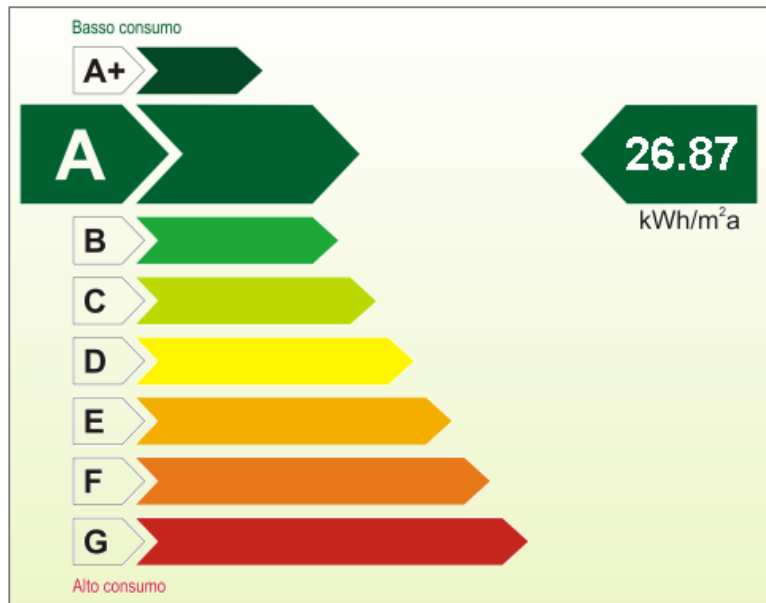


Figura 106: Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e classe energetica di riferimento del blocco C. [Fonte: Software Cened+]

5.4.5.4 Utilizzo delle rinnovabili e considerazioni sul tema

La sostituzione edilizia studiata è frutto di un'attenta analisi del contesto insediativo di riferimento, ovvero dell'area urbana e dell'interfaccia con gli altri edifici parte del complesso edilizio, delle caratteristiche peculiari ed estetiche da riprodurre nel rispetto del preesistente, dello studio delle alternative tecnologiche da realizzare per l'involucro edilizio, i sistemi impiantistici e l'utilizzo delle fonti rinnovabili. Un insieme di aspetti molto differenti tra loro ma interconnessi nella realtà del sistema-edificio.

Come analizzato nel paragrafo 5.4.3.1.6, la scelta di utilizzare una pompa di calore elettrica aria/acqua in grado di produrre acqua a elevate temperature e di invertire il proprio ciclo di funzionamento in estate porta a numerosi vantaggi, primo tra i quali l'ingombro ridotto della centrale che rimane unica per quanto riguarda raffrescamento e riscaldamento e anche la produzione di acqua calda sanitaria, e, non secondario, quello di sfruttare un'elevata quota di energia rinnovabile. La quota di energia rinnovabile utilizzata dalla pompa è pari al 72%, questo permette di avere un basso impatto ambientale e di soddisfare i requisiti normativi (Tabella 52).

COP aria 7°C/acqua 55 °C	3,14
--------------------------	------

Mese	Giorni mese	Temp. aria esterna [°C]	Temp. acqua impianto [°C]	COP Corretto in funzione di T_{EXT}	Frazione di energia rinnovabile utilizzata E_{RES}/Q_{USABLE}
Gen	31	1,7	55,0	2,69	0,628
Feb	28	4,2	55,0	2,91	0,657
Mar	31	9,2	55,0	3,32	0,698
Apr	30	14,0	55,0	3,66	0,727
Mag	31	17,9	55,0	3,92	0,745
Giu	30	22,5	55,0	4,20	0,762
Lug	31	25,1	55,0	4,35	0,770
Ago	31	24,1	55,0	4,29	0,767
Set	30	20,4	55,0	4,08	0,755
Ott	31	14,0	55,0	3,66	0,727
Nov	30	7,9	55,0	3,22	0,689
Dic	31	3,1	55,0	2,82	0,645
Valore medio annuale				3,60	0,722

Tabella 52: Prestazioni delle pompe di calore e utilizzo delle fonti rinnovabili.

L'impianto fotovoltaico installato permette di coprire una quota di produzione di energia elettrica pari a 20479 kWh/anno (cfr. Tabella 50), che corrisponde al 21,7% del totale, garantendo un buon risparmio di produzione di energia elettrica da fonti non rinnovabili. La stima del fabbisogno di energia elettrica degli edifici è stata svolta, come in precedenza, valutando le ore di funzionamento dei diversi componenti elettrici e il loro corrispettivo consumo, studiando un appartamento medio dalla superficie di 70 metri quadri, che consuma all'anno circa 4450 kWh/m². Poiché gli appartamenti serviti dall'impianto sono in tutto 21 (è stato escluso il laboratorio al piano terra del fabbricato C), il consumo complessivo di energia elettrica è di 93450 kWh/m²anno.

L'intervento analizzato è differente dai precedenti in quanto la demolizione e ricostruzione permette di avere una più ampia libertà realizzativa e una maggiore facilità di esecuzione, in quanto non si deve affrontare la difficoltà di recuperare strutture esistenti datate o impianti da smantellare e sostituire; tuttavia la realizzazione dei nuovi corpi non prescinde dal preesistente, poiché il corpo principale C viene ricostruito in sagoma e ha la funzione di sostituire il precedente anche dal punto di vista di connettivo tra i due cortili. Mantiene difatti tutte le caratteristiche estetiche dell'edificio che va a sostituire; il blocco C fa parte a tutti gli effetti del complesso edilizio nella sua totalità, tant'è che viene accettato l'intervento di innalzamento dell'ultimo piano per allineare i fili di gronda di tutti i corpi più alti del complesso: i sei blocchi formano una realtà unica e interconnessa.

Il presente caso di studio, tuttavia, mostra come sia possibile costruire da zero un edificio di classe A che risulti completamente integrato nel contesto insediativo di riferimento, che riprenda gli aspetti decorativi e architettonici della tradizione e che non disturbi in nessun modo l'impatto visivo e la percezione paesaggistica dei centri storici.

5.4.6 Tavole riassuntive dell'intervento

A favore di una migliore comprensione degli interventi svolti, si riportano nelle figure seguenti (Figure 107-116) le piante complete di tutti e sei i corpi A, B, C, D, E, F, dal secondo piano interrato fino alla copertura, così da mostrare la distribuzione interna dei diversi piani.

I piani interrati -2 e -1 sono dotati di box e cantine; una rampa curva permette l'accesso delle automobili ai box e tre rampe di scale servono il passaggio pedonale per raggiungere i piani sovrastanti. Nello spazio di risulta della rampa per le auto sono collocate, sui due diversi piani, le componenti delle centrali impiantistiche. Al piano terra sono situate attività commerciali nel blocco A che si affaccia su Viale Montello e numerosi laboratori, per l'intero corpo B e per gran parte del corpo C ed E. Nel blocco C, nella parte sud, è stato ricavato un deposito per le biciclette.

In Figura 101 si mostrano i le diramazioni dei tubi e dei collettori degli impianti dalla centrale posta al secondo piano interrato, fino ai cavedi di distribuzione. Si nota la necessità di passare attraverso le cantine in quanto i confini con le altre proprietà non permettono di sconfinare dal lotto e il passaggio rimane obbligato come indicato.

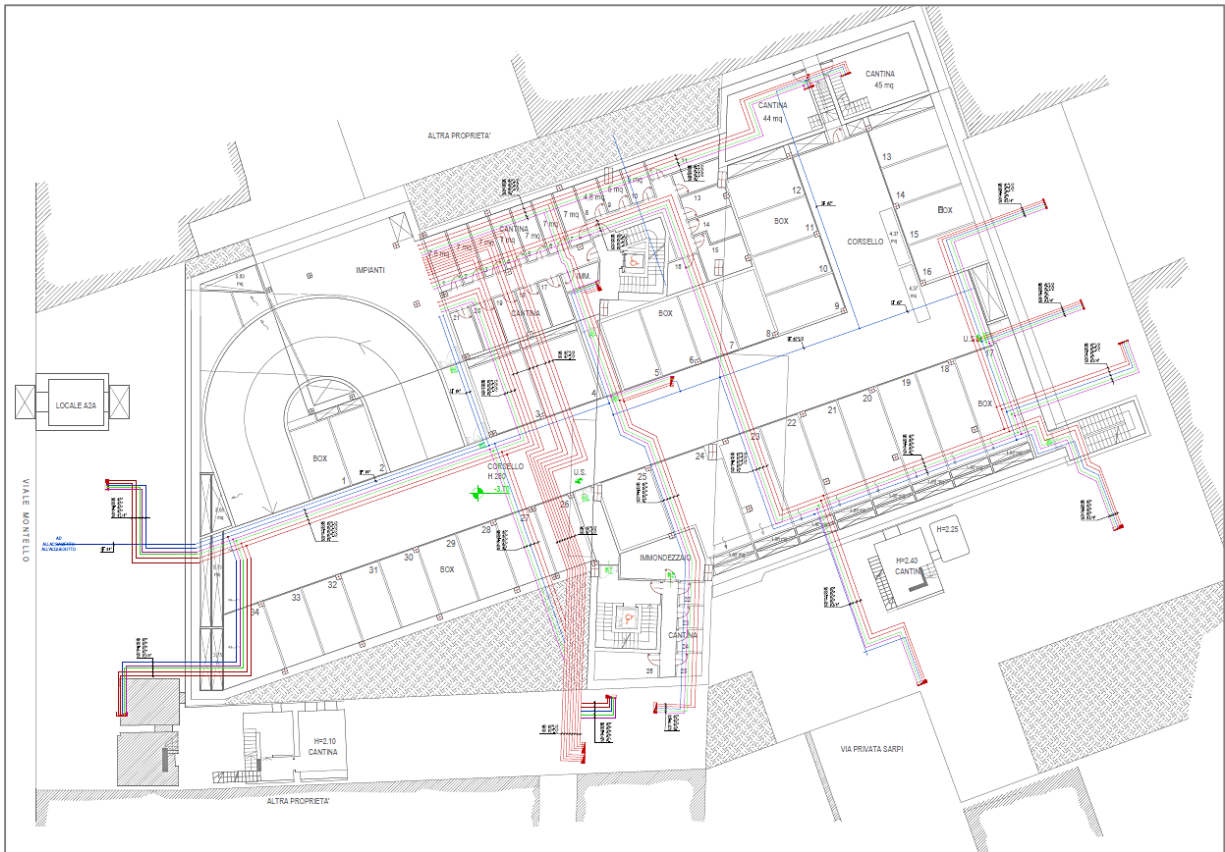


Figura 107: Pianta Piano -2. Distribuzione collettori di riscaldamento acqua calda sanitaria e potabile.

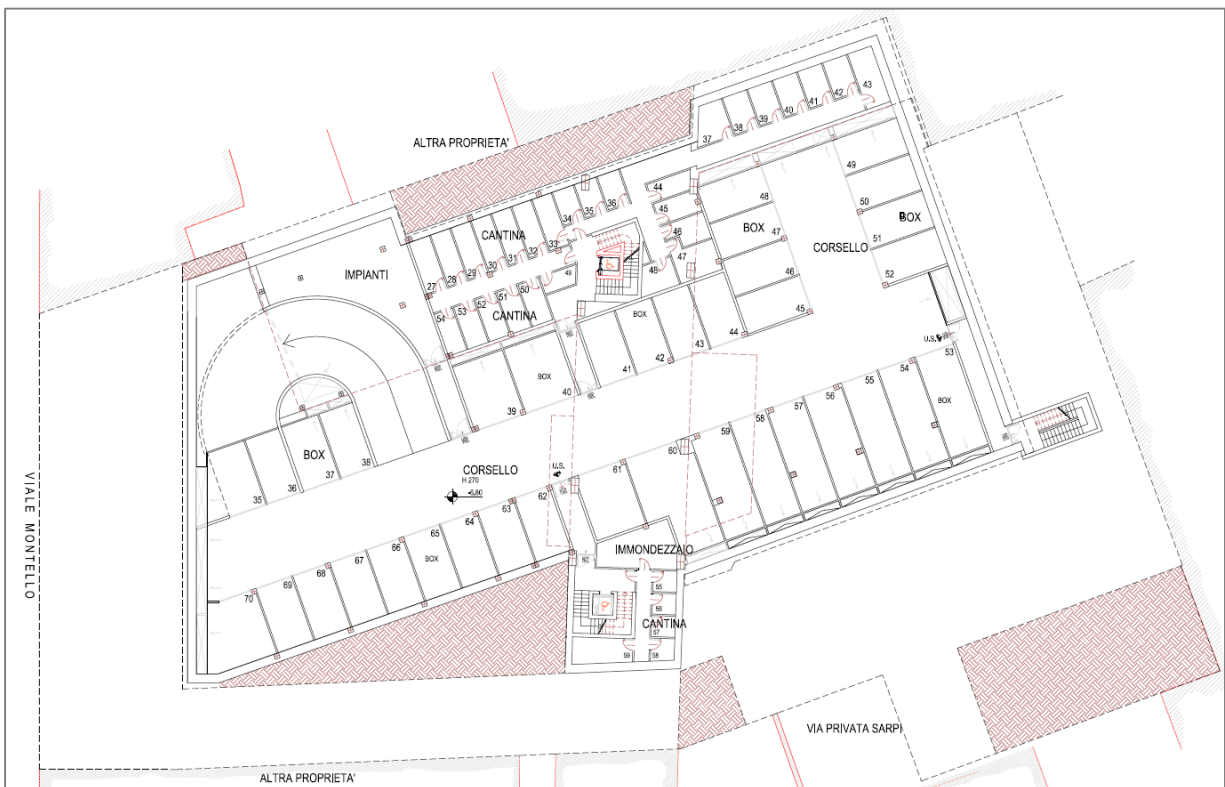


Figura 108: Pianta del Piano Secondo interrato.

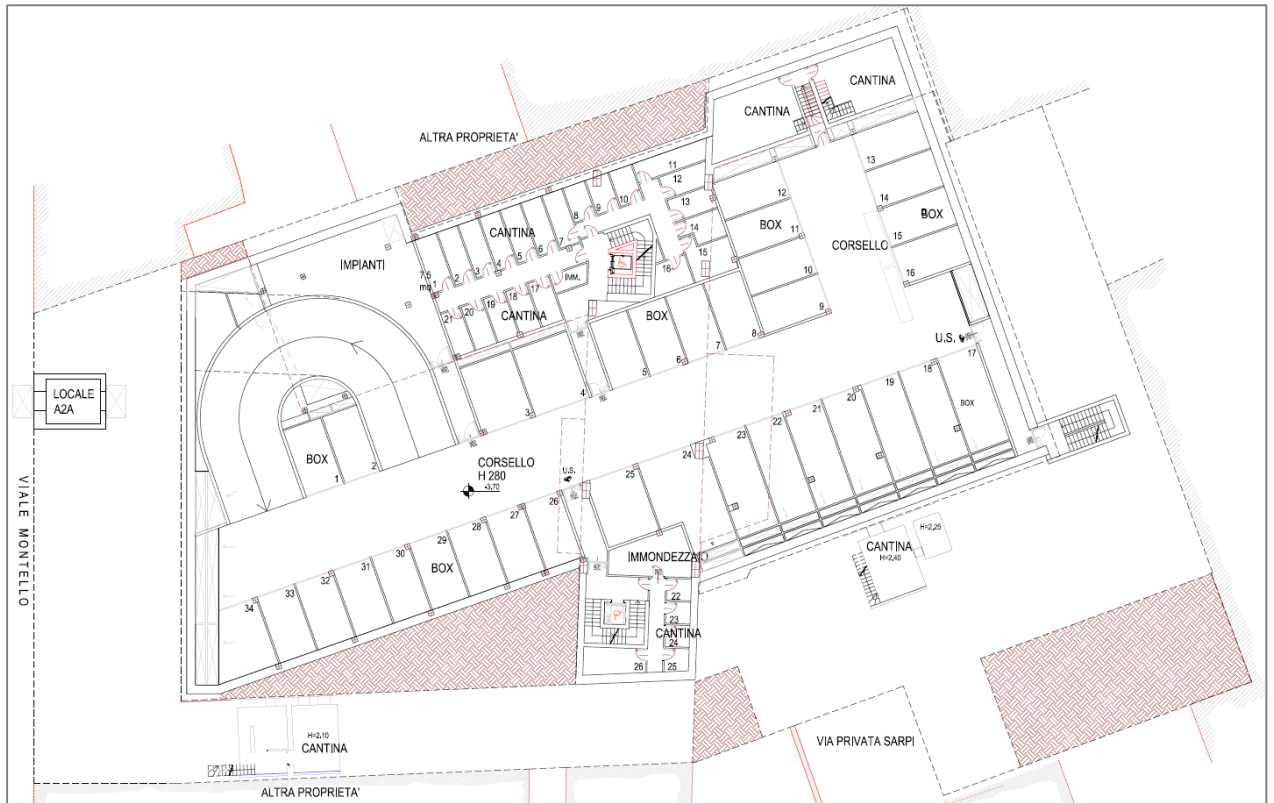


Figura 109: Pianta del Piano Primo interrato.

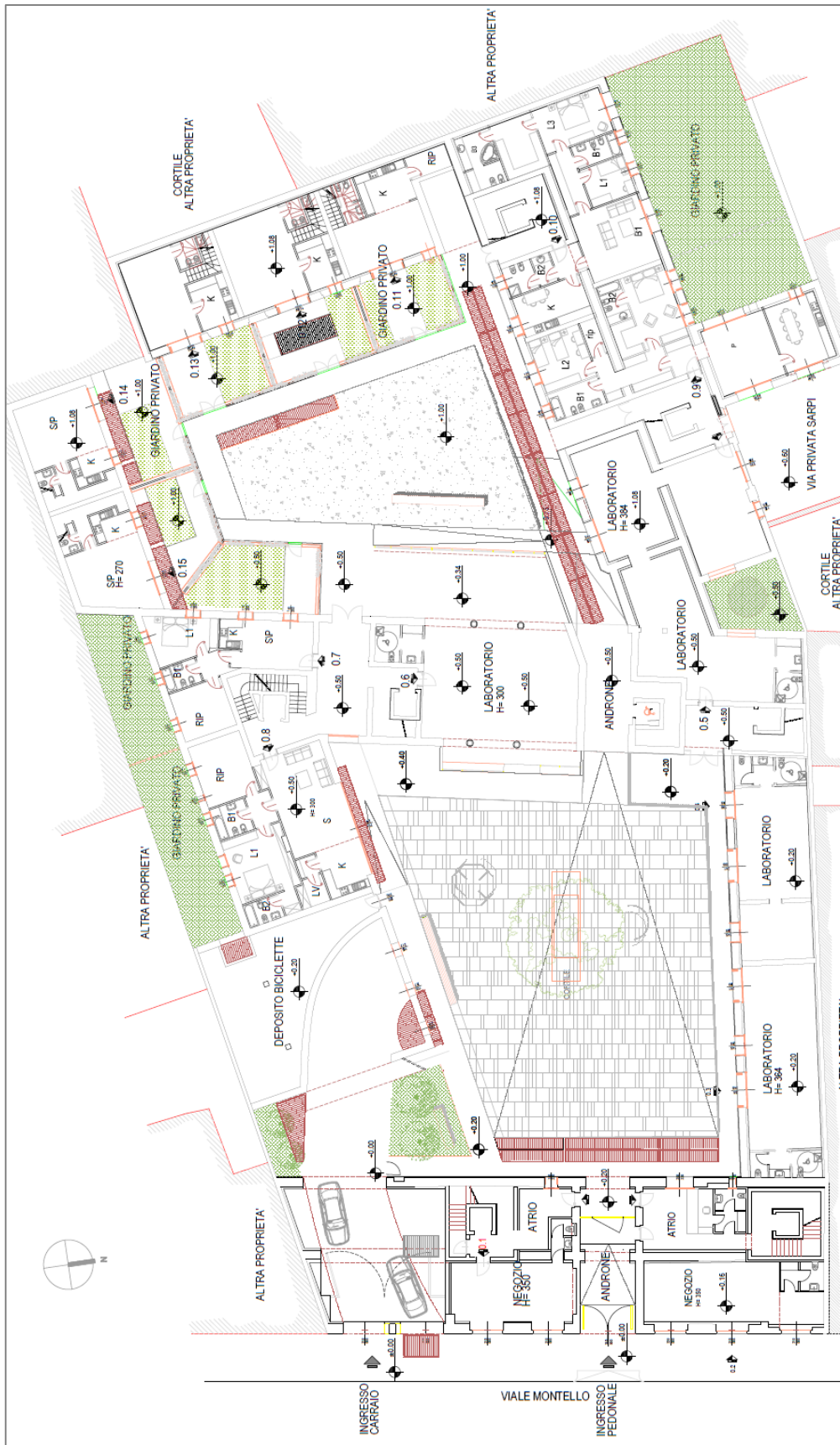


Figura 110: Pianta Piano Terra.

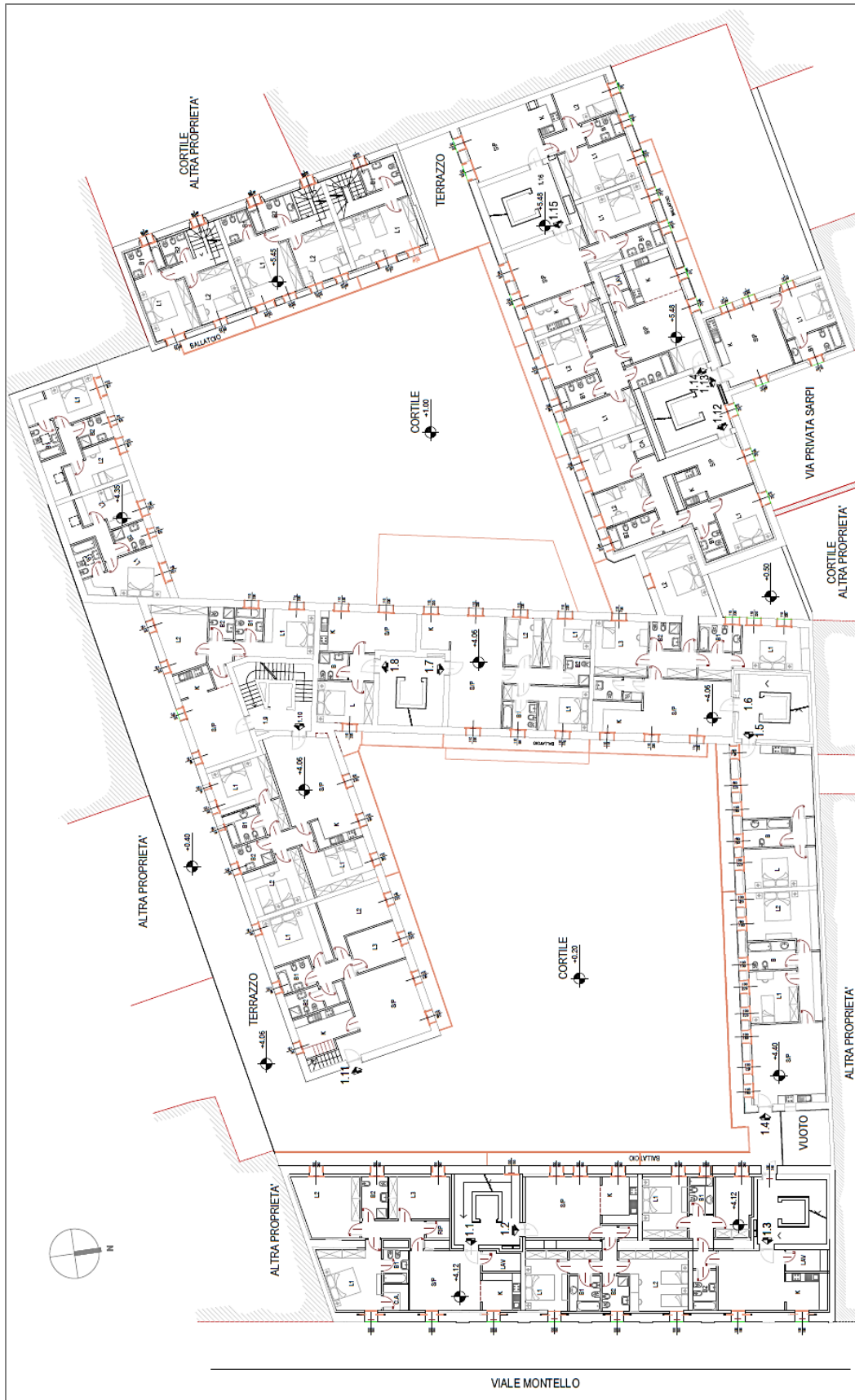


Figura 111: Pinta piano primo.



Figura 112: Pianta piano secondo.

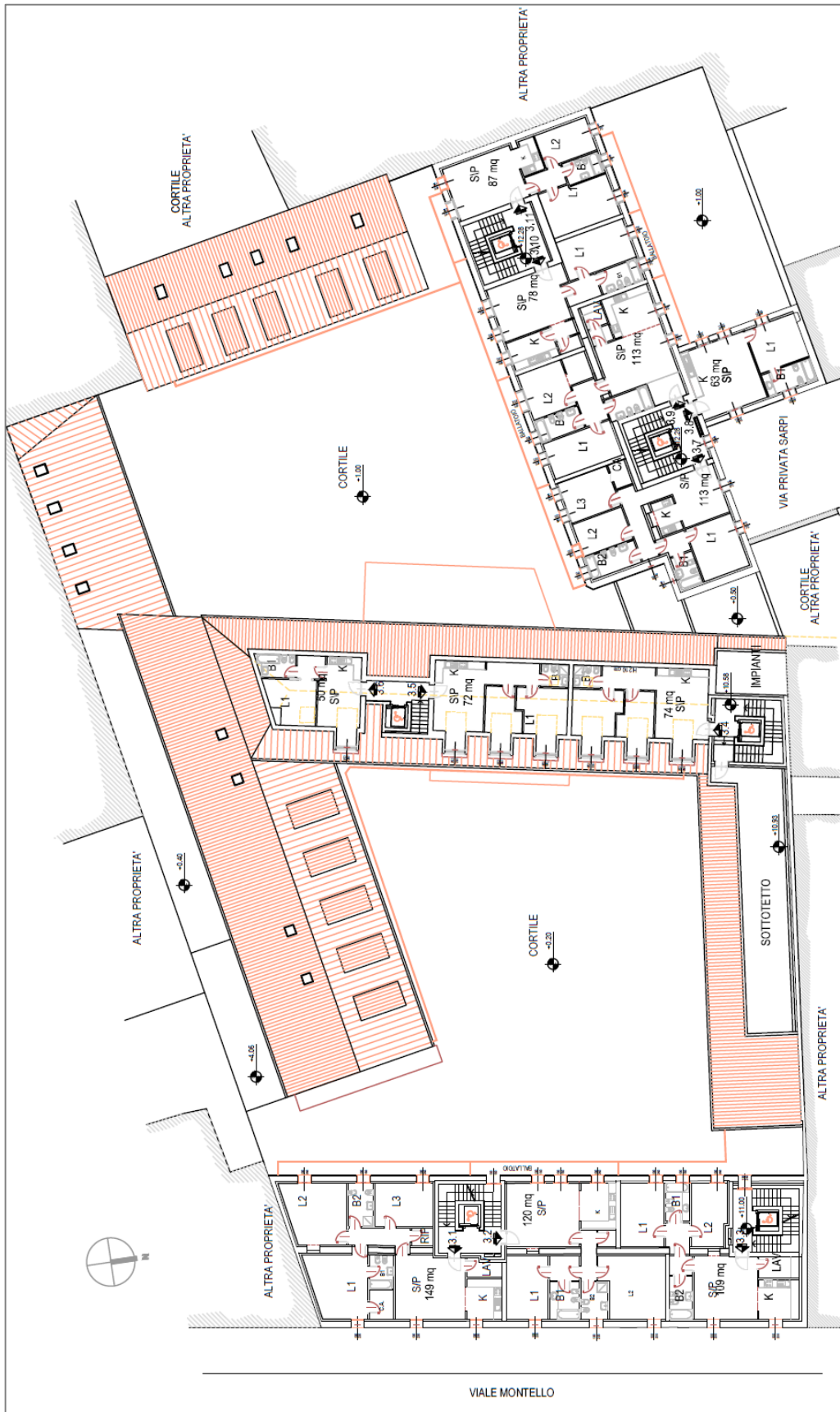


Figura 113: Pianta piano terzo.



Figura 114: Pianta piano quarto.



Figura 115: Pianta piano quinto.



Figura 116: Pianta coperture.

6. Conclusioni

Lo studio svolto individua un approccio metodologico univoco ed efficace per affrontare i tre interventi, diversi per tipologia e vincoli.

Un attento e dettagliato studio delle peculiarità e delle caratteristiche singolari degli edifici e dei contesti insediativi in cui sono ubicati è il punto di partenza imprescindibile affinché si possano intraprendere scelte tecnologiche, tecniche ed estetiche ottimali, adatte all'oggetto edilizio su cui si deve intervenire; tale studio sensibilizza il progettista al tema della tutela ed è inoltre necessario per comprendere al meglio i vincoli di legge, da utilizzare anch'essi come guida nella progettazione.

A questa fase segue quella della valutazione delle diverse soluzioni impiantistiche attuabili, nell'ottica della sostenibilità e dello sfruttamento di energie rinnovabili, in correlazione alle diverse esigenze; tale processo porta ad individuare il sistema tecnologico più funzionale ed efficiente, nel rispetto delle esigenze di tutela.

L'iter procedurale utilizzato nell'affrontare il problema di integrazione degli impianti che sfruttano fonti energetiche rinnovabili in contesti urbani tutelati è riassunto nel diagramma di flusso riportato in Figura 117, che sintetizza le fasi principali caratterizzanti la progettazione e che riassume la procedura standard da seguire per questo tipo di tematica applicata a qualsiasi caso di edificio o contesto urbano storico di pregio artistico.

Il recupero del sottotetto di via Varese dimostra che coniugare l'esigenza di realizzare nuove abitazioni ad alta efficienza energetica con quella di preservare quelle preesistenti aventi caratteristiche differenti è possibile: il sottotetto è dotato di un sistema innovativo che sfrutta una pompa di calore elettrica, reversibile, ad alta efficienza, e di un impianto fotovoltaico in grado di sopperire quasi completamente al consumo di energia elettrica degli appartamenti nel completo rispetto delle abitazioni sottostanti e della salvaguardia delle peculiarità e singolarità che caratterizzano l'edificio del centro storico.

La medesima metodologia e l'approccio adottati nell'affrontare la ristrutturazione e il recupero dei blocchi A, B, D, E hanno portato a simili risultati di efficienza energetica coniugata alla conservazione, riportando un esemplare intervento di riqualificazione, in cui viene mantenuto integralmente, o quasi, il "guscio" esterno dell'edificio, mentre all'interno tutto cambia, nell'ottica del miglioramento dell'efficienza energetica e dell'impatto ambientale.

La sostituzione edilizia dei corpi C, F ha dimostrato come, anche nel realizzare degli edifici nuovi, sia possibile e importante tenere conto di ciò che c'è attorno al manufatto edilizio, a livello urbanistico e a livello di funzionalità spaziale e interazione tra i diversi edifici,

perseguendo sempre l'obiettivo di abbattimento di emissioni e di sfruttamento di fonti energetiche pulite.

In tutti i casi risulta evidente come l'utilizzo della tecnologia della pompa di calore reversibile presenti numerosi vantaggi, sia dal punto di vista funzionale, poiché permette di gestire con un'unica unità compatta non solo la produzione di acqua calda tecnica a scopo riscaldamento e acqua calda per uso sanitario ad alta temperatura, ma anche di acqua refrigerata per il condizionamento estivo, che da quello dello sfruttamento delle risorse rinnovabili. La pompa di calore, grazie alla sua capacità di sfruttare il calore dell'aria (in questo caso) rappresenta ad oggi la migliore soluzione ambientale in termini di emissioni e inquinamento per la produzione di calore a servizio degli impianti tecnologici degli edifici. Nonostante la loro diffusione sia ancora piuttosto limitata, il che comporta dei costi iniziali di installazione piuttosto elevati rispetto alla media, ma che vengono facilmente bilanciati e abbattuti dai costi di esercizio e manutenzione, l'utilizzo di questo tipo di macchine sta prendendo sempre più piede, dimostrando la crescente attenzione al problema ambientale dei nostri tempi.

Gli edifici sono i principali responsabili delle immissioni inquinanti in atmosfera e rappresentano un settore estremamente energivoro, ed è su questo che il presente lavoro ha voluto fare leva, mettendo in evidenza come sia impossibile pensare ad un qualsiasi sistema-edificio come entità a sé stante ed isolata da quello che la circonda, a livello di impatto visivo, paesistico, urbanistico, di interfaccia con gli altri edifici, e, soprattutto, a livello ambientale.

Le tre diverse realtà studiate hanno portato alla luce che sviluppare soluzioni sostenibili e sfruttare le fonti energetiche rinnovabili tramite tecnologie innovative ed efficienti, come le pompe di calore elettriche, è possibile anche in riferimento a dei manufatti edilizi il cui valore testimoniale e storico è incommensurabile e va quindi preservato.

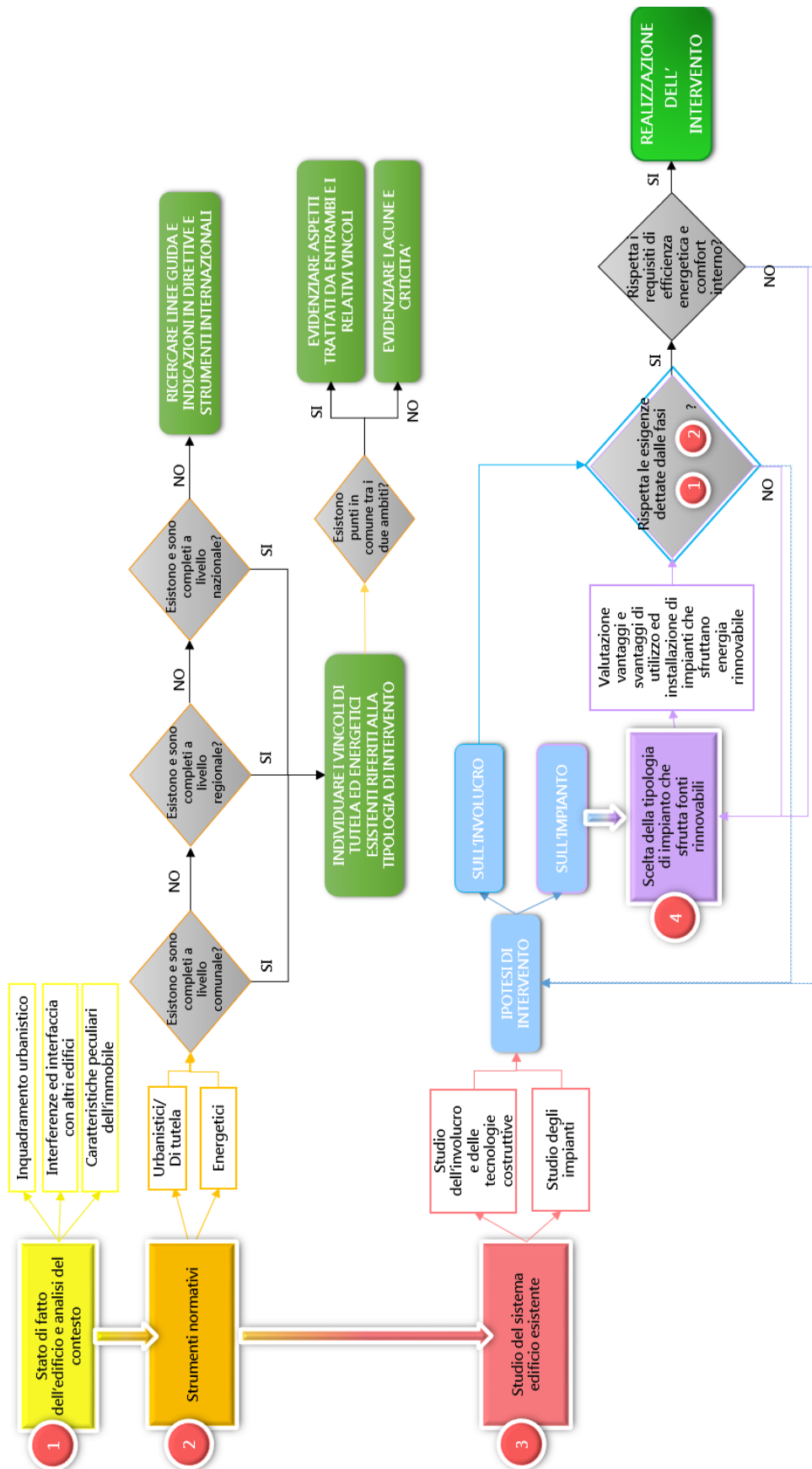


Figura 117: Diagramma di flusso dell'iter di progettazione.

La tematica dell'intervento sul patrimonio costruito nel rispetto ambientale e dello sfruttamento di questo tipo di fonti energetiche è ad oggi di grande attualità, ma affinché si raggiungano risultati efficaci come quelli proposti è necessario adottare un approccio intelligente, che tenga conto dell'innovazione tecnologica insieme con la salvaguarda del costruito.

Attualmente, la difficoltà di affrontare il tema, di per sé complesso e variegato, deriva anche dalla disomogeneità e scarsità di informazioni a riguardo presenti negli strumenti normativi; ci si auspica, in questa prospettiva, che nell'attuale momento storico di grande fermento a riguardo dell'emergenza ambientale e della sostenibilità, il Ministero possa emanare al più presto delle linee guida univoche nel trattare non solo il tema dell'efficienza energetica nell'edilizia storica, ma anche le indicazioni a riguardo dello sfruttamento delle fonti rinnovabili. A questo aspetto si deve unire quello dell'incentivazione economica da parte dello Stato, per cui la promozione dell'utilizzo di fonti alternative deve essere reale e consistente, unificata a livello nazionale, volta a cercare di arginare l'emergenza ambientale che incombe inesorabile, e non finalizzata esclusivamente ad un ritorno economico immediato.

Il presente lavoro dimostra che coniugare tutela ambientale e conservazione architettonica è possibile e grazie allo sviluppo di tecnologie all'avanguardia, che sfruttano fonti energetiche non inquinanti, può portare a risultati ottimali. I casi studiati rappresentano un contributo circoscritto delle numerose possibilità di intervento applicabili a edifici di rilevanza storico-testimoniale, ma rappresentano la conferma che gli edifici di pregio possono trovare all'interno di un campo di applicazione normativo e progettuale una prassi di intervento come quella proposta, che deve diventare una costante in una realtà come quella italiana, dove gli edifici tutelati costituiscono un patrimonio significativo dal valore inestimabile. Lo studio condotto sulle tecnologie più innovative al momento disponibili sul mercato che sfruttano energie alternative e le soluzioni impiantistiche e tecnologiche proposte hanno dimostrato come esista la concreta possibilità di integrazione tra le esigenze di tutela monumentale e l'inalienabile bisogno di utilizzo di energia pulita.

È responsabilità dei progettisti odierni e futuri seguire un piano di intervento come quello qui studiato, finalizzato alla riduzione dei consumi, volto a rispondere, per quanto ancora possibile, in modo tempestivo all'emergenza ambientale grave e senza precedenti che caratterizza il nostro tempo. Per farlo, è necessario che i professionisti di adesso riescano a svolgere la propria professione adottando un modo di pensare e di agire profondamente innovativo e differente da quello che la società ha finora insegnato, promuovendo l'efficacia

a lungo termine piuttosto che quella del beneficio immediato, considerando l'edificio tutelato come parte di una testimonianza storica portatrice di valori non traducibili in semplici termini economici, agendo quindi su di esso non distruggendone materia o valori, ma aggiungendo nuove componenti atte al miglioramento delle sue prestazioni energetiche e ambientali.

Il metodo progettuale proposto deve quindi passare attraverso la revisione dell'intero approccio, partendo dal momento di conoscenza del manufatto e dei suoi vincoli, passando attraverso la definizione delle strategie di intervento, fino ad arrivare al passo ultimo della gestione.

Alla luce di queste considerazioni, quindi, è fondamentale che i professionisti di oggi abbiano coscienza del valore testimoniale e culturale dei luoghi e di cui il patrimonio edilizio esistente del nostro Paese è portatore, ma anche della drammatica situazione del nostro pianeta che incombe sulle generazioni presenti e future; per questo l'importanza di utilizzare fonti alternative a quelle fossili, in maniera più diffusa possibile, e non unicamente perché dettato dalle direttive o dalle leggi, che non devono essere viste come un ostacolo o un obbligo, ma come uno strumento utile al raggiungimento del fine ultimo della progettazione integrata: la valorizzazione e la tutela del patrimonio edilizio esistente nel rispetto e nella salvaguardia del nostro pianeta.

“Quando le generazioni future giudicheranno coloro che sono venuti prima di loro sulle questioni ambientali, potranno arrivare alla conclusione che questi 'non sapevano': accertiamoci di non passare alla storia come la generazione che sapeva, ma non si è preoccupata.”

MIKHAIL S. GORBACHEV

Politico, premio Nobel per la pace nel 1990 (1931 -).

7. Bibliografia

Testi e pubblicazioni

- [1] Agnoletti M., a. c. (2010). *Paesaggi rurali storici. Per un catalogo nazionale*. Bari: Laterza.
- [2] Aprile, M., Mazzarella, L., Motta, M., & al., e. (2014). *Fonti energetiche rinnovabili*. Milano: Hoepli.
- [3] Arecco, F., & Dall'O', G. (2012). *Energia sostenibile e fonti rinnovabili: Soluzioni tecniche, economiche, giuridiche*. Assago (Milano): IPSOA.
- [4] Bartolazzi, A. (2010). *Le energie rinnovabili*. Milano: Hoepli.
- [5] Biasutti, R. (1962). *I paesaggi terrestri*. Torino: Utet.
- [6] bòla, b. (s.d.). *ciao*.
- [7] Cannaviello, M. (2010). *Prestazioni dell'involucro in regime estivo. Criteri per la riqualificazione energetica*. Firenze: Alinea editrice.
- [8] Cocco, D., Palomba, C., & Puddu, P. (2010). *Tecnologie delle energie rinnovabili*. Padova: SGEEditoriali.
- [9] Corno, B. d., & Mottura, G. (2009). *L'integrazione architettonica dei sistemi solari e fotovoltaici*. Dogana (Repubblica di San Marino): Maggioli Editore.
- [10] Davoli, P. (2010). *Il recupero energetico ambientale del costruito*. Dogana (Repubblica di San Marino): Maggioli Editore.
- [11] ENEA. (2010). *Ricerca e innovazione per un futuro low-carbon*. Spoleto: Del Gallo Editori.
- [12] Filippi, M., Rizzo, G., & Scaccianoce, G. (2014). *La certificazione energetica per l'edilizia sostenibile. Efficienza, compatibilità ambientale, nuove tecnologie*. . Palermo: Dario Flaccovio Editore.
- [13] Fortunati, F., & Ranzoni, A. (2010). *Risparmio energetico e fonti rinnovabili*. Milano: Gruppo 24 ore.
- [14] Keoma, A., & Zuppiroli, M. (2008). *Energia e restauro. Il miglioramento dell'efficienza energetica in sistemi aggregati di edilizia pre-industriale tra istanze conservative e prestazionali*. FrancoAngeli.
- [15] Lavagna, M. (2008). *Life Cycle Assessment in edilizia. Progettare e costruire in una prospettiva di sostenibilità ambientale*. . Milano: Hoepli.
- [16] Ligabò, G. (2007). *L'ambiente e le energie da fonti rinnovabili*. Reggio Emilia: Diabasis.

- [17] Lucchi, E., & Pracchi, V. (2013). *Efficienza energetica e patrimonio costruito: La sfida del miglioramento delle prestazioni nell'edilizia storica*. Segrate (Milano): Maggioli Editore.
- [18] Marchigiani, E., & di, S. P. (2010). *Energie rinnovabili e paesaggi. Strategie e progetti per la valorizzazione delle risorse territoriali*. Milano: Franco Angeli.
- [19] Ministero dell politiche agricole, a. e. (2011). *Piano strategico nazionale per lo sviluppo rurale 2007-2013*.
- [20] Paoli, L. (2001). *Energie rinnovabili: impieghi su piccola scala*. Milano: Il rostro.
- [21] Paolo Verducci, a. c. (2012). *Architetture di classe A*. Perugia: Morlacchi Editore.
- [22] Ponzini, C. (2012). *L'edificio energeticamente sostenibile*. Dogana (Repubblica di San Marino): Maggioli Editore.
- [23] (s.d.). *Rapporto della commissione scientifica Bes su Paesaggio e Patrimonio culturale*.
- [24] Schibuola, L. (2002). *La pompa di calore elettrica reversibile nelle sue applicazioni*. Bologna: Editrice Esculapio.
- [25] Silvana Stefani, a. c. (2011). *Le energie da fonti rinnovabili: lo stato dell'arte. Soluzioni tecnologiche, impatto ambientale, quadro normativo e potenzialità per un futuro sviluppo*. Roma: GieEdizioni.

Leggi e normative

- [1] BURL. (2005). *Legge Regionale della Lombardia n. 12, 11 marzo 2005*.
- [2] BURL. (2006). *Legge Regionale della Lombardia n. 24, 11 dicembre 2006*.
- [3] BURL. (2012). *Legge Regionale Lombardia n. 4 - Norme per la valorizzazione del patrimonio edilizio esistente e altre disposizioni in materia urbanistico/edilizia*.
- [4] BURL. (2014, giugno). *Norme Tecniche di Attuazione del Piano delle Regole*.
- [5] Consiglio Comunale. (2009, aprile 20). *Regolamento Urbanistico Edilizio di Bologna - Ultima modifica*.
- [6] Consiglio Comunale. (2012, settembre 27). *Regolamento Edilizio di Cremona - Ultima modifica*.
- [7] Consiglio Comunale. (2014, marzo 25). *Regolamento Edilizio di Firenze - Ultima modifica*.
- [8] Consiglio Comunale. (2014, giugno 18). *Regolamento Edilizio di Milano - Ultima modifica*.
- [9] Conferenza delle Parti. (1997). *Protocollo di Kyoto*. Kyoto.

- [10] Ministero dello sviluppo Economico. (2010, settembre 10). *Decreto Ministeriale n.219 - Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili.*
- [11] Commissione Europea. (2005). *Libro Verde sull'efficienza energetica.*
- [12] Commissione Europea. (2006). *Libro Verde della Commissione - Una strategia europea per un'energia sostenibile, competitiva e sicura.*
- [13] Commissione Europea. (2007). *Comunicazione: Efficienza energetica: conseguire l'obiettivo del 20%.*
- [14] Consiglio Europeo. (1985). *Convenzione europea per la salvaguardia del patrimonio architettonico.*
- [15] Congresso sul patrimonio architettonico europeo. (1975). *Carta della conservazione integrata.*
- [16] Commissione Europea. (2002, dicembre 16). *Direttiva 2002/91/CE - Energy Performance Building Directive.*
- [17] Parlamento Europeo. (2003, ottobre 13). *Direttiva 2003/87/CE - Scambio di quote di emissioni dei gas a effetto serra nella Comunità.*
- [18] Parlamento Europeo. (2007). *85/377/EEC - Environmental Impact Assesment.*
- [19] Parlamento Europeo. (2009). *93/76/EEC - Limit carbon dioxide emissions.*
- [20] Parlamento Europeo. (2010). *Direttiva 2010/31/CE - EPBD Recast.*
- [21] Parlamento Europeo. (2011, marzo 8). *Comunicazione: Piano di efficienza energetica 2011.*
- [22] Consiglio Europeo. (2007, marzo 8-9). *Piano d'Azione del Consiglio Europeo 2007-2009: Politica energetica per l'Europa.*
- [23] Parlamento Italiano. (2001). *Legge costituzionale n. 3 - Modifica del Titolo V della Costituzione.*
- [24] Parlamento Italiano. (2004). *Decreto Legislativo n. 42/2004 - Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio.*
- [25] Parlamento Italiano. (2005). *Decreto Legislativo n. 192 - Attuazione della Direttiva 2002/91/CE.*
- [26] Parlamento Italiano. (2010). *Legge n. 10, 9 gennaio 2010 - Norme per l'attuazione del Piano Energetico Nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.*
- [27] Parlamento Italiano. (2011). *Decreto Legislativo 28/2011 - Decreto rinnovabili.*
- [28] Parlamento Italiano. (2011). *Decreto Legislativo n. 28/2011.*
- [29] Parlamento Italiano. (2013). *Decreto Legge n. 63.*
- [30] Parlamento Italiano. (2013). *Legge n. 90.*
- [31] Parlamento Italiano & Ministero dello sviluppo Economico. (2009). *Decreto Ministeriale n. 59, 26 giugno 2009.*

- [32] Giunta Regionale Lombardia. (2005). *PGT - Piano del Governo del Territorio*.
- [33] Giunta Regionale Lombardia. (2007, giugno 26). *Deliberazione n. 8/5018*.
- [34] Giunta Regionale Lombardia. (2008, dicembre 22). *Deliberazione n. 8/8745*.
- [35] Giunta Regionale Lombardia. (2011, maggio 31). *Deliberazione n. IX/1811*.
- [36] Giunta Regionale Lombardia. (2012). *Deliberazione 3298 - Linee guida per l'autorizzazione di impianti di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili*.
- [37] Giunta Regionale Lombardia. (2012, aprile 18). *Deliberazione n. IX/3298*.
- [38] Giunta Regionale Lombardia. (2012, Novembre 21). *Deliberazione n. IX/4416*.
- [39] Giunta Regionale Lombardia. (2014, gennaio 10). *Deliberazione n. X/1216*.
- [40] Norma. (2008). *UNI EN ISO 1378:2008*.
- [41] Norma. *UNI 10339*.
- [42] Norma. *UNI 10349*.
- [43] Norma. *UNI 7357/74*.
- [44] Norma. *UNI EN 806*.
- [45] Norma. *UNI TS 11300*.
- [46] International Museum Office. (1931). *Carta di Atene*.
- [47] Congresso internazionale di architetti e tecnici sui monumenti storici. (1964). *Carta di Venezia per il restauro e la conservazione di monumenti e siti*.
- [48] Congresso internazionale di architetti e tecnici sui monumenti storici. (1965). *ICOMOS - International Council of Monuments Site*.
- [49] Nazioni Unite. (1992). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Rio de Janeiro.

8. Indice delle Figure

Figura 1: Palazzo storico di Milano che riassume alcune tra le caratteristiche peculiari dell'edilizia milanese; l'intonaco giallo-Milano, la cornice grigia attorno ai serramenti, il piano terra bugnato.....	10
Figura 2: Palazzo Rucellai a Firenze. Edificio storico rappresentativo delle caratteristiche costruttive della tradizione fiorentina [Fonte: Google Images].....	10
Figura 3: Centro storico di Bologna. Si nota come tutti gli edifici situati in questa zona urbana abbiano caratteristiche cromatiche e costruttive simili tra loro e peculiari di questa città.....	8

Figura 4: Bilancio energetico dell'Italia del 2011. [Fonte: elaborazione CRESME su dati ENEA]	12
Figura 5: Centro storico di San Gimignano.....	14
Figura 6: Centro storico di Lucca.....	16
Figura 7: Edifici del centro storico a Lucca.	17
Figura 8: Edifici storici di Domodossola.....	17
Figura 9: Edifici storici e stato di conservazione. Anno 2001. [Fonte: elaborazione dati Istat 13° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni].	18
Figura 10: Densità delle aree di "verde storico" nei comuni di capoluogo di provincia. [Fonte Istat: dati ambientali delle città].	19
Figura 11: Vista del centro storico di Matera. [Fonte: Google Images].....	20
Figura 12: Tavolozza dei colori della città di Cremona.	38
Figura 13: Indicazione delle modalità di tinteggiatura delle facciate in relazione all'estensione della superficie da tinteggiare. [Fonte: Regolamento Edilizio di Cremona - Allegato O].....	39
Figura 14: Esempi di campi eolici on-shore (su terra) e off-shore (installati in mare aperto).	49
Figura 15: Esempio di impianto a biomasse.....	49
Figura 16: Esempio di diga a servizio di una centrale idroelettrica.	50
Figura 17: Domanda di energia primaria per fonte (Mtep), anni 1997-2012.	51
Figura 18: Domanda di energia primaria per fonte (%), anno 2013.....	52
Figura 19: Consumi di energia termica soddisfatte con fonti rinnovabili.....	53
Figura 20: Consumi di energia elettrica coperti da fonti rinnovabili in UE, anno 2012, in percentuale dei consumi interni lordi. [Fonte: Istat – Statistiche noiItalia 2014].	54
Figura 21: Consumi di energia elettrica coperti da fonti rinnovabile per regione. anno 2012. Produzione lorda di energia elettrica da fonti rinnovabili in percentuale del consumo interno lordo di energia elettrica. [Fonte: Elaborazione Istat su dati Terna].	54
Figura 22: Consumi di energia coperti da fonti rinnovabili nei paese UE, anno 2012, confrontati con l'obiettivo del 2020. [Fonte: noiItalia 2014 – Elaborazione dati Istat].....	55
Figura 23: Crescita delle rinnovabili (MW) 2000-2013.....	55
Figura 24: Mappa della regolamentazione regionale sull'edilizia sostenibile. [Fonte: Legambiente].....	57

Figura 25: Radiazione solare disponibile in Italia.	58
Figura 26: Confronto in quantità tra l'energia solare annuale, le altre fonti non rinnovabili e il consumo mondiale annuo.....	59
Figura 27: Percentuale di irraggiamento solare su superfici con vari orientamenti ed inclinazioni rispetto al massimo (30° sud).....	60
Figura 28: Pannelli fotovoltaici tradizionali.....	61
Figura 29: Tegole fotovoltaiche. Esterno del Castello di Acquabella, Firenze, e dettaglio delle tegole.	61
Figura 30: Integrazione impiantistica a basso impatto visivo di un impianto fotovoltaico.	62
Figura 31a: Vista panoramica di un muro storico con ingrandimento del pannello-insegna. Città di Marbach am Neckar. <i>[Fonte: Composizione immagini fornite da PVaccept Final Report]</i>	62
Figura 32: Pannello solare informativo del Castello di San Giorgio, La Spezia.....	63
Figura 33: La copertura dell'edificio prima e dopo l'installazione dei pannelli fotovoltaici. Sala Nervi in Vaticano.....	64
Figura 34: St. Saints Silas Church, Pentonville, London. Esempio di installazione integrata di pannelli fotovoltaici.....	64
Figura 35: Installazione di pannelli fotovoltaici a servizio di una villa tutelata di Brunico.	65
Figura 36: Tettoia fotovoltaica installata nella piazza di un centro storico.....	66
Figura 37: Installazione di pensiline fotovoltaiche, piazza Columbia, Washington.	66
Figura 38: Tettoia fotovoltaica a servizio di un parcheggio.	67
Figura 39: Impianto solare termico a circolazione naturale installato in copertura.	68
Figura 40: Casa georgiana vincolata nel centro storico di Shrewsbury, UK. Applicazione di un impianto solare termico. <i>[Fonte: Progetto SECHURBA]</i>	69
Figura 41: Installazione di micro turbine sul tetto di un edificio.....	70
Figura 42: Turbina mini eolica, Crispiano (TA).....	71
Figura 43: Parco di mini eolico a Montecatini Val Cecina.....	71
Figura 44: Uso del micro eolico domestico in Inghilterra.	72
Figura 45: Esempio di pala micro-eolica ad asse verticale ad uso domestico.	72
Figura 46: Castello di RacBath, Budapest. Installazione di pompa di calore ad acqua.....	74

Figura 47: Castello di Kisnàna. Pompa di calore ad aria per il riscaldamento. [Fonte: SECHURBA].	74
Figura 48: Funzionamento di una pompa di calore.	75
Figura 49: Confini di Milano. La posizione dell'edificio in esame è contrassegnata da un pallino rosso. [Fonte: http://www.provincia.mi.it/mappe/comuniprovincia/comuni.html]	85
Figura 50: Inquadramento del fabbricato in esame. [Fonte: Google Maps]	86
Figura 51: Analisi valori storico morfologici degli edifici del Nucleo di Antica Formazione di Milano. In rosso è evidenziato il fabbricato in cui è situato il sottotetto. [Fonte: Tavola R.03 Allegato 3 del PGT]	87
Figura 52: Tipologie di intervento ammesse per i fabbricati racchiusi nel Nucleo di Antica Formazione. [Fonte: Tavola R.04 Allegato 3 P.G.T.]	88
Figura 53: Sono riportati i valori limite dell'indice di prestazione energetica per il riscaldamento, espressi in kW/m ² anno, riferiti alle zone climatiche e al rapporto superficie/volume dell'edificio. [Fonte: Allegato 3 D.G.R. 8745-08]	89
Figura 54: Valori limite delle trasmittanze, espressi in W/m ² K, suddivisi per tipologia di parete e zona climatica. [Fonte: Allegato 3 D.G.R. 8745-08]	90
Figura 55: Stato di fatto del sottotetto. In rosso la sagoma dell'ingombro della copertura.	92
Figura 56: Sezione del sottotetto.	93
Figura 57: Render di come appare la copertura dopo la costituzione degli abbaini.	94
Figura 58: Vista dal basso dell'intervento.	94
Figura 59: Sezioni del sottotetto; sopra: sezione in corrispondenza dell'abbaino, sotto: sezione tipica.	95
Figura 60: Pianta Piano sottotetto.	96
Figura 61: Distribuzione interna degli appartamenti.	96
Figura 62: Schema per il calcolo delle superfici dei locali - Altezza ponderale.	101
Figura 63: Verifica altezza dell'appartamento A.	101
Figura 64: Verifica altezza dell'appartamento B.	102
Figura 65: Verifica rapporti aero-illuminanti Appartamento A.	102
Figura 66: Verifica rapporti aero-illuminanti Appartamento B.	102
Figura 67: Energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico installato. [Fonte: PVGIS]	109

Figura 68: Schema funzionale dell'impianto di climatizzazione estiva e invernale dell'alloggio A.....	110
Figura 69: Calcolo del fabbisogno energetico per il riscaldamento del sottotetto, in kWh/m ² anno. [Fonte: Software Cened+].....	111
Figura 70: Milano.	115
Figura 71: Inquadramento dei sei fabbricati. [Fonte: GoogleMaps].....	115
Figura 72: Identificazione dei fabbricati: si evidenziano in blu quelli ristrutturati, in giallo quelli sottoposti a sostituzione edilizia. Il pallino verde indica Viale Montello.	116
Figura 73: Individuazione dei blocchi A, B, C, D, E, F. Vista da Viale Montello. [Fonte: Google Maps]	117
Figura 74: Stralcio della Tavola R.01 del Piano delle Regole. Il fumetto rosso indica la posizione dei fabbricati, la freccia rossa in legenda il tipo di zona cui fanno parte. [Fonte: pgtmilano.mi.it]	118
Figura 75: Zona di Recupero R 1.5 ex B2 6.2 "Serpi-Canonica". [Fonte: www.comune.milano.it].....	119
Figura 76: Stralcio Progetto-guida del P.G.T. relativo alla zona di recupero R 0.1. [Fonte: Progetto-guida]	120
Figura 77: Tipologie di intervento ammesse nel centro storico. Il complesso edilizio di Viale Montello ricade nell'area indicata in legenda come "Zona A di Recupero" e "Zona B di Recupero". In legenda, la sigla cd. B" indica il riferimento del P.R.G. [Fonte: Tavola R.04 Allegato 3 P.G.T.]	121
Figura 78: Valori limite delle classi energetiche per la climatizzazione invernale per gli edifici di classe E1, a seconda della zona climatica. [Fonte: DGR. n. 8745- Tabella A.4.1.]	123
Figura 79: Vista di viale Montello. Il secondo edificio da sinistra rappresenta uno dei blocchi oggetto di intervento (Blocco A). [Fonte: Google Maps]	127
Figura 80: Disposizione dei blocchi attorno ai due cortili.....	128
Figura 81: Prospetto del corpo A che dà su Viale Montello con indicazione delle modifiche.	129
Figura 82: Render della facciata del corpo A su Viale Montello in seguito agli interventi di recupero e ripristino previsti e all'innalzamento dell'ultimo piano, con allineamento dei fili di gronda dell'edificio con quello a Nord (destra).....	130
Figura 83; Prospetto del corpo E con indicazione delle misure di conservazione intraprese.	131

Figura 84: Demolizioni (in giallo) e costruzioni (in rosso) del piano terra dei blocchi A, B, D, E.....	132
Figura 85: Demolizioni e costruzioni della pianta del piano primo dei corpi A,B,D,E.....	132
Figura 86: Demolizioni e costruzioni della pianta del piano secondo dei blocchi A, B, D, E.	133
Figura 87: Demolizioni e costruzioni della pianta del piano terzo dei blocchi A, B, D, E. .	133
Figura 88: Pianta piano quarto dei blocchi A, B, D, E.	134
Figura 89: Demolizioni e ricostruzioni del piano quinto del blocco A e coperture dei B, D ed E.....	134
Figura 90: Pianta coperture dei blocchi A, B, D, E con indicazione dei pannelli solari.	135
Figura 91: Verifica dello Sfasamento termico della chiusura verticale opaca di muratura da 60 cm.....	141
Figura 92: Verifica dello sfasamento termico della chiusura verticale opaca di muratura da 40 cm.....	141
Figura 93: Schema funzionale dell'impianto di riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria dei corpi A, B, D, E.....	151
Figura 94: Distribuzione dell'impianto di riscaldamento dei quattro edifici. Ogni montante è a servizio di una scala.	152
Figura 95: Montanti di distribuzione di acqua calda sanitaria e acqua potabile dei blocchi A, B, D, E.	153
Figura 96: Classe energetica e fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento dei blocchi A-B. <i>[Fonte Cened+]</i>	154
Figura 97: Classe energetica e fabbisogno di energia primaria blocchi D-E. <i>[Fonte Cened+]</i>	155
Figura 98: Funzionamento modulare delle pompe di calore connesse tra loro.	156
Figura 99: Demolizioni (in giallo) e ricostruzioni (in rosso) dei blocchi C e F. Dalla demolizione del corpo F si ricava il secondo cortile.....	159
Figura 100: Porzione di prospetto del corpo C che dà sul cortile principale. Sono evidenziati gli interventi che conferiscono all'edificio uniformità con gli altri blocchi.....	160
Figura 101: Sfasamento termico della parete a cappotto.....	162
Figura 102: Schema funzionale dell'impianto di acqua calda sanitaria e di riscaldamento dei corpi C, F.	166

Figura 103: Montanti di distribuzione dell'impianto di riscaldamento dei corpi C e F. ...	167
Figura 104: Montanti di distribuzione dell'acqua potabile e dell'acqua calda sanitaria dei corpi C e F.	168
Figura 105: Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento dell'edificio F. [<i>Fonte: Software Cened+</i>]	170
Figura 106: Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento e classe energetica di riferimento del blocco C. [<i>Fonte: Software Cened+</i>].....	171
Figura 107: Pianta Piano -2. Distribuzione collettori di riscaldamento acqua calda sanitaria e potabile.	174
Figura 108: Pianta del Piano Secondo interrato.....	174
Figura 109: Pianta del Piano Primo interrato.	175
Figura 110: Pianta Piano Terra.....	176
Figura 111: Pianta piano primo.....	177
Figura 112: Pianta piano secondo.	178
Figura 113: Pianta piano terzo.	179
Figura 114: Pianta piano quarto.	180
Figura 115: Pianta piano quinto.....	181
Figura 116: Pianta coperture.	182
Figura 117: Diagramma di flusso dell'iter di progettazione.....	185

9. Indice delle Tabelle

Tabella 1: Spesa per interventi di ristrutturazione e manutenzione straordinaria degli edifici. [<i>Fonte: elaborazione stime CRESME</i>].....	13
Tabella 2. Sintesi del quadro di riferimento nazionale in termini di efficienza energetica in edilizia, precedente all'EPBD.....	30
Tabella 3 - Sintesi delle principali verifiche da eseguire negli interventi sul patrimonio esistente secondo il D.Lgs. 192/2005 e s.m.i. [<i>Fonte: E. Lucchi</i>].....	32
Tabella 4 - Sintesi dei valori limite di trasmittanza termica delle pareti. [<i>Fonte: D. Lgs. 311/2006, Allegato I; Dpr. 59/2009, art. 4, comma 16</i>]	33
Tabella 5: Prescrizioni sui centri storici e sugli edifici di pregio architettonico-storico-testimoniale.	41

Tabella 6: Riassunto dei vincoli cui è sottoposto l'intervento di ristrutturazione del sottotetto con scopo di recupero ai fini abitativi.....	92
Tabella 7: Dimensioni del sottotetto.....	92
Tabella 8: Caratteristiche delle chiusure verticali opache.....	97
Tabella 9: Caratteristiche della copertura.....	98
Tabella 10: Caratteristiche delle pareti che confino con il vano scale.....	99
Tabella 11: Caratteristiche del solaio a pannelli radianti.....	100
Tabella 12: Superfici disperdenti suddivise per tipologia ed esposizione.....	104
Tabella 13: Valori di trasmittanze, differenze di temperatura e coefficienti utilizzati per il calcolo.....	105
Tabella 14: Disperdimenti per trasmissione.....	105
Tabella 15: Ponti termici abbaini.....	106
Tabella 16: Carichi sensibili scambiati attraverso le superfici vetrate dovuti alla radiazione solare incidente.....	107
Tabella 17: Caratteristiche principali del generatore.....	108
Tabella 18: Caratteristiche dei pannelli fotovoltaici Sharp <i>ND-R250A5</i>	108
Tabella 19: Calcolo della quota di energia rinnovabile utilizzata all'anno.....	113
Tabella 20: Indici urbanistici delle zone B.1. [<i>Fonte: Norme Tecniche di Attuazione del P.G.T.</i>]	121
Tabella 21: Riassunto dei vincoli normativi riguardanti il secondo caso di studio.....	126
Tabella 22: Caratteristiche delle chiusure verticali opache con muratura da 60 cm.....	136
Tabella 23: Caratteristiche delle chiusure verticali opache con muratura da 40 cm.....	137
Tabella 24: Caratteristiche della copertura.....	138
Tabella 25: Caratteristiche del solaio contro terra.....	139
Tabella 26: Caratteristiche del solaio interpiano.....	140
Tabella 27: Superfici di pavimento, volumi e superfici disperdenti totali dei corpi A, B, D, E.	143
Tabella 28: Dispersioni per Trasmissione dei corpi A, B, D, E.....	143
Tabella 29: Dispersioni per ventilazione dei blocchi A, B, D, E.....	144
Tabella 30: Ponti termici dei blocchi A, B, D, E.....	144
Tabella 31: Calcolo degli apporti termici estivi relativi ai blocchi A, B, D, E.....	145

Tabella 32: Caratteristiche e prestazioni delle pompe di calore reversibili aria/acqua scelte.	146
Tabella 33: Dati elettrici e dimensionali dei pannelli fotovoltaico Aleo Solar S18 K250.	147
Tabella 34: Dati utilizzati per il calcolo dell'energia elettrica prodotta dal sistema fotovoltaico.....	148
Tabella 35: Produzione media dei pannelli fotovoltaici installati sull'edificio A. [Fonte: PVIGIS]	148
Tabella 36: Corpo B. [Fonte: PVIGIS].....	149
Tabella 37: Corpo D. [Fonte: PVIGIS].....	149
Tabella 38: Corpo E. [Fonte: PVIGIS].....	150
Tabella 39: Energia totale elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico degli edifici A, B, D, E.....	150
Tabella 40: Dati climatici di riferimento e superfici e volumi disperdenti degli edifici A, B, D, E.....	154
Tabella 41: Valore medio annua del COP delle pompe e quota di energia rinnovabile utilizzata.....	156
Tabella 42: Caratteristiche della chiusura verticale opaca a cappotto dei copri C e F.	161
Tabella 43: Superfici disperdenti suddivise per esposizione e tipologia; superficie di pavimento netta e volume climatizzato dei blocchi C, F.	163
Tabella 44: Dispersioni per trasmissione dei corpi C, F.....	163
Tabella 45: Dispersioni per ventilazione dei corpi C, F.....	164
Tabella 46: Ponti termici dei corpi C, F.	164
Tabella 47: Apporti termici estivi totali riferiti ai Corpi C e F.	164
Tabella 48: Caratteristiche delle pompe di calore reversibili <i>Climaveneta AWR-HT - 0302</i>	165
Tabella 49: Caratteristiche dei pannelli fotovoltaici Aleo Solar S18 K260.....	169
Tabella 50: Produzione annuale di energia elettrica dei pannelli fotovoltaici installati in copertura del corpo C.....	169
Tabella 51: Dati climatici di riferimento e superfici disperdenti e volumi riscaldati dei corpi C e F.....	170
Tabella 52: Prestazioni delle pompe di calore e utilizzo delle fonti rinnovabili.....	172

