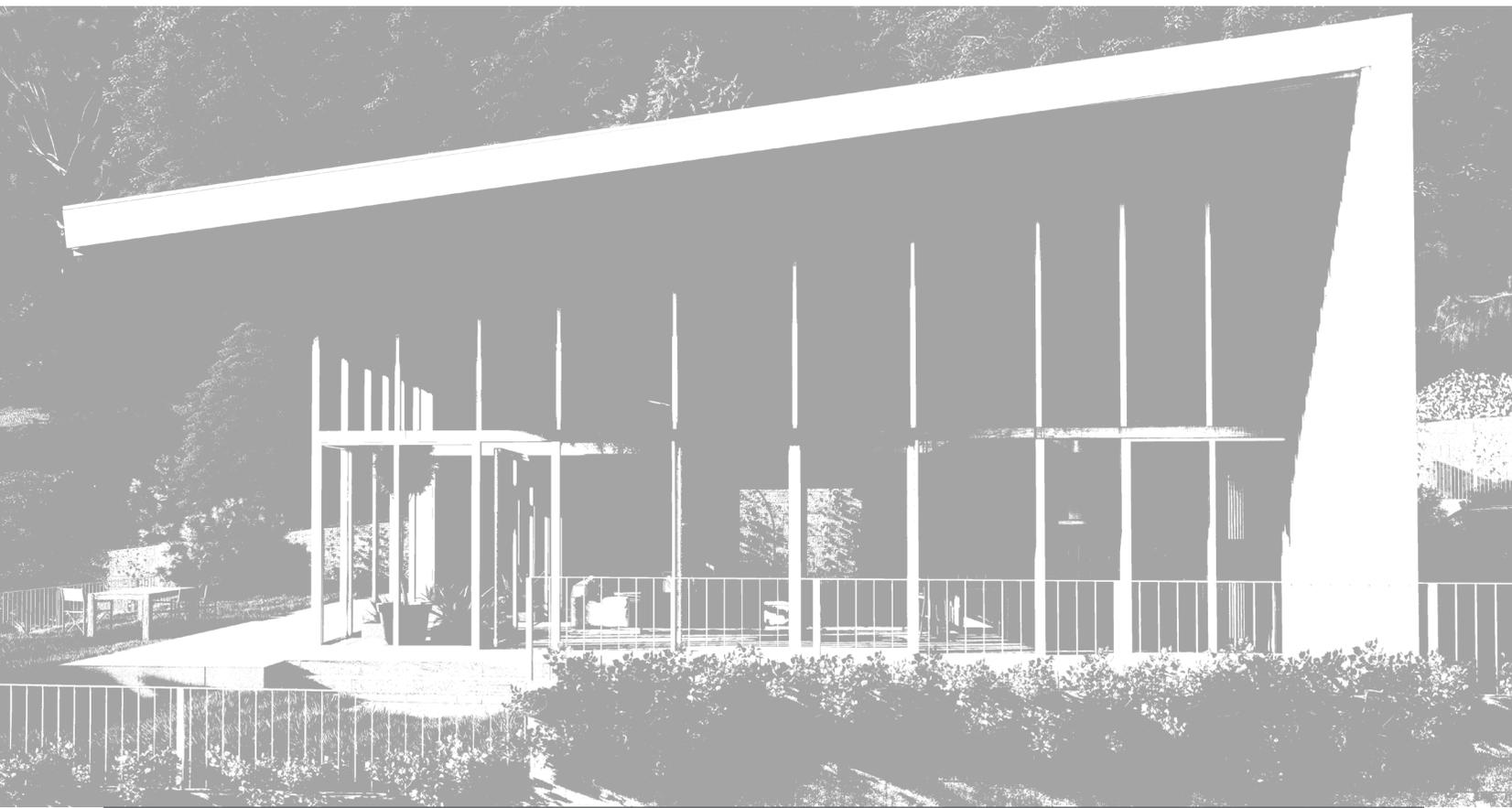


Politecnico di Torino
Corso di Laurea Magistrale
in Architettura per il Progetto Sostenibile

Tesi di Laurea Magistrale

Progettazione e costruzione di edifici ecosostenibili in zona collinare:
un caso studio a Baldissero Torinese



Relatore:
prof. Mario Grosso

Correlatore:
arch. Massimiliano De Leo

Candidato:
Alessia Caffarelli

Anno Accademico 2018/2019

INDICE

PARTE I: Analisi generale

1. L'approccio sostenibile.....	pag.1
• 1.1 Cronologia degli eventi legati allo sviluppo sostenibile.....	pag.1
• 1.2 La sostenibilità in architettura.....	pag.4
2. Principi di progettazione bioclimatica.....	pag.11
• 2.1 Archetipi in architettura bioclimatica.....	pag.12
• 2.2 Il clima e la sua importanza nel progetto di architettura bioclimatica.....	pag.17
- 2.2.1 Il clima e le sue classificazioni.....	pag.17
- 2.2.2 La scala climatica.....	pag.18
- 2.2.3 Distribuzione geografica.....	pag.19
• 2.3 Effetti delle caratteristiche geografiche sul clima.....	pag.20
- 2.3.1 Effetti della corrugazione del territorio.....	pag.21
- 2.3.2 Effetti della presenza di masse d'acqua.....	pag.23
- 2.3.3 Effetti della vegetazione.....	pag.24
- 2.3.4 Effetti dell'ambiente costruito.....	pag.27
- 2.3.4.1 Edifici isolati e agglomerati edilizi.....	pag.27
- 2.3.4.2 Aree Urbane.....	pag.29
• 2.4 Progettazione bioclimatica di sito.....	pag.31
- 2.4.1 Criteri generali per il controllo dei fattori climatici.....	pag.32
• 2.5 La Matrice microclimatica di sito.....	pag.36
3. I materiali ecocompatibili.....	pag.41
4. Le tecnologie costruttive in legno e la prefabbricazione.....	pag.45
• Premessa.....	pag.45
• 4.1 Il legno nelle costruzioni: ieri e oggi.....	pag.46
- 4.1.1 La storia delle costruzioni in legno.....	pag.46
- 4.1.2 L'esperienza dell'innovazione tecnologica di Wachsmann.....	pag.50
- 4.1.3 L'informatica applicata all'industrializzazione.....	pag.48
- 4.1.4 Il cambiamento del decennio 90-2000: le nuove prospettive della prefabbricazione.....	pag.48
• 4.2 I moderni edifici con struttura in legno.....	pag.49
- 4.2.1 La struttura intelaiata.....	pag.49
- 4.2.2 La costruzione massiccia: l'X-Lam.....	pag.50
- 4.2.3 L'uso del legno negli interventi sul patrimonio costruito.....	pag.53
- 4.2.4 Mobil home e micro home: le architetture modulari.....	pag.54
- 4.2.5 Edifici sperimentali per un'architettura sostenibile: nuovi orizzonti di ricerca.....	pag.54
• 4.3 I prodotti della prima lavorazione in legno.....	pag.55
• 4.4 I prodotti in legno massiccio.....	pag.55
• 4.5 Il legno lamellare e i prodotti di tipo X-Lam.....	pag.56
• 4.6 I pannelli a base di legno.....	pag.56
• 4.7 Prodotti innovativi.....	pag.59
• 4.8 La valorizzazione del territorio tramite filiera corta.....	pag.59
- 4.8.1 Le filiere legno energia.....	pag.62
- 4.8.2 Il fattore innovazione.....	pag.62
• 4.9 Esempi di aziende operanti nel settore della prefabbricazione.....	pag.63
- 4.9.1 Norgeshus a Tallinn (Estonia).....	pag.63
- 4.9.2 Wolfhaus Systems tra Austria e Italia.....	pag.67

INDICE

5. La normativa della sostenibilità.....	pag.73
• 5.1 Il CEN.....	pag.73
• 5.2 Gli Standard Europei nell'edilizia.....	pag. 73
• 5.3 La Norma 5.3 EN 15978.....	pag. 75
• 5.4 Il PEF.....	pag.79
• 5.5 La metodologia Levels.....	pag.80
• 5.6 La valutazione della sostenibilità ambientale.....	pag.82

PARTE II: Caso studio

6 Conoscenza geografica e normativa del contesto.....	pag.90
• 6.1 Caratteristiche generali.....	pag.90
• 6.2 Caratteristiche geomorfologiche del terreno.....	pag.95
• 6.3 Vincoli Idrogeologici.....	pag.95.
• 6.4 Pianificazione del territorio.....	pag.98
- 6.4.1 Le Tavole del Piano Paesaggistico Regionale.....	pag.98
- 6.4.2 La Carta Tecnica Regionale.....	pag.107
7. Il sito.....	pag.108
• 7.1 Analisi territoriale.....	pag.108
• 7.2 Analisi microclimatica.....	pag.130
- 7.2.1 Elaborazione della matrice microclimatica.....	pag.134
• 7.3 Strumenti normativi.....	pag.140
- 7.3.2 Le Norme Tecniche di Attuazione del PRGC.....	pag.140
- 7.3.3 Il Regolamento Edilizio.....	pag.144
8. Il metaprogetto.....	pag.146
• 8.1 Caratteristiche formali e della distribuzione.....	pag.148
- 8.1.1 Analisi della configurazione del lotto.....	pag.148
- 8.1.2 Metaprogetto architettonico.....	pag.154
• 8.2 Caratteristiche tecnologico-ambientali.....	pag.160
- 8.2.1 Il Fattore Medio di Luce Diurna.....	pag.161
9. Il progetto.....	pag.167
• 9.1 Introduzione.....	pag.167
- 9.1.1 Il Masterplan di progetto.....	pag.168
• 9.2 Aspetti tipologici.....	pag.171
- 9.2.1 I riferimenti architettonici.....	pag.171
- 9.2.2 Il processo di elaborazione formale.....	pag.173
• 9.3 Aspetti distributivi.....	pag.173
• 9.4 Elaborati grafici.....	pag.177
- 9.4.1 Edificio C.....	pag.178
- 9.4.2 Edificio D.....	pag.185
- 9.4.3 Edificio E.....	pag.192
- 9.4.4 Edificio F.....	pag.199
- 9.4.5 Viste del progetto.....	pag.206

INDICE

10. Progettazione di dettaglio.....	pag.211
• 10.1 Dettagli costruttivi.....	pag.212
- 10.1.1 Sezioni tecnologiche dell'edificio.....	pag.212
• 10.2 Scelte tecnologiche del sistema HVAC.....	pag.217
- 10.2.1 I sistemi HVAC.....	pag.218
- 10.2.2 Raffrescamento e ventilazione.....	pag.220
- 10.2.3 Strategie per il riscaldamento e ACS.....	pag.226
11. Verifiche prestazionali.....	pag.230
• 11.1 Elaborazione della matrice microclimatica dello stato di progetto.....	pag.233
• 11.2 Soddisfacimento dei livelli di comfort.....	pag.233
- 11.2.1 Indici di Fanger: PMV e PPD:.....	pag.233
- 11.2.2 Il modello di Comfort Adattivo.....	pag.233
• 11.3 Carichi energetici.....	pag.238
- 11.3.1 Il calcolo dei carichi tramite il software Design Builder.....	pag.238
- 11.3.2 Confronto di un caso studio con una diversa tipologia edilizia.....	pag.256
- 11.3.3 Confronto consumi tra diverse tipologie.....	pag.262
- 11.3.4 Conclusioni.....	pag.263
Fonti.....	pag.266
• Bibliografia.....	pag.266
• Sitografia.....	pag.266
• Articoli consultati.....	pag.266
• Normativa di riferimento.....	pag.267
Ringraziamenti.....	pag.269

“Quello dell’architetto è un mestiere antico come cacciare, pescare, coltivare ed esplorare. Dopo la ricerca del cibo viene la ricerca della dimora. Ad un certo punto, l’uomo, insoddisfatto dei rifugi offerti dalla natura, è diventato architetto.”

Renzo Piano

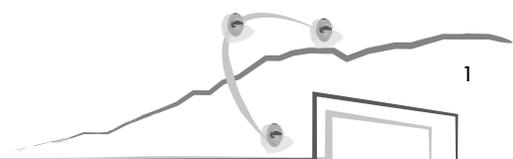
PARTE I: ANALISI GENERALE



1. L'APPROCCIO SOSTENIBILE

1.1 Cronologia degli eventi legati allo sviluppo sostenibile

- 1972: il rapporto sui "limiti della crescita", commissionato dal Club di Roma a un'equipe del Massachusetts Institute of Technology, raccomanda una crescita per limitare l'impoverimento delle risorse naturali. L'OCSE diffonde attraverso i media il principio del "chi inquina paga". Primo Summit sulla terra organizzato a Stoccolma delle Nazioni Unite.
- 1973: primo shock petrolifero.
- 1979: secondo shock petrolifero.
- 1980: un rapporto dell'Unione internazionale per la Salvaguardia della Natura utilizza per la prima volta l'espressione "sviluppo sostenibile", in inglese "sustainable development".
- 1987: Gro Harlem Brundtland, a capo della commissione mondiale per l'ambiente e lo sviluppo, nella sua relazione dal titolo "Our Common Future", delinea la politica necessaria per uno sviluppo sostenibile. Ventiquattro Paesi firmano il Protocollo di Montréal allo scopo di proteggere lo strato di Ozono attraverso la riduzione del 50% delle emissioni di CFC (clorofluorocarburi). Questo protocollo è sottoscritto oggi da 191 stati.
- 1992: il Summit sulla Terra a Rio precisa la nozione di sviluppo sostenibile. 171 Paesi adottano il programma Agenda 21 che elenca 2500 prescrizioni per attuare uno sviluppo sostenibile. 153 Paesi si impegnano a stabilizzare la concentrazione di gas a effetto serra, stipulando la Convenzione quadro delle nazioni unite sui cambiamenti climatici.
- 1997: gli Stati che si impegnano a ridurre le emissioni di Gas a effetto serra firmando il Protocollo di Kyoto.
- 2000: viene sottoscritta dai 193 stati membri dell'ONU la Dichiarazione del Millennio delle Nazioni Unite, in cui vengono istituiti otto obiettivi per garantire lo sviluppo sostenibile sotto diversi aspetti, come la lotta alla povertà e all'AIDS, la garanzia di una sostenibilità ambientale e così via, da raggiungere entro il 2015.
- 2002: un centinaio di capi di Stato ratificano un traguardo nella salvaguardia delle risorse naturali e della biodiversità in occasione del Summit Mondiale sullo sviluppo Sostenibile di Johannesburg, Sud Africa. Nello stesso anno a Monterrey, Messico, viene formalizzata l'agenda internazionale per il finanziamento dello sviluppo in cui viene istituito un partenariato globale tra Paesi industrializzati e Paesi in via di sviluppo per il finanziamento dello sviluppo di questi ultimi.
- 2006: il rapporto dell'economista Nicholas Stern prevede che, entro il 2050, il mondo perderà dal 5 al 20% del suo PIL a meno che almeno l'1% del PIL non verrà investito in attività per la riduzione di emissioni di gas a effetto serra.
- 2007: il GIEC (gruppo di esperti intergovernativo sull'evoluzione del clima) insieme ad Al Gore riceve il premio nobel per la pace per "l'impegno in favore dell'ambiente". In Francia il Grenelle de l'Environment, gli Stati Generali dell'ambiente, fissa delle linee guida per l'azione dei poteri pubblici in materia di riduzione di gas a effetto serra, di lotta contro i diversi tipi di inquinamento e di tutela della biodiversità.



- 2008: a Doha, Qatar, ha luogo la Seconda Conferenza internazionale sul Finanziamento dello Sviluppo, con lo scopo di verificare l'andamento del piano di Finanziamento dello Sviluppo sottoscritto a Monterrey. Nonostante il piano di Monterrey sia stato sostanzialmente rispettato e si siano riscontrati dei progressi in molte aree rientranti in esso, nel documento finale di Doha si osserva come ci sia stato un aumento sostanziale dell'ingiustizia a livello globale.
- 2010: con la Strategia "Europa 2020" per una crescita intelligente sostenibile e inclusiva, i Paesi dell'UE si sono posti cinque fondamentali obiettivi in materia di occupazione, clima/energia, istruzione e integrazione sociale. Nello stesso anno si svolge il Summit delle Nazioni Unite sui Millennium Development Goals (MDGs) per una revisione dei progressi fatti e mettere a punto un piano per il superamento degli obiettivi in agenda.
- 2012: a Rio de Janeiro si svolge Rio +20, conferenza mondiale sullo Sviluppo Sostenibile.
- 2013: avvio dei Lavori del Forum politico di Alto livello sullo sviluppo sostenibile HLPF - High Level Political Forum, istituito durante la riunione a Rio+20. L'obiettivo di questa piattaforma è il monitoraggio del conseguimento degli obiettivi sottoscritti con l'Agenda 2030, contenente 17 obiettivi per lo sviluppo sostenibile da raggiungere entro quella data. 7° Programma di Azione Ambientale dell'UE fino al 2020, in cui vengono sottoscritti 9 obiettivi da conseguire entro il 2020 a livello europeo.
- 2015: Summit per l'Adozione dell'Agenda 2030 (Parigi) per lo sviluppo sostenibile. Ad Addis Abeba, in Etiopia, si svolge la Terza Conferenza Internazionale sul Finanziamento dello Sviluppo, in cui si è cercato di riprendere quelle tematiche affrontate a Monterrey e Doha per svilupparle.
- 2017: Accordi di Parigi delineano un piano d'azione globale per il rafforzamento degli impegni presi in precedenza, anche sul piano del sostegno economico per le politiche ambientali dei paesi in via di sviluppo;
- 2018: COP24 a Katowice, si giunge ad accordi considerati insufficienti per rispettare gli impegni presi in precedenza.

Il concetto di sostenibilità è stato introdotto per la prima volta nel corso della prima conferenza ONU sull'ambiente del 1972, sebbene solo in seguito alla pubblicazione del Rapporto Brundtland, nel 1987, venne definito con chiarezza l'obiettivo dello sviluppo sostenibile, che grazie alla conferenza ONU su ambiente e sviluppo del 1992, è diventato il nuovo paradigma dello sviluppo stesso. Facendo un passo indietro, potremmo banalmente analizzare il significato della parola "sostenibilità" secondo la definizione data da vocabolario:

"Sostenibilità / so-ste-ni-bi-li-tà /: [sostantivo femminile] (i). Possibilità di essere mantenuto o protratto con sollecitudine e impegno o di essere difeso e convalidato con argomenti probanti e persuasivi; (ii). Possibilità di essere sopportato, spec. dal punto di vista economico e sociale."

In questa definizione viene scelta la parola *sopportare*, in questo caso interscambiabile, da un punto di vista semantico, con il più comunemente usato *supportare*, per definire il concetto di sostenibilità. La scelta di questa parola non è casuale, in quanto è proprio su un'azione di supporto che si basa il concetto di sostenibilità, che prevede la possibilità di portare avanti un progetto, un'iniziativa, una situazione, da parte di chi se ne fa carico, cercando di portarla a compimento senza sconvolgimenti insostenibili per l'ambiente circostante. Viene poi sottolineato il carattere spiccatamente economico e sociale della sostenibilità, sebbene nel corso degli ultimi trent'anni essa sia stata principalmente associata al problema ambientale: questo per la una sempre più palese manifestazione del problema nel corso degli ultimi anni, per cui esso è diventato emergenza. L'idea di

sostenibilità comprende però in sé un significato più ampio che riguarda le interazioni tra i vari aspetti della società esistente, in quanto nessuna iniziativa che viene intrapresa in alcun settore deve sconvolgere gli equilibri preesistenti.

La società moderna ha apportato molti cambiamenti alle nostre vite, soprattutto grazie allo sviluppo economico inarrestabile del dopoguerra. Ci si è resi conto però negli ultimi anni che questa crescita non era stata accompagnata da una pianificazione che impedisse di creare danni per le generazioni successive, specialmente dal punto di vista della salvaguardia ambientale. Per questo si è iniziato a parlare di determinare un programma di sviluppo sostenibile della società: il primo passo è stato quello di trovare una definizione univoca e globalmente condivisibile di sviluppo sostenibile. Essa è stata concordata dai Paesi partecipanti alla redazione del rapporto Brundtland¹ nel 1987, dove per la prima volta compare la definizione ufficiale di sviluppo sostenibile, inserita proprio nel capitolo *"Towards sustainable Development"*². Il primo punto, la definizione vera e propria, così citava:

"1. Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs. It contains within it two key concepts:

- the concept of 'needs', in particular the essential needs of the world's poor, to which overriding priority should be given; and*
- the idea of limitations imposed by the state of technology and social organization on the environment's ability to meet present and future needs."*

Tradotto in italiano:

"1. Lo sviluppo sostenibile è quello sviluppo che soddisfa i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri bisogni. Contiene due concetti chiave:

- il concetto di 'bisogni', in particolare i bisogni essenziali dei poveri del mondo, a cui dovrebbe essere data primaria importanza;*
- l'idea delle limitazioni imposte dallo stato della tecnologia e dell'organizzazione sociale riguardo alla possibilità dell'ambiente di soddisfare i bisogni presenti e futuri."*

Il fulcro dello sviluppo sostenibile, secondo questo testo, è quindi l'equilibrio del rapporto tra le generazioni presenti e quelle future, che si basa sulla necessità di garantire la disponibilità delle risorse per soddisfare i bisogni di tutti, in primis quelli elementari.

Proseguendo nella lettura, nei punti 4 e 5 si afferma che oltre alla necessità di garantire il soddisfacimento dei *"basic needs"*, bisogna estendere a ciascuno l'opportunità di aspirare a una qualità di vita migliore. Partendo da questi presupposti i *"living standards"*, cioè gli standard indice della qualità della vita, si definiscono in base alla possibilità dell'ambiente di poter soddisfare l'aspettativa di benessere: partendo da quelli che sono i bisogni primari socialmente e culturalmente condivisi e assumendo che ogni persona sulla terra possa vivere allo stesso livello degli altri, bisogna pianificare il consumo di risorse in un'ottica di lungo termine. Procedendo nel testo, viene però presa consapevolezza del fatto che la disponibilità di risorse non rinnovabili è stata seriamente compromessa dal comportamento dell'uomo nel XX secolo, che in nome del progresso ha consumato le materie prime senza alcuna pianificazione per il futuro.

La preoccupazione fondamentale è quindi la definizione di standard di consumo pianificati in modo da non nuocere ai bisogni delle generazioni future, nonché la promozione di tecnologie basate sull'uso di risorse rinnovabili per la produzione dell'energia necessaria al supporto di tali standards.

Seguendo la logica per cui alti livelli di vita devono essere accessibili a tutti, non è difficile capire come la necessità di uno sviluppo sostenibile si estenda a diversi ambiti produttivi ed economici. Ogni settore si è

arricchito di specifiche caratteristiche di sostenibilità applicate ad aspetti fondamentali: la riformulazione in termini sostenibili ha coinvolto anche la disciplina architettonica, con conseguente nascita di approcci e progetti cruciali per una svolta nell'orizzonte della disciplina.

1.2. La sostenibilità in architettura

La consapevolezza dell'influenza che l'architettura e l'urbanistica hanno sulla vita delle persone è una convinzione antica, di cui abbiamo tracce fin dal medioevo. Non si può pretendere che queste due discipline rimangano avulse dal contesto in cui vengono applicate poiché esse, non tenendo conto dei valori culturali comuni, risulterebbero prive di fondamento.

Costruire significa quindi assumersi delle responsabilità, non solo limitatamente agli utenti direttamente destinati alla fruizione del progetto, ma anche e soprattutto verso la società. Tra le varie responsabilità che ci si assume costruendo, quella più importante da tener presente è quella del risparmio. Perché? Per diverse ragioni che hanno diversi fondamenti:

- Ideologici: non deve esserci spazio per lo spreco in un mondo che deve essere spartito equamente;
- Tecnici: se si vuole spendere meno per la produzione di beni bisogna rinunciare alla loro complicazione;
- Estetici: a partire dall'era industriale, l'amore per la semplificazione ha fatto sì che essa venisse nobilitata anche dal punto di vista artistico.

L'argomento più convincente a favore del risparmio però deve essere la limitatezza delle risorse della Terra. Nei tempi più recenti, soprattutto a partire dall'invenzione dell'elettricità, l'idea di comfort all'interno dell'edificio si è irrimediabilmente legata alla convinzione che i dispositivi tecnici possano risolvere qualsiasi suo problema, per cui impianti come l'ascensore, il riscaldamento, la climatizzazione e l'illuminazione artificiale vengono considerati automaticamente parte del progetto di architettura.

La prassi che sembra aver preso piede nell'architettura è quindi quella di ovviare alle imperfezioni delle architetture attraverso l'aggiunta di dispositivi tecnici: "Tecnologia a ogni costo" è diventato il motto di costruttori e progettisti. Gli architetti sembrano aver dimenticato che il loro compito è quello di progettare e costruire degli edifici di per sé intelligenti, che abbiano bisogno di tecnologie ausiliarie solamente in minima parte.

In tempi recenti, grazie alla diffusione del concetto di sostenibilità e l'analisi dei problemi di inquinamento causati proprio da questi impianti a cui si faceva ricorso, si è diffusa una convinzione ancora più erronea: quella che, per costruire in maniera sostenibile, basti aggiungere all'edificio dei sistemi tecnologici certificati con marchio verde, fundamentalmente dannosi solo in minima parte per l'ambiente. Questa situazione causa la nascita di una serie di operazioni inadatte, in cui ad esempio vengono installati sistemi ad elevate prestazioni all'interno di antichi fabbricati, non adeguati a tali impianti, e i cui problemi pregressi di rado vengono trattati correttamente: tutti questi fattori determinano un abbassamento del livello prestazionale di queste tecnologie all'avanguardia, che spesso sono anche molto costose.

Anche la questione degli occupanti risulta connessa a queste problematiche: infatti, a parità di attrezzature e di livello di comfort garantito, spesso è il comportamento di chi abita un edificio a fare la differenza trasformandolo in una "casa ecologica". Per poter seguire lo sviluppo sostenibile che si tenta di promuovere, la prima mossa è sicuramente quella di educare le persone a un'abitare corretto ed efficiente, che può essere ottenuto solo sforzandosi di cambiare mentalità, stili di vita e abitudini di consumo, come parimenti a livello progettuale anche gli architetti devono cambiare il loro modo di vedere l'edificio.

Il settore dell'edilizia è uno dei più inquinanti del nostro sistema economico: per la produzione dei materiali da costruzione vengono emesse nell'atmosfera moltissime sostanze nocive, tra cui i gas a effetto serra (GES). In Italia il settore dell'edilizia è al sesto posto tra quelli che producono le maggiori quantità di GES, mentre la Francia è al terzo. Se consideriamo l'impatto dell'edilizia in termini di consumi e di produzioni di scarti poi, il carico di inquinamento aumenta, in quanto al problema del dispendio di energie per la costruzione si aggiunge quello dello smaltimento dei rifiuti edili e degli scarti dei cantieri. Spesso infatti questa tipologia di rifiuti è difficilmente riutilizzabile o riciclabile, per cui quando si pianifica un cantiere o la produzione di materiali bisogna pianificare anche la fine del ciclo di vita: qual è degli edifici una volta assorbita la loro funzione originaria? Una domanda che troppo poco spesso progettisti e tecnici si pongono.

Anche la considerazione dell'incidenza della forma degli insediamenti urbani e delle tipologie abitative sulla rete dei trasporti e sullo sfruttamento dei terreni è importante, poichè in tal modo si potrebbe condurre una analisi dei costi reali delle scelte architettoniche e urbanistiche.

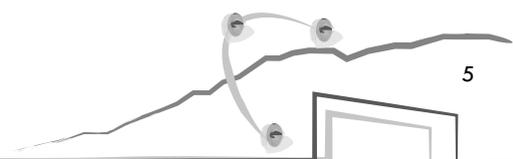
La nozione di sviluppo sostenibile inserita nel progetto complica la commessa stessa per l'architetto, in considerazione del fatto che odiernamente i tempi di consegna sono sempre più stretti e vi sono sempre maggiori vincoli da rispettare: essa impone un diverso modo di ragionare, poichè il progetto sostenibile di architettura deve tener conto della molteplicità degli aspetti della realtà. Lo sviluppo sostenibile tende a valorizzare la fase progettuale dell'architettura, e si può dire che introduca all'interno del percorso progettuale tre principi fondamentali:

- Inclusività e partecipazione dei vari attori di un progetto;
- Approccio "passivo" alla climatizzazione;
- Molteplicità funzionale per diverse tipologie di fruitori per tutta la durata della vita dell'edificio.

L'architettura sostenibile nasce dalla considerazione del contesto in cui si inserisce un progetto, e l'idea fulcro del suo progresso è quella di integrazione tra l'oggetto architettonico e l'ambiente circostante. Questo concetto si manifesta fondamentalmente in due aspetti del progetto: quello formale e quello funzionale. La forma è fondamentale perché ogni oggetto che aspiri ad essere sostenibile deve far trapelare la consapevolezza dell'ambiente tramite il suo aspetto, mentre la funzionalità si relaziona al suo rapporto con esso. Il progetto sostenibile dell'edificio si propone come primo obiettivo di limitarne l'impatto ambientale, e per fare ciò ricerca aspetti di efficienza energetica, di miglioramento del benessere abitativo e della qualità di fruizione degli abitanti. Fin dalle prime fasi è perciò prioritario per il progettista approfondire la ricerca sia da un punto di vista tecnologico che economico del contesto, proprio per poter evitare quelle successive azioni di "rattoppo" dei problemi irrisolti dal punto di vista progettuale.

Quali sono le azioni messe in pratica dai progettisti e frequentemente riscontrabili all'interno delle architetture sostenibili?

Si può dire che l'aspetto sostenibile nell'architettura si manifesti spesso sin nella scelta dei materiali: se si pensa alla facciata di un edificio, in un architettura sostenibile verrà privilegiata la tipologia della facciata monolitica e la scelta di un numero ridotto di materiali, sia perchè un minor numero di materiali significa meno energia consumata per la produzione, sia perchè si attua una selezione dei materiali considerati ecocompatibili. Per ovviare al consumo eccessivo di energia grigia (non rinnovabile), inoltre, vengono adottate scelte tecnologiche volte all'ottimizzazione delle prestazioni dell'involucro esterno. La qualità tecnica dell'involucro è infatti il fattore che influenza maggiormente il grado di efficienza energetica complessiva dell'edificio: se essa è particolarmente alta, diminuisce la necessità di ricorrere a dispositivi meccanici, riducendo i costi. Per questo la ricerca di nuovi materiali e di nuove tecnologie che implementino l'efficienza funzionale di un edificio è sempre al centro del dibattito architettonico odierno.



Di seguito sono riportati esempi di scelte di materiali e tecnologie efficienti per l'involucro in edifici considerati ecocompatibili, progettati anche più di trent'anni fa a dimostrazione della presenza del problema in ogni epoca.

Immagine 1.1 - Thomas Herzog, *Casa Unifamiliare*, Regesburg, Germania, 1977-1979

Immagine tratta dal sito <<https://www.domusweb.it>>.



Osservando questo appartamento, opera di Thomas Herzog di fine anni '70, si comprende che l'idea di costruire una serra sfruttando l'involucro dell'edificio non sia affatto nuova in architettura. Ancora oggi esso è considerato uno degli esempi più validi di un approccio integrato tra sito, tecnologia e design.

La facciata esposta a sud, inclinata in modo da formare anche il tetto dell'edificio e ridurre l'impatto visivo integrandosi meglio con il sito, funziona come una serra bioclimatica, collaborando con la struttura costruita in legno, ovviamente della riserva locale, e con il pavimento in pietra, la cui massa termica rilascia gradualmente durante la notte il calore accumulato nelle ore diurne.

Immagine 1.2 - Jean Nouvel, *Institute du Monde Arabe*, Parigi, 1987

Immagine tratta dal sito <<https://www.archdaily.com>>.



La facciata sud dell'edificio dell'IMA- *Institute du Monde Arabe* di Parigi, progettato da Jean Nouvel alla fine degli anni '80, è uno dei più famosi esempi di facciata intelligente. Tipica dell'architetto è l'attenzione all'estetica dell'involucro dell'edificio, e in questo caso anche al suo funzionamento tecnologico. La facciata è composta infatti da brises soleil metallici a funzionamento fotosensibile, in quanto provvisti al loro interno di diaframmi fotosensibili che regolano la quantità di luce da far entrare a seconda dell'intensità della luce esterna e dell'ora del giorno. Le decorazioni incise sui brises - soleil formano inoltre dei motivi geometrici che riprendono quelli archetipici della cultura araba.

Per tutte queste caratteristiche, il progetto di Nouvel si configurava all'epoca come un perfetto esempio di integrazione tra cultura, tecnologia ed esigenze estetiche. C'è da dire che negli anni sono emerse delle difficoltà nel controllo dell'impianto fotosensibile, perciò questo tipo di soluzioni, sebbene molto innovative, devono essere continuamente oggetto di aggiornamento e studio per non rivelarsi un ostacolo al risparmio energetico su lungo periodo.

Immagine 1.3 - MCA- Mario Cucinella Architects, *ARPAE*, Ferrara, 2016

Immagine tratta dal sito <<https://www.mcarchitects.it/project/>>.



Il progetto, opera dello studio MCA, tra i più rinomati per la ricerca in campo di progettazione sostenibile, è un esempio di sostenibilità sia in materia di rivestimento che di forma dell'edificio.

Il progetto prevede che la costruzione si sviluppi attorno ad un cortile, con un'alternanza di facciate opache, sollevate dal terreno, rivestite in legno, e trasparenti, che compongono una fascia basamentale al piano terra. Sui tetti inclinati trovano sede una serie di condotti luminosi che permettono sia di lavorare in condizioni di illuminazione ideale, sia di mantenere un clima confortevole all'interno dell'ambiente.

Poiché dal punto di vista energetico l'architettura sostenibile mira a far sì che sia l'edificio stesso a produrre l'energia necessaria al proprio fabbisogno energetico sfruttando possibilmente le fonti rinnovabili messe a disposizione dall'ambiente circostante, anche la posizione e l'esposizione del volume architettonico assume una funzione cruciale. Se infatti vi è alla base del progetto uno studio approfondito sui materiali e le tecnologie, esse perderebbero parte della loro efficacia se non si tenesse conto delle caratteristiche ambientali del luogo in cui sorge una costruzione. Così per esempio, si cercherà di collocare l'edificio in modo da avere la maggior esposizione, in termini di ore, alla luce solare (specialmente nei mesi invernali) e il massimo sfruttamento dei venti prevalenti in una data località in modo da ridurre il bisogno di utilizzare impianti automatizzati.

Anche la dimensione, il taglio e la disposizione degli spazi interni ha molta importanza, se si pensa che innanzitutto l'architettura ha lo scopo di fornire servizi materiali che agevolino lo svolgimento di diverse attività, soprattutto quando si parla del tema dell'abitare. Le nostre esigenze nel secolo odierno si sono moltiplicate e complicate, e la ricerca di soluzioni per il comfort abitativo e la qualità di fruizione ha assunto sfumature sempre più diversificate. Un esempio significativo di espressione dell'habitat sostenibile contemporaneo è quello dello spazio tampone: anche detto spazio filtro, è un ambiente intermedio che non risponde più alla classica definizione di interno/esterno, ed è destinato solitamente all'uso comune e allo sviluppo della socializzazione. Oltre al vantaggio della duttilità funzionale, esso può avere anche quello di ridurre la necessità di utilizzo del riscaldamento, in quanto molto del calore necessario per scaldare gli ambienti interni può essere recuperato da quello accumulato durante il giorno all'interno dello spazio tampone. Si può quindi ridurre l'entità delle escursioni di temperatura sfruttando tali spazi. Questo è il tipico esempio di come la riflessione sostenibile ha portato alla creazione di una soluzione con risvolti positivi su molteplici fronti: da quello sociale e fruitivo a quello energetico ed economico. Un esempio molto significativo di *buffer space* a guadagno solare è quello progettato dall'architetto Henning Larsen per la sede dell'Università di Trondheim, in Norvegia.

Situato a Drogvall in Norvegia, l'edificio costituiva la prima parte di un complesso universitario più ampio. L'idea che girava attorno a questo edificio era incentrata principalmente sui temi del guadagno solare e della coerenza formale con l'architettura della città.

Il corpo opaco dell'università è unito da un passaggio coperto da una struttura vetrata, su modello di una serra, alta tra piani, e comunicante con gli ambienti interni delle aule. Nei periodi estivi, che implicano lunghe ore di luce a quelle latitudini, la struttura raggiunge il suo guadagno massimo poiché, affacciandosi su un fiordo, riflette la luce anche grazie all'effetto dell'acqua. D'estate la copertura può essere aperta.

Immagine 1.4 - Henning Larsen, facciata della *Trondheim University*, Dragvoll, Norvegia, 1990-1993

Immagini tratte dal sito <<https://archello.com>>.



Le aule magne sono collocate a piano terra, mentre le piccole aule per le lezioni al primo, i servizi invece al secondo piano.

L'idea di coprire i percorsi di collegamento è dovuta alla particolare rigidità del clima invernale, mentre la scelta dell'utilizzo di vetro è dettata dalla volontà di non turbare la facciata tradizionale dell'edificio, inserendo un elemento innovativo e utile dal punto di vista energetico.

L'ultimo esempio che viene qui proposto è indicativo come esempio di utilizzo di illuminazione e ventilazione naturale unito alla scelta di materiali e strutture pensati apposta per garantire da un lato la continuità formale con le eredità lasciate dagli edifici del centro storico della città in cui è posta l'architettura, dall'altro ottime caratteristiche di passività energetica grazie a elevate caratteristiche di inerzia termica. L'edificio in questione è il De Montfort University Queen's Building for Technology a Leicester, in Inghilterra, opera dei progettisti Alan Short e Brian Ford.

Immagine 1.7 - Short Ford Associates, De Montfort University Queen's Building for Technology, Leicester, UK, 1989 -1993
Immagine tratta dal sito <<https://www.dmu.ac.uk>>.



“L'intenzione era quella di affrontare e fronteggiare questo problema morale-ambientale del campus e del vicinato, e di costruire un edificio che fosse il più possibile condizionato in maniera naturale.”

Alan Short su *“Dimensions of Sustainability 37”*.

Nel 1989 la De Montfort University lanciò la sfida di costruire il più grosso edificio con ventilazione naturale in Europa, ed esso venne completato quattro anni più tardi, con il risultato dell'odierno Queen's Building all'interno del campus universitario di Leicester, nel Regno Unito. L'intento era quello di progettare un complesso che ospitasse tra le 1.000 e le 1.500 persone tra studenti, insegnanti e tecnici del campus, con l'obiettivo di renderlo il più possibile autonomo da impianti automatizzati per il riscaldamento e la ventilazione.

Il complesso ha una forma articolata e si sviluppa generalmente su tre piani f.t. ad altezza variabile a seconda delle esigenze degli ambienti che vengono ospitati in ogni porzione. La distribuzione degli spazi si articola tutta attorno a un atrio centrale che mette in comunicazione aule, laboratori, *auditoria* e così via. Per i rivestimenti e tamponamenti degli edifici sono stati scelti materiali tradizionali, quali mattone e legno, per la vicinanza del complesso con il centro storico della città.

La strategia di ventilazione naturale avviene sfruttando l'effetto camino dato dalle torri-camino e dai lucernari posti sui colmi dei tetti, atti all'estrazione dell'aria. Nelle torri il sistema di apertura dell'aria è posto su un piano inclinato rivolto verso il basso, avente sezione di flusso variabile a seconda delle esigenze di portata d'aria. Nei lucernari, le chiusure trasparenti sono collocate su piani inclinati invece rivolti verso l'alto, apribili, che consentono l'illuminazione naturale zenitale. Anche le generose altezze degli spazi interni sono progettate al fine di facilitare l'effetto camino per la ventilazione.

Da sempre architettura e urbanistica sono indissolubilmente legate alla società. La società dà forma all'architettura, ma è anche vero che quest'ultima può esercitare una forte influenza, nel bene e nel male, sulla società e sul nostro modo di vivere. Basti pensare al profondo cambiamento nella disposizione e della dimensione degli spazi abitativi nel corso dei secoli, nonché della struttura stessa dell'edificio, manifesto dell'evoluzione dei tempi. Per questo motivo è importantissimo che al centro della riflessione di sostenibilità in architettura ci sia sempre e comunque l'uomo, posto in stretta relazione con l'ambiente in cui è inserito. È importante che il progetto di architettura miri a preservare la continuità storica per lasciare un messaggio positivo e la possibilità di adattamento per le generazioni future.

NOTE

1. Il rapporto Brundtland, il cui titolo ufficiale è *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*, è un documento redatto nel 1987 dalla Commissione mondiale sull'ambiente e lo sviluppo (WCED). Il nome con cui è conosciuto venne dato dalla coordinatrice Gro Harlem Brundtland che in quell'anno era la presidentessa della commissione e aveva commissionato l'ideazione del rapporto.

2. *Chapter Two: Towards Sustainable Development, The Concept of Sustainable Development, pt. 1 (Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, UN Document, 1987).*

2

PRINCIPI DI PROGETTAZIONE BIOCLIMATICA

Per realizzare una nuova architettura sostenibile odierna bisogna tener conto delle odierne aspettative di benessere. Sebbene le tecnologie costruttive adatte a soddisfare le esigenze di sostenibilità ambientale siano già presenti da molto tempo in architettura, esse spesso si sono rivelate inefficaci nel soddisfacimento delle esigenze di comfort dell'uomo contemporaneo. In che modo si può quindi sviluppare una nuova tipologia di architettura, energeticamente razionale, che coniughi alle tradizionali soluzioni architettoniche lo studio approfondito di come integrare perfettamente tutti i fattori climatici nel funzionamento di un edificio?

Dall'esigenza di trovare risposta a questa domanda si è pensato di applicare la disciplina Bioclimatica come criterio base per trovare soluzioni ottimali al progetto di architettura. Questa disciplina studia le connessioni tra i comportamenti del clima e il benessere termoisometrico, che influenza direttamente lo stato di salute umano, e osserva in che modo l'uomo costruisce le proprie abitazioni tenendo conto delle peculiarità dei vari climi presenti sul pianeta.

L'approccio bioclimatico all'architettura non è nuovo nella storia dell'uomo, ma, specialmente a partire dalla corrente razionalista sviluppatasi negli anni 30 del secolo scorso, è stato ritenuto superfluo occuparsi dell'integrazione tra clima e architettura a causa dello sviluppo di nuove tecnologie e l'utilizzo di materiali strutturalmente più efficienti, che hanno portato a pensare di poter risolvere ogni difficoltà nell'edificio ricorrendo tali espedienti tecnologici, che divenivano in quegli anni sempre più potenti (e più inquinanti). Sebbene già in tempi molto antichi, quando non ancora in possesso di tali tecnologie, gli uomini sfruttassero naturalmente le peculiarità ambientali della regione di provenienza per trovare soluzioni architettoniche che non assolvessero solo la loro funzione specifica, ma anche quella energetica, esse non sono mai state tramandate in maniera sistematica con un metodo scientifico, venendo progressivamente abbandonate.

I primi tentativi di recuperare questa ancestrale cultura ambientale risalgono agli inizi del secolo scorso, grazie a un'operazione di studio climatico a livello mondiale effettuata nel 1918 dal climatologo tedesco Wladimir Koppen¹: egli pubblicò un proprio studio di classificazione dei climi, fondando una disciplina chiamata Bioclimatologia, finalizzata principalmente alla ricerca delle cause di una data distribuzione della vegetazione nelle varie zone del pianeta. La sua classificazione era considerata molto vantaggiosa poiché permetteva di individuare, in funzione della temperatura, ciascun tipo di clima per aree piuttosto ampie del globo, che venivano poi suddivise in ulteriori sottotipi climatici basandosi sui criteri di variazioni stagionali di temperatura e del regime pluviometrico della zona considerata.

A partire dagli anni 60 del XX secolo iniziò un lungo periodo di dibattito sull'importanza dell'utilizzo delle condizioni climatiche come risorse energetiche, poiché si cominciava a rendersi conto che l'architettura del Movimento Moderno, pur avendo apportato importanti cambiamenti e semplificazioni a livello estetico e formale nell'architettura, aveva avallato in maniera incontrollata l'uso di tecnologie che consumavano in maniera incontrollata l'energia di fonti non rinnovabili e aveva portato a scelte progettuali spesso del tutto in contrasto con il contesto ambientale in cui si inserivano. In questo periodo l'architetto statunitense di origine ungherese Victor Olgyay, partendo dal lavoro di Koppen, lavorò su una diversa tipologia di classificazione dei climi, e fu tra i primi professionisti del settore a sottolineare l'importanza di una progettazione più attenta ai fattori ambientali, ricercando una corrispondenza tra architettura e zone climatiche e pubblicando un'opera² che pose le basi per la nascita del filone dell'**Architettura Bioclimatica**. L'approccio bioclimatico all'architettura si propone di studiare delle soluzioni tipologiche e delle prestazioni tecnologiche, sia dal punto di vista del singolo edificio che di un complesso di edifici, che permettano di stabilire un rapporto strettamente interdipendente tra l'architettura e l'ambiente esterno, consentendo di raggiungere il maggior livello di benessere possibile all'interno di un edificio.

Si cerca di raggiungere queste condizioni attraverso una pianificazione consapevole dell'uso delle risorse disponibili, utilizzando il minor quantitativo possibile di energia ricavata da fonti non rinnovabili, e anzi puntando a una massimizzazione dei benefici ottenibili dalle energie rinnovabili.

Secondo l'approccio bioclimatico l'edificio dovrebbe mantenere nel tempo un comportamento bioclimatico, ovvero modificarsi, integrarsi e adattarsi contemporaneamente al cambiamento delle condizioni esterne, disperdendo il quantitativo minimo di energia e immagazzinandola quando serve. Tale comportamento può essere indotto attraverso l'utilizzo di una serie di sistemi e componenti edilizie che soddisfino queste esigenze.

Di prioritaria importanza per l'edificio bioclimatico sono sicuramente la forma e l'orientamento. La tipologia di forma dell'edificio agevola gli scambi termici con l'esterno e anche lo sfruttamento della ventilazione, mentre l'orientamento è maggiormente legato al discorso dell'irraggiamento solare. La scelta della localizzazione ottimale invece è legata agli scambi di calore, soprattutto per quanto riguarda lo sfruttamento di corsi d'acqua come fonte primaria per gli scambi di calore.

In architettura bioclimatica il progetto non è unicamente legato alle condizioni climatiche di sito, ma anche ai loro cambiamenti nel tempo: una progettazione perfettamente integrata tiene quindi conto dei cambiamenti ambientali di sito nel corso delle stagioni.

2.1 Archetipi di architettura bioclimatica

Il rapporto tra biologia e architettura è una costante nella storia delle costruzioni. Appena due secoli fa, l'architetto statunitense Frank Lloyd Wright valorizzava questo rapporto nella sua pratica di architettura organica³: egli intendeva infatti il progetto come l'evoluzione di un'intrinseca condizione naturale, che partendo da essa si appoggerà di conseguenza su di essa per il suo funzionamento.

Come abbiamo già accennato, lo stretto rapporto intercorrente tra architettura e natura è sempre stato fondamentale nella storia dell'uomo, e ne troviamo le prime testimonianze già in periodo premoderno. Il tentativo di sfruttare i *fattori microclimatici* (quindi, secondo la classificazione comunemente accettata delle scale climatiche, del clima caratterizzante l'intorno edilizio) come risorse per il controllo endoclimatico dello spazio costruito è una pratica consolidata nelle costruzioni umane, e ha portato all'elaborazione di alcune tecniche e tipologie costruttive che, applicate a epoche, aree geografiche e contesti culturali diversi, sono servite per definire alcune tipologie di *"archetipi bioclimatici"*. Queste tecniche vengono tutt'ora sfruttate soprattutto nelle aree più povere del mondo, e l'obiettivo dell'Architettura bioclimatica è quello di introdurre un uso sempre più diffuso nei nuovi edifici in progetto, per fare in modo che si riduca drasticamente, se non addirittura che scompaia, l'utilizzo di sistemi automatizzati (specialmente per quanto riguarda la ventilazione degli ambienti) che pongono il problema dell'inquinamento.

2.1.1 Il controllo della ventilazione naturale

Poiché il controllo della ventilazione e il raffrescamento senza l'aiuto di impianti meccanizzati sono gli aspetti che più stanno a cuore ai progettisti, è bene menzionare gli archetipi costruttivi per il controllo e l'incremento della ventilazione naturale diffusi soprattutto in Medio Oriente, costituiti da diverse tipologie con diverse finalità.

Se si pensa ad esempio ad elementi di captazione dell'aria, gli archetipi più rappresentativi sono il *malqaf*, diffuso in tutto il Medio Oriente, e il *bàdgir*, tipico invece dell'area del Golfo, dell'Iraq e dell'Iran. Questi elementi hanno solitamente forma di condotto a sezione poligonale o circolare, con una parte emergente e una

più in basso rispetto al piano di copertura dell'edificio. Le pareti della parte emergente hanno una o più aperture, e nel caso del *malqaf* esse hanno funzione di captazione dell'aria, in quanto si trovano in direzione perpendicolare a quella prevalente del vento, mentre per quanto riguarda la *bàdgir* le aperture sono esposte più o meno a tutte le direzioni, e possono svolgere la doppia funzione di captazione e estrazione dell'aria. Se poi le pareti sono sufficientemente massive, il flusso d'aria si innesca anche in assenza di vento, sia in ascesa che in discesa. Infine, la parte sottostante il livello di copertura ha la funzione di canalizzare l'aria verso lo spazio abitato, e può avere sezione più ampia rispetto a quella superiore in modo da ridurre la velocità dell'aria.

Questi elementi architettonici sono molto utilizzati nelle abitazioni: ad esempio i *malqaf* dell'Iraq, dove la temperatura estiva esterna raggiunge i 45° C, hanno dimensioni ridotte e aperture rivolte a nord in modo da captare aria più fresca, mentre il canale di comunicazione con l'interno ha uno sbocco in ogni stanza, sino a quella più interna detta *serdab*, una specie di cantina in cui gli abitanti si rifugiano nelle ore più calde.

Il *bàdgir* invece, ha una funzione combinata di captazione ed estrazione dell'aria. Esso è più massiccio del *malqaf*, ed è costituito da una torretta aperta sui quattro lati, fornita di una partizione verticale interna di mattoni, e svolge anche funzione di raffreddamento per effetto della massa termica. La massa funziona infatti da volano termico: il mattino ha una temperatura più fredda dell'aria esterna che, a contatto con la muratura, si raffredda e scende verso il basso, entrando nell'edificio.

Durante la giornata la massa del *bàdgir* assorbe gradualmente il calore dell'aria esterna e dell'irraggiamento solare, che restituisce di notte all'aria più fredda proveniente dalle aperture più basse degli ambienti. Questa, riscaldandosi a contatto con le pareti del *bàdgir*, risale innescando un ciclo di ventilazione inverso a quello diurno. La partizione verticale dei *bàdgir* aperti su tutti i lati è necessaria per incanalare le brezze entranti da qualunque direzione, in quanto percorre la torre lungo tutta la sua altezza. Altri *bàdgir* sono dotati di singoli canali entro un'unica torre, rivolti solo verso i venti principali, che sfociano nella parte superiore degli ambienti.

Immagine 2.2 - Esempi di torri del vento: (a) funzionamento di un *malqaf*; (b) *Bàdgir* a Yazd (Iran).
Immagine tratta dal libro "Il raffreddamento passivo degli edifici in zone a clima temperato", Mario Grosso, p. 135, 2017.

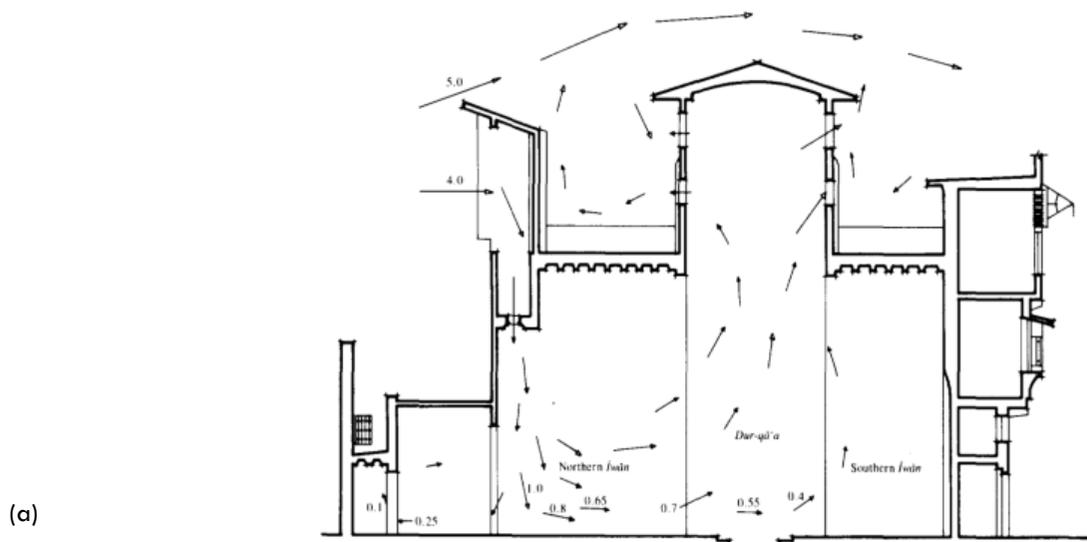


Immagine tratta dal sito <<https://paleo-energetique.org>>.



(b)

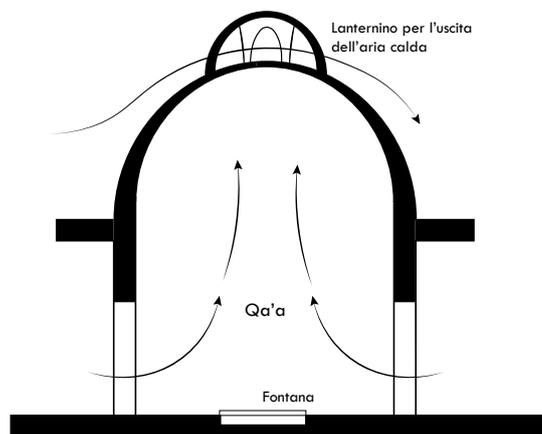
La ventilazione dell'edificio può anche avvenire in forma diretta, e anche per questa tecnica vi è un archetipo che ha trovato grande diffusione in Egitto, il qà'a. Esso è tradizionalmente composto da tre ambienti:

- Il *dur-qà'a*, un locale centrale a tutta altezza con pavimento di marmo, senza tappeti, che viene usato per la circolazione delle persone e coperto da un lanternino, ovvero un elemento di estrazione dell'aria di solito posizionato nel punto culminante di una copertura;
- Gli *iwanat*, due ambienti annessi lievemente sollevati rispetto alla quota di pavimento del *dur-qà'a*, coperti da tappeti e destinati allo svolgimento delle attività di pubbliche relazioni; in corrispondenza di uno dei due iwan (termine al singolare), solitamente dell'ambiente rivolto a nord, si trova un *malqaf*.

Questo sistema funziona grazie alla differenza di pressione delle parti in gioco: il *malqaf* è in sovrappressione, poiché posto sopravento nel lato nord, e cattura l'aria dei venti dominanti che è più fredda e più veloce di quella degli ambienti interni, incanalandola negli *iwanat* e successivamente nel *dur-qà'a*; in seguito l'aria, riscaldata, tende a salire verso il lanternino per poi uscire attraverso le aperture. Spesso viene poi posta una fontana al centro della stanza, che ha funzione di aumentare l'umidità relativa dell'ambiente e diminuire la temperatura dell'aria per raffreddamento evaporativo. Questo sistema sfrutta quindi il cosiddetto effetto camino, secondo il quale l'aria calda tende a risalire verso l'alto grazie alla differenza di pressione con l'aria fredda, causando quindi il movimento circolare dei flussi.

Immagine 2.3 - Schema di funzionamento di un qà'a.

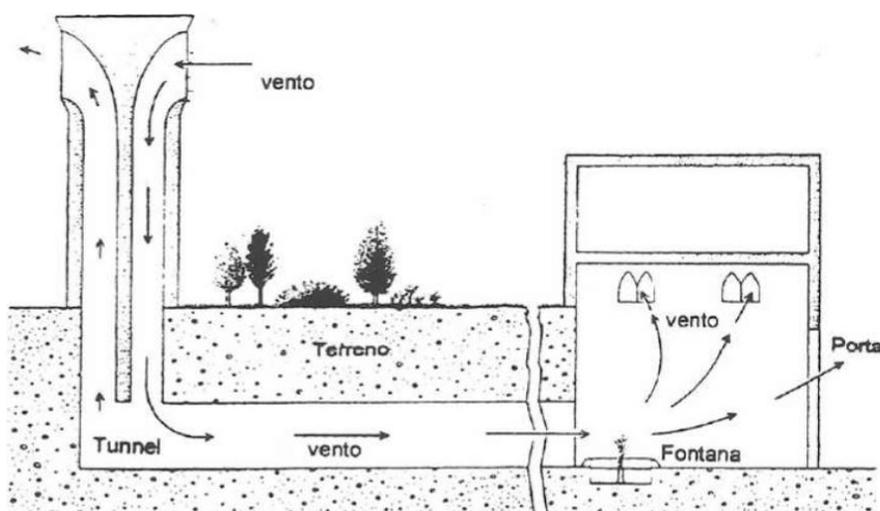
Immagine rielaborata dal libro "Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato", Mario Grosso, p. 129, 2017.



L'ultimo archetipo portato a esempio per il raffrescamento naturale dell'edificio è quello, diffuso sempre nell'area mediorientale, che combina una ventilazione naturale indiretta e un sistema di raffrescamento passivo geotermico. I sistemi a ventilazione indiretta sono generalmente caratterizzati dall'interposizione di un canale raffrescante tra l'elemento di captazione/estrazione dell'aria e gli ambienti da raffrescare; questo è il funzionamento della torre del vento iraniana: essa è costituita da un elemento captante a torre, funzionante come un *bàdgir*, posto a una certa distanza dall'edificio e collegato ad esso tramite un ampio canale sotterraneo. Come i sistemi descritti precedentemente, anch'esso sfrutta il meccanismo delle differenze di pressione che sta alla base dei movimenti d'aria. Il funzionamento avviene in questo modo: durante il giorno, l'aria passa dall'esterno, attraverso il *bàdgir*, nel condotto sotterraneo, dove viene raffrescata, per poi entrare negli spazi abitati dell'edificio a cui la galleria è collegata; riscaldandosi a contatto con l'aria interna, tende poi a risalire verso l'alto e fuoriuscire dalle aperture poste più in alto per effetto camino. Di notte il ciclo si inverte grazie al calore accumulato nelle ore diurne dalle pareti del *bàdgir*.

L'effetto raffrescante dei condotti sotterranei viene sfruttato anche nel mediterraneo, dove troviamo diversi esempi di insediamenti ipogei, come quelli in Cappadocia e in Tunisia.

Immagine 2.4 - Esempio di funzionamento di una torre del vento iraniana associata a un condotto sotterraneo. Immagine tratta dal libro "Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato", Mario Grosso, p. 136, 2017.



2.1.2 Il controllo della radiazione solare

Per quanto riguarda le modalità del controllo solare, troviamo come archetipo bioclimatico il sistema della *mashrabiya*. Essa è un elemento di facciata introdotto nell'area mediorientale dai turchi attorno al XVI secolo: essi venivano da una terra con clima caldo umido in cui, per rendere il clima confortevole all'interno degli edifici, venivano realizzate ampie aperture verso l'esterno. Nei paesi dominati però, aventi clima secco e cultura musulmana, le ampie aperture non potevano essere accettate poiché veniva a mancare la condizione della privacy. Questa situazione venne quindi risolta creando ampie aperture ma dotandole di schermi lignei, che avevano molteplici funzioni: schermare la vista dall'esterno assicurando la privacy, controllare i flussi solari e i flussi d'aria, ridurre la temperatura dell'aria aumentandone l'umidità.

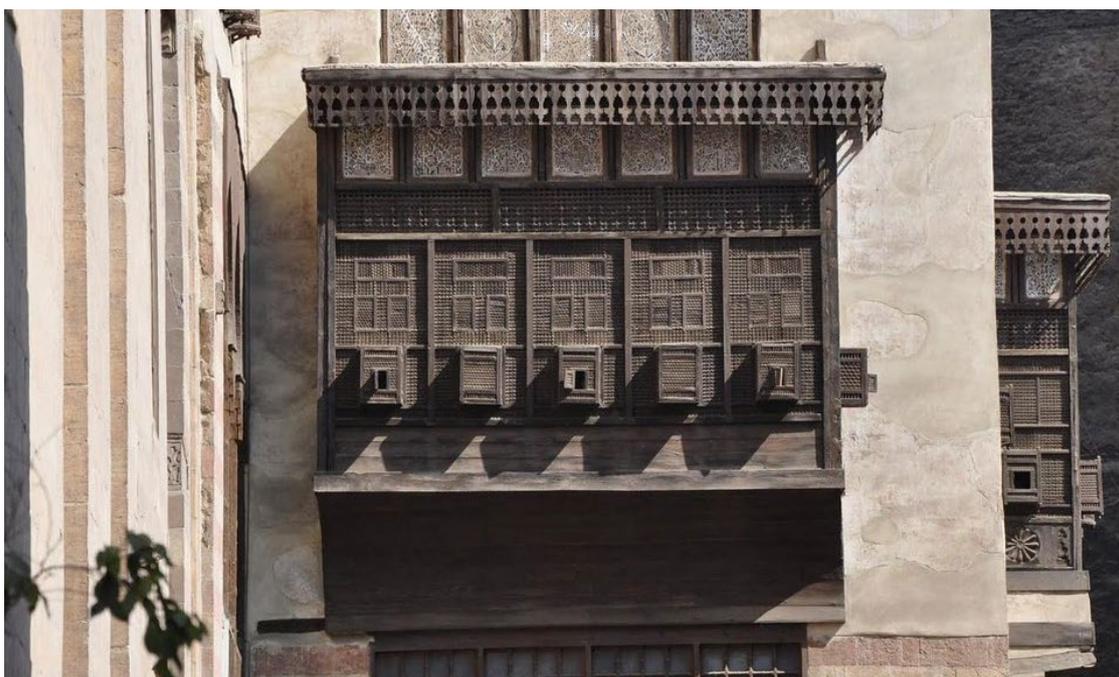
La *mashrabiya* si configura come un ambiente a sbalzo collocato ai piani superiori degli edifici, simile al concetto di *bow window* europeo, chiuso da pannelli di legno grigliati: in essi venivano generalmente poste delle giare contenenti

dell'acqua, che evaporando raffrescava gli ambienti. Spesso la *mashrabiya* poteva essere dotata di absidi sporgenti verso l'esterno, chiamate *kullaleya*, che contenevano le giare di terracotta piene d'acqua, in modo tale che l'aria venisse raffrescata già in entrata.

I pannelli lignei che schermavano dall'esterno la *mashrabiya* erano sia elementi decorativi che tecnologici. Di notevole importanza è la loro conformazione: essi sono dotati di piccoli interstizi e di una sezione circolare del legno. Gli interstizi permettono il passaggio della luce graduandone l'intensità grazie alla sezione circolare del materiale, che affievolisce il contrasto tra l'oscurità dei listelli opachi e l'intensità della luce che penetra nell'ambiente. Le *mashrabiya* poste ai piani bassi degli edifici, dove la visione dall'esterno degli ambienti interni era più facile, erano dotate di una trama più fitta degli interstizi. L'entità degli interstizi cambiava anche a seconda dell'orientamento: le *mashrabiya* rivolte a nord o protette dal sole potevano avere delle maglie interstiziali più ampie.

Si può dire che questo tipo di tecnologie rappresentino gli archetipi dei moderni sistemi di schermatura di facciata a pannelli, come i famosi brises soleil, e un chiaro riferimento a questo patrimonio architettonico del mondo arabo antico si può trovare nel parigino *Institute du Monde Arabe*, progettato da Jean Nouvel (vedi immagine 1.2).

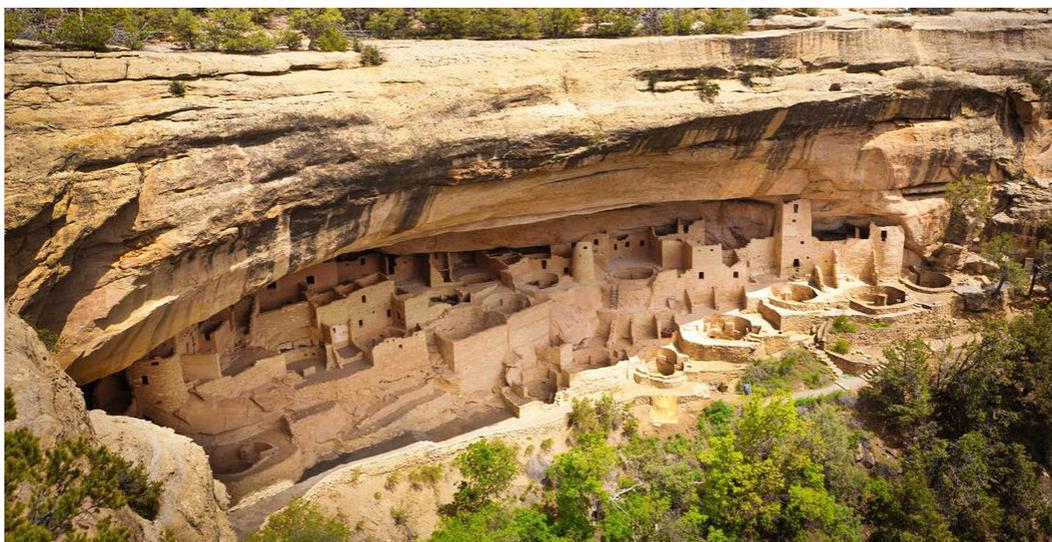
Immagine 2.5 - Immagine di *mashrabiya* in un palazzo storico del Cairo.
Immagine tratta dal sito <<https://architecture.mit.edu>>.



Il secondo caso esemplare per il controllo solare è quello dell'insediamento dei *cliff dwellings* di Mesa Verde, nel Colorado, costruito dal popolo degli indiani Anazasi in epoca precedente al XII secolo. Esso è un'ottima dimostrazione di come la forte interrelazione tra ambiente naturale e costruito sia riuscita a creare le condizioni ottimali di comfort abitativo, chiaramente riferendosi agli standard dell'epoca. La particolarità di questo insediamento è prima di tutto costruttiva: esso è composto da una serie di aggregati di celle abitative chiamati pueblo, costruiti senza soluzione di continuità tra spazi abitativi, rituali o di immagazzinaggio, i cui accessi erano possibili unicamente dalle coperture, tramite scale mobili a pioli. Il materiale costituente le murature portanti è l'*adobe*, una miscela di fango e paglia essiccato al sole, mentre le strutture orizzontali di sostegno delle coperture erano in legno.

L'insediamento di Mesa Verde è orientato a sudovest, e viene quindi irraggiato nel periodo invernale e ombreggiato in quello estivo grazie alla forma e all'esposizione del sito. L'orientamento ottimale va a combinarsi con la funzione di controllo termico dell'involucro e della struttura edilizia, grazie alle caratteristiche di massa e alla minima presenza di aperture trasparenti.

Immagine 2.1 - Insediamento di di *cliff dwellings*, anche chiamate *balcony houses*, a Mesa Verde (USA).
Immagine tratta dal sito <<https://www.picfair.com>>.



2.2. Il clima e la sua importanza nel progetto di architettura bioclimatica

2.2.1 Il clima e le sue classificazioni

Per comprendere le caratteristiche principali dell'odierno approccio bioclimatico all'architettura e i principi su cui essa poggia è impossibile non parlare del clima e di come sia stato possibile, grazie allo studio, tra gli altri, degli studiosi citati in precedenza, raggiungere un metodo di classificazione e studio univoco dei suoi fenomeni, che odiernamente permettono di comprenderne i meccanismi e sfruttarne le potenzialità per il funzionamento degli edifici.

Innanzitutto, è opportuno condividere la definizione di clima univocamente condivisa: esso è considerato come la “(...)media delle condizioni meteorologiche di una località, di una regione o di un intero continente, effettuata per un periodo di tempo sufficiente a evidenziare delle condizioni di tendenza stabili delle variabili atmosferiche (in generale almeno un decennio)”.

In generale, le variazioni a cui sono soggette tali variabili atmosferiche sono soggette a cause complesse molto specifiche, per cui, per mettere in relazione il clima al funzionamento degli edifici ci si riferisce in genere a elementi di carattere generale che si ritengono importanti in questo rapporto clima/edificio.

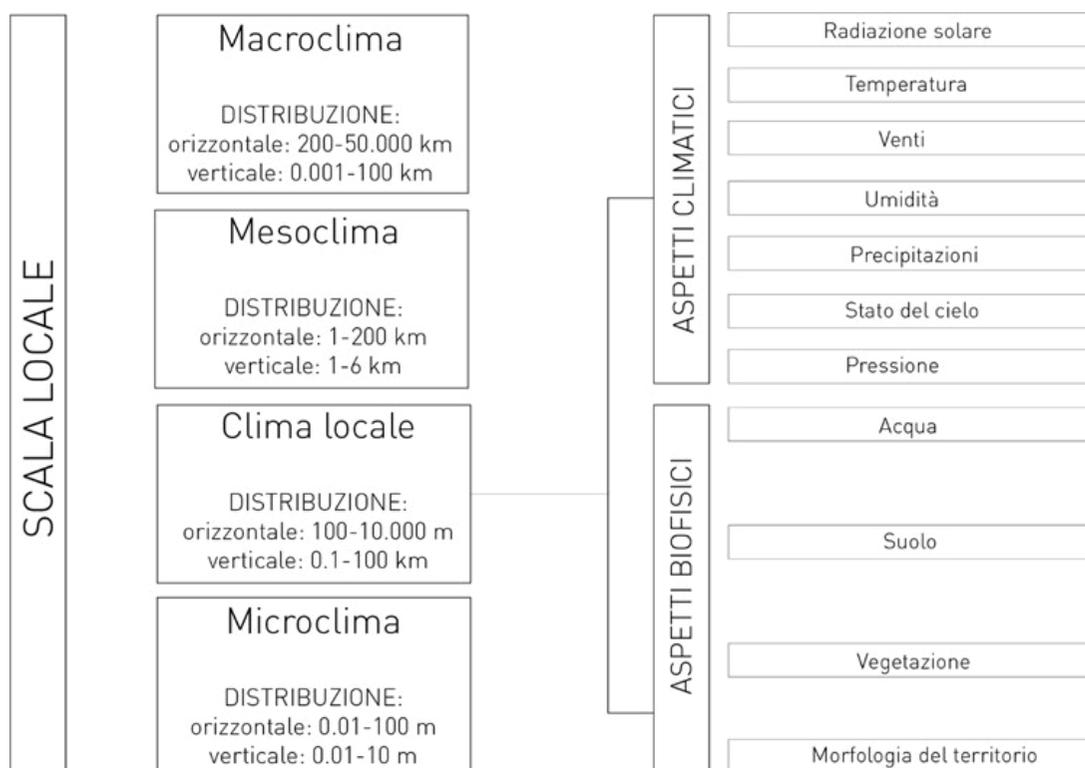
Uno degli aspetti principali da conoscere quando si parla di clima è l'esistenza delle sue classificazioni. Esistono principalmente due sistemi di classificazione del clima: il primo in funzione della scala, ovvero l'estensione spaziale (sia orizzontale che verticale) entro cui si sviluppano determinate condizioni meteorologiche; il secondo in funzione della distribuzione geografica, secondo una suddivisione delle aree della terra all'interno delle quali i parametri climatici principali assumono caratteristiche omogenee.

2.2.2 La scala climatica

La classificazione più conosciuta del clima è senza dubbio quella delle scale climatiche, che si basa sulla constatazione che all'interno del sistema generale di circolazione dell'atmosfera sono distinguibili una serie di sottoinsiemi climatici. I livelli individuati e riconosciuti dalla comunità scientifica sono riassumibili in questa tabella:

Schema 2.1 - Classificazione secondo la scala climatica.

Immagine tratta dal libro "Progettazione bioclimatica di sito", Salvatore de Pascalis, 2005.



2.2.3 Distribuzione geografica

Per quanto riguarda la classificazione climatica basandosi sul criterio della distribuzione geografica, vi sono principalmente due metodi riconosciuti:

- Metodi di carattere zonale: più generali e qualitativi, si basano su parametri climatici come la radiazione solare al suolo e la temperatura e umidità relativa;
- Metodi quantitativi: in questo caso si fa uso di valori numerici, di temperatura e piovosità, al fine di individuare limiti fra gruppi e tipi climatici.

Koppen e Olgay, di cui abbiamo precedentemente parlato nell'introduzione a questo capitolo, hanno proposto, in tempi diversi, tabelle riassuntive di classificazione delle tipologie climatiche. Quella di Koppen, la più antica, è riconosciuta come la più completa tra le due poiché basata su un metodo quantitativo, a differenza di quella dell'architetto Olgay, fondata su criteri più generali in quanto considera principalmente valori medi annuali della temperatura dell'aria e della radiazione solare. Quest'ultima classificazione, che individua principalmente quattro climi fondamentali (vedi tabella 2.1) è usata come riferimento per criteri di progettazione bioclimatica di carattere generale, ma non considerata sufficiente a livello di progetto tecnologico di maggior dettaglio per l'edificio, per cui ci si riferisce alla classificazione di Koppen (vedi tabella 2.2).

Tabella 2.1 - Classificazione climatica secondo Olgay.

Immagine tratta dal libro "Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato", Mario Grosso, p. 35, 2017.

Clima	Radiazione solare globale annua s.l.m. [kcal/cm ²]	Temperatura media annuale [°C]	Precipitazioni annue [mm]	UR media annua	Tipologie edilizie e scelte insediative
Freddo	< 120	< +10	< 500	< 60%	forma compatta, ad es. igloo
Temperato	100-140	10-20	500-2000	60% circa	forme varie a seconda del contesto
Caldo - umido	120-160	20-30	1000-5000	> 60%	forma allungata lungo l'asse NO-SE con aperture per sfruttare ventilazione indotta dagli alisei
Caldo - secco	> 160	> 20, T _{max} > 30	< 100	< o uguale 40%	corte chiusa, alta inerzia termica, ombreggiamento e ridotte aperture

Tabella 2.2 - Classificazione climatica secondo Koppen.

Immagine tratta dal libro "Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato", Mario Grosso, p. 37, 2017.

Tipo principale (in funzione della T, in °C)		Tipo secondario (in funzione prevalente del regime pluviometrico)	
A	Climi umidi della zona intertropicale (ogni mese con $t > 18^\circ$)	Af	clima tropicale senza stagione secca (almeno 60mm di pioggia anche nel mese meno piovoso)
		Aw	clima tropicale con inverno secco (almeno un mese con totale pioggia inferiore a 60mm)
B	Climi aridi Bh, se t media annuale $> 18^\circ$ Bk, se t media annuale $< 18^\circ$ Bk', se anche t del mese più caldo $< 18^\circ$	BS	clima secco della steppa (più piovoso)
		BW	clima secco del deserto (meno piovoso)
C	Climi mesotermici umidi (t mese più freddo compresa tra -3° e $+18^\circ$) Ca, se t mese più caldo $> 22^\circ$ Cb, se t mese più caldo $< 22^\circ$ ma si hanno oltre quattro mesi con $t > 10^\circ$	Cf	clima temperato senza stagione secca
		Cs	clima temperato con estate secca (il mese meno piovoso cade nella stagione estiva e ha un tot. di precipitazioni $< 1/3$ di quello del mese invernale più piovoso e in ogni caso < 30 mm)
		Cw	clima temperato con inverno secco (il mese meno piovoso cade nella stagione invernale e riceve una quantità di precipitazioni $< 1/10$ di quella del mese più piovoso dell'estate)
D	Climi microtermici boreali (temperatura: in gennaio $< -3^\circ$, in luglio $> +10^\circ$ e da 1 a 4 mesi con $t > 10^\circ$) Da e Db come Ca e Cb Dc, se t mese più freddo $> -38^\circ$ Dd, se t mese più freddo $< -38^\circ$	Df	clima boreale senza stagione secca
		Dw	clima boreale con inverno secco
E	Climi polari (anche il mese più caldo con $t < +10^\circ$)	ET	clima freddo della tundra (t del mese più caldo compresa fra 0° e 10°)
		EF	clima freddo del gelo perenne (anche il mese più caldo ha $t < 0^\circ$)

2.3. Effetti delle caratteristiche geografiche sul microclima

Come sappiamo, il microclima è il clima che troviamo nell'immediato intorno costruito ed è anche l'unico che può essere influenzato e controllato per creare le condizioni di benessere termoigrometrico, interno ed esterno, dell'edificio.

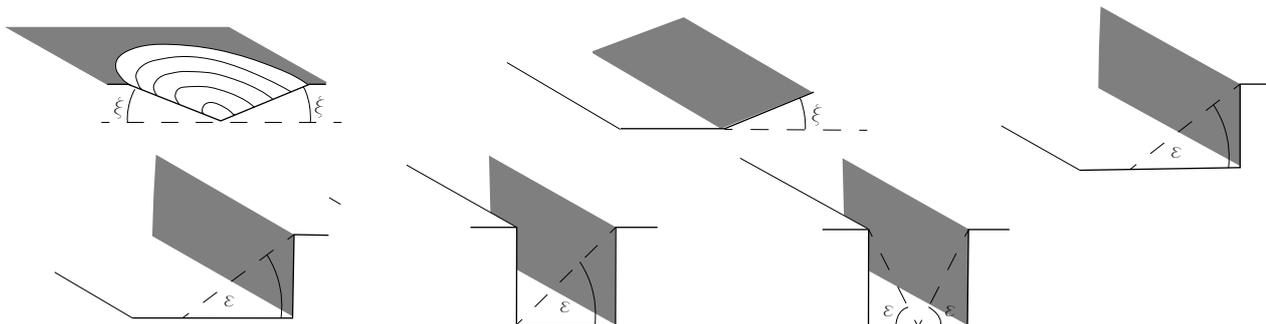
Poiché per un approccio bioclimatico alla progettazione l'aspetto più importante da sfruttare per il funzionamento dell'edificio è il microclima dell'area circostante l'edificio, una delle prime analisi che il progettista deve affrontare è quella delle caratteristiche geografiche del territorio in cui sorgerà l'architettura, e di come esse influenzino le condizioni climatiche dell'intorno del sito progettuale. È opportuno quindi andare ad analizzare le diverse variabili che si possono incontrare nei territori e l'influenza che esse hanno sul clima.

2.3.1 Effetti della corrugazione del territorio

Scambio radiativo

La corrugazione del territorio produce effetti sullo scambio radiativo sia nel campo delle onde corte (radiazione solare) sia in quello delle onde lunghe (infrarosso). Nel caso della radiazione solare, l'intensità varia con il variare della latitudine, dell'angolo di inclinazione delle superfici riceventi e del loro orientamento. L'intensità dello scambio radiativo all'infrarosso diminuisce invece con la corrugazione delle superfici esposte, poiché dipende dalla porzione di cielo vista da queste ultime: il decremento dipende anche in questo caso dalla loro inclinazione.

Immagine 2.6 - Tipi morfologici di superfici, il cui rapporto di radiazione viene determinato in base agli angoli α (di inclinazione) e θ (di vista). Immagine tratta dal libro "Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato", Mario Grosso, p. 58, 2017.



L'intensità dello scambio radiativo all'infrarosso è invece dipendente dalla porzione di cielo visibile dalla superficie, quindi diminuisce con l'aumentare della corrugazione, dipendendo dall'angolo di inclinazione delle superfici stesse.

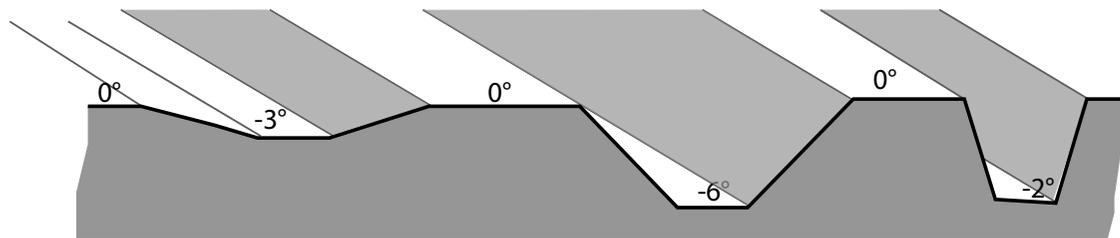
Temperatura dell'aria

Gli effetti sulla temperatura dell'aria sono influenzati in primis dall'altitudine e dalla conformazione delle alture. Se ci troviamo in una zona pianeggiante, in atmosfera libera e con aria stabile, il gradiente termico verticale medio decresce con la latitudine e varia lievemente con le stagioni. La linea di stabilità meteorologica è indicata dal *gradiente termico adiabatico*, che corrisponde alla diminuzione della temperatura di 1°C ogni 100 m, al di sotto del quale si hanno condizioni instabili dovute ai forti movimenti convettivi dell'aria. Se il gradiente termico è superiore alla linea isotermica (gradiente nullo) si ha inversione termica. Più vicini si è al terreno e più frequenti sono il *gradiente superadiabatico* (cioè al di sotto di quello adiabatico) e l'inversione termica.

Nelle valli montane l'inversione termica invernale si estende verticalmente per buona parte dell'altezza del canale, poiché i fenomeni di scambio radiativo provocano un moto discendente di aria più fredda verso il centro della valle, e un moto ascensionale di aria più calda lungo i pendii. L'aria fredda si deposita perciò nel fondo valle.

L'influenza della geometria di corrugazione del territorio sulla temperatura dell'aria è particolarmente evidente nelle ore notturne: la temperatura fredda dell'aria è dovuta fondamentalmente alle correnti fredde dei bassi strati; se la profondità dell'avvallamento aumenta, ma esso risulta avere una geometria più aperta, allora la temperatura si abbassa ulteriormente anche per la riduzione della turbolenza che riduce la mescolanza tra strati alti e bassi dell'atmosfera; se gli avvallamenti sono profondi e chiusi, la temperatura notturna si alza per effetto dell'apporto di calore dal suolo e delle minori dispersioni di calore per reirraggiamento.

Immagine 2.7 - Rappresentazione della temperatura minima notturna dell'aria invernale, per diversi tipi di depressione del terreno. Immagine tratta dal libro "Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato", Mario Grosso, p. 61, 2017.



Vento

La corrugazione del territorio produce un impatto a livello di venti locali, poiché ne modifica il flusso, la velocità e la direzione, contribuendo inoltre a formare venti a regime di brezza, detti venti di pendio e di valle.

I venti di pendio sono originati dallo scambio termico radiativo tra i versanti di montagna e l'aria che li lambisce, che genera differenze di temperatura tra masse d'aria a contatto con il pendio e masse più distanti. A causa di questo fenomeno, vi è la risalita dell'aria calda lungo i pendii durante il giorno e la discesa dell'aria fredda durante la notte.

I venti di valle sono invece causati dalle differenze di temperatura che si stabiliscono tra la pianura allo sbocco della valle, il fondo valle e la cresta montuosa. Generalmente sono più forti dei venti di pendio, e possono arrivare fino a una velocità di 5 m/s.

A causa della diversa entità di radiazione solare ricevuta, soprattutto nei periodi invernali, nelle valli orientate in senso meridiano prevalgono le brezze di valle, mentre quelle di pendio sono più forti nelle valli orientate in senso parallelo.

Come accennato in precedenza, i venti di pendio e di valle hanno un andamento ciclico, si associano e si alternano nel corso della giornata secondo un duplice sistema di circolazione, che prevede che vi siano venti ascendenti durante il giorno e discendenti nell'arco notturno. Tipicamente, nel corso di una giornata estiva, il ciclo inizia con i venti di pendio ascendenti, mentre vanno scemando, subito dopo l'alba, i venti di valle discendenti; nel corso della mattinata si hanno solo i primi, ma verso mezzogiorno iniziano a soffiare anche i venti ascendenti di valle che alimentano gli altri, e a loro volta vengono supportati da venti discendenti in quota, che causano la formazione di nuvole cumuliformi sui pendii. Nel tardo pomeriggio cessano quindi i venti di pendio ascendenti e, con il sopraggiungere della sera iniziano a soffiare venti di pendio discendenti che danno inizio a delle fasi analoghe a quelle del mattino, ma invertite.

Nelle valli orientate lungo l'asse N-S si possono generare anche dei venti di pendio trasversali (direzione E-O o viceversa a seconda del momento della giornata), causati dall'alternarsi delle fasi di soleggiamento e ombreggiamento dei due versanti.

La corrugazione del territorio ha effetti anche sul profilo della velocità del vento: quando il vento si avvicina a una collina o a un crinale, il profilo varia poiché risulta fortemente accelerato sulla superficie in cima alla collina, mentre sul lato sottovento si crea un vortice con conseguente inversione del flusso, che provoca anche l'aumento delle precipitazioni su tale versante. L'accelerazione del flusso nella parte sopravvento delle colline è abbastanza prevedibile di solito, a differenza della profondità di scia (zona di calma) della parte sottovento, che dipende fortemente dalla rugosità del terreno e dalla stabilità dell'atmosfera.

Immagine 2.8 - Venti di valle e di pendio.

Immagine tratta dal libro "Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato", Mario Grosso, p. 62, 2017.

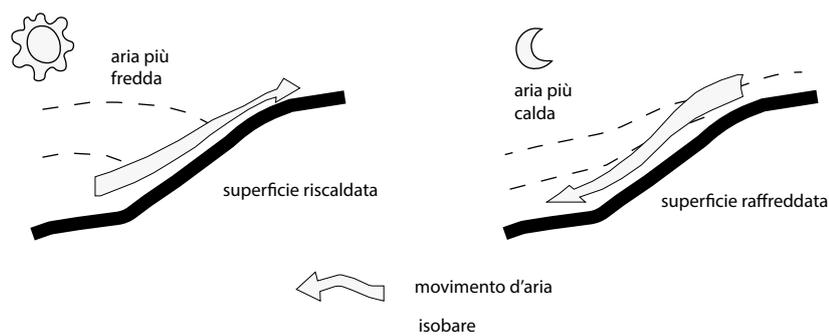
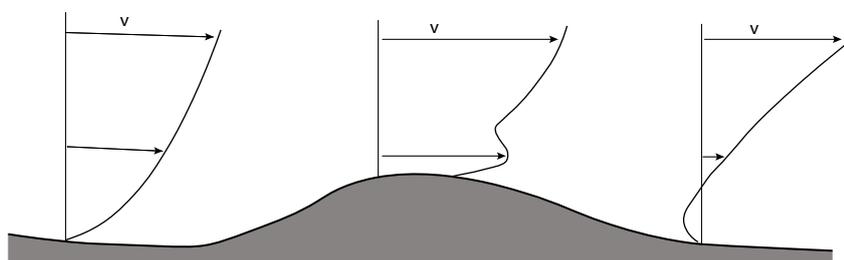


Immagine 2.9 - Modificazione del profilo della velocità del vento in relazione alla vicinanza ad un rilievo.

Immagine tratta dal libro "Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato", Mario Grosso, p. 63, 2017.



Precipitazioni

Gli effetti dei rilievi sulle precipitazioni atmosferiche sono legati principalmente alla loro altezza: i rilievi montuosi di altezza medio bassa sono caratterizzati da un aumento delle precipitazioni nel versante sottovento, causate dall'inversione del flusso; sui rilievi ad altezza più elevata invece vi sono maggiori possibilità di precipitazioni sui versanti sopravvento, poiché l'aria, salendo lungo il versante, si raffredda aumentando il suo contenuto di umidità, fino a raggiungere il punto di saturazione. Scendendo lungo il versante sottovento di un rilievo ad altezza elevata, abbiamo al contrario un riscaldamento dell'aria causato dalla compressione adiabatica, per cui essa diminuisce il suo contenuto di umidità e produce un microclima più mite.

2.3.2 Effetti della presenza di masse d'acqua

Temperatura e umidità

L'acqua e il terreno possiedono differenti proprietà termiche, per questo la presenza di masse d'acqua in un'area provoca effetti diversi rispetto a dove non ve ne è: l'acqua infatti ha capacità termica superiore al terreno, quindi se irraggiata tende a riscaldarsi più lentamente di questo, rilasciando più lentamente il calore accumulato. Questo porta a due tipi di fenomeni

- L'attenuazione delle escursioni termiche dell'aria che sovrasta la massa d'acqua;
- Lo sfalsamento temporale delle dinamiche di scambio termico tra acqua e atmosfera e tra terreno e atmosfera, inducendo moti convettivi verticali e spostamenti orizzontali delle masse d'aria per effetto delle differenze di temperatura, quindi anche di densità e pressione.

Se vi sono masse d'acqua in una zona a clima temperato umido, non si riscontra necessariamente un aumento dell'umidità relativa dell'aria, come capiterebbe invece introducendo una massa d'acqua in una zona dal clima arido; al contrario, per effetto dell'accentuazione dei moti convettivi, in tali fasce climatiche l'umidità può

talvolta, in alcuni periodi e luoghi, diminuire.

L'acqua inoltre produce l'effetto di raffreddamento grazie all'evaporazione dell'acqua lambita dalle masse d'aria calda.

Vento

La presenza di bacini d'acqua produce il formarsi di venti locali tipici originati dai gradienti termici: le brezze costiere, che possono essere sia di mare che di lago, nascono dalla variazione ciclica giornaliera di pressione atmosferica determinata dalle differenze di temperatura e di densità dell'aria.

Le brezze costiere sono originate dalla differenza di capacità termica tra il bacino d'acqua ed il terreno. Tali brezze cominciano ad elevarsi intorno a mezzogiorno, momento in cui la terra si riscalda e iniziano ad aumentare la differenza di pressione. Durante la notte il differenziale di pressione si inverte e decresce quando la temperatura del terreno diminuisce più rapidamente di quella dell'acqua, causando il decremento della velocità del vento e l'inversione del flusso.

Tendenzialmente la velocità della brezza costiera può variare molto a seconda della posizione e del momento della giornata: la brezza marina può arrivare fino a un massimo di 10 m/s, mentre di notte e spostandosi verso l'interno la velocità è più vicina ai 2 m/s.

2.3.3 Effetti della vegetazione

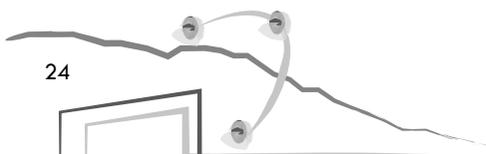
In generale, la vegetazione possiede proprietà termofisiche che si differenziano moltissimo da quelle del terreno, per questo possono influenzare e indurre forti variazioni a livello microclimatico.

Le principali proprietà di cui si può beneficiare in presenza di vegetazione sono:

- Capacità e conduttanza termica minori di quelle delle superfici non vegetate;
- Radiazione solare assorbita principalmente dalle foglie, il che riduce fortemente la componente riflessa (albedo);
- Capacità di filtrare la radiazione solare diretta grazie alla copertura delle foglie;
- Tasso di evaporazione elevato dell'acqua piovana che, assorbita dal suolo, raggiunge le foglie;
- Capacità di filtraggio della polvere e di altri inquinanti presenti nell'aria;
- Capacità di assorbimento dell'energia cinetica del vento, con modificazione dei campi di velocità e pressione.

Scambi termici e umidità

Le foglie delle piante, come accennato precedentemente, assorbono gran parte della radiazione solare ricevuta, trasformandone però solo una piccola parte (1-2%) in energia chimica. Questo meccanismo perciò incide in minima parte sugli scambi termici terreno-atmosfera, al contrario invece di quello evapo-traspirativo: esso avviene tramite le foglie, e provoca un raffreddamento delle foglie e dell'aria che viene a contatto con esse e un aumento dell'umidità dell'aria. In questo modo, la ridotta temperatura delle foglie riesce a ridurre la temperatura media radiante dell'ambiente.



Gli effetti della vegetazione sul microclima del sito sono quindi fundamentalmente il raffreddamento e l'umidificazione, pertanto sono massimamente importanti in ambiente urbano in estate, come vedremo in seguito.

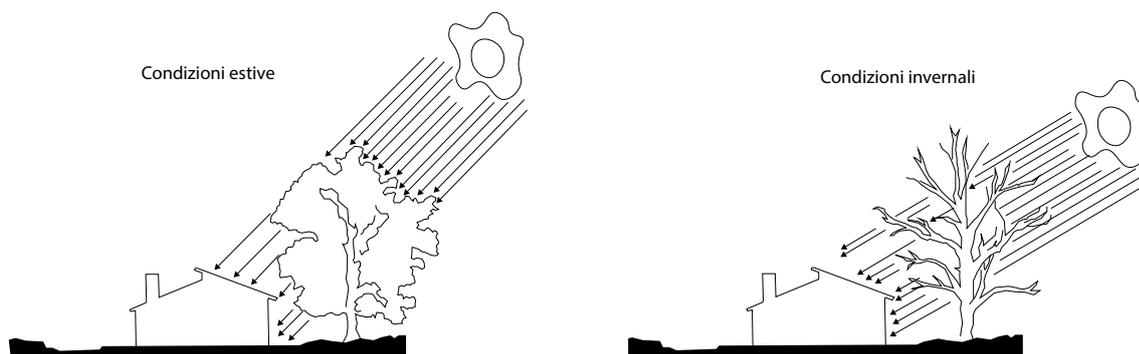
Radiazione solare

La vegetazione ha anche l'effetto di filtraggio della radiazione solare, e questo è vero soprattutto negli alberi ad alto fusto, ma è una proprietà che varia con le stagioni in relazione alla densità del fogliame della chioma.

Il grado di copertura del fogliame varia inoltre in funzione della specie arborea, del tasso di crescita della pianta, della forma e della dimensione della chioma, nonché del periodo di caduta e ricrescita delle foglie. Solitamente le specie arboree sono divise tra *sempreverdi* e *caduciformi*, classificazione che può tornare utile per una prima fondamentale selezione delle piante da usare in un progetto di spazio esterno. Infatti, bisogna valutare quali piante svolgono una funzione di ombreggiamento durante tutto l'anno e quali, svolgendo questa funzione solo d'estate, hanno il compito di trasmettere la maggior parte della radiazione solare nel periodo invernale.

Ovviamente, bisogna anche considerare le caratteristiche geografiche del sito in cui si va a progettare, in quanto grandezze come la latitudine influenzano ad esempio l'altezza solare, e di conseguenza l'estensione della zona d'ombra di qualsiasi specie arborea.

Immagine 2.10 - Differenziazione del controllo dell'irraggiamento solare in estate e inverno nel caso di una pianta decidua. Immagine tratta dal libro "Il raffreddamento passivo degli edifici in zone a clima temperato", Mario Grosso, p. 67, 2017.



Vento

La vegetazione, diversamente dalle ostruzioni solide, si dimostra efficace nell'assorbire l'energia del vento ma non nel deviarne il flusso. Le siepi, i cespugli e le file di alberi sono in grado di causare un'alterazione del profilo di velocità del vento in atmosfera libera, e questo accade in funzione della loro forma, altezza e porosità.

Se si vuole valutare l'effetto della vegetazione sulla velocità del vento, bisogna considerare la tipologia di ostruzione di cui si sta parlando, e principalmente ne esistono due tipi: un insieme di alberi ad alto, medio e basso fusto, e la barriera vegetale compatta, solitamente piantumata.

Parlando di un insieme non strutturato di alberi, di solito si intende una foresta, che avendo struttura irregolare avrà alcuni punti di maggior densità, solitamente al centro di massa del fogliame, in cui la riduzione della velocità del vento è massima a circa $\frac{3}{4}$ dell'altezza media degli alberi, mentre decresce, in assenza di sottobosco, tra i tronchi. Parlando di un insieme non strutturato di alberi, di solito si intende una foresta, che avendo struttura irregolare avrà alcuni punti di maggior densità, solitamente al centro di massa del fogliame, in cui

la riduzione della velocità del vento è massima a circa $\frac{3}{4}$ dell'altezza media degli alberi, mentre decresce, in assenza di sottobosco, tra i tronchi. La riduzione della velocità del vento all'interno di una foresta dipende da molti fattori, come il tipo di alberi e la loro reciproca distanza, la forma e l'altezza da terra delle chiome e il grado di copertura del fogliame.

La riduzione della velocità del vento prodotta invece da una barriera vegetale piantumata dipende dalla forma, dall'altezza e dalla porosità della barriera stessa. L'esempio più comune di questa tipologia di ostruzione è quello della siepe.

In generale, il filare di alberi senza foglie è quello che riduce in misura minore la velocità del vento. La barriera più densa riduce drasticamente la velocità del vento immediatamente dopo l'ostacolo, però il suo effetto si fa sentire meno all'aumentare della distanza. Con l'aumento della porosità della barriera (circa 40-50%) la riduzione della velocità riesce a persistere anche man mano che ci si allontana dall'ostacolo. La zona di calma che si viene a creare, ovvero l'area in cui la velocità del vento diminuisce per effetto dell'ostacolo, oltre un certo limite non varia la sua profondità con il variare della lunghezza del filare, mantenendosi proporzionale all'altezza.

La vegetazione ha dunque due effetti opposti: da un lato l'aumento della temperatura, quando costituisce una barriera ai venti più freddi; dall'altro, il raffreddamento quando ostacola i venti più caldi o devia il flusso di quelli freddi verso zone in cui l'aria è più calda. Questi effetti possono essere positivi o negativi per il benessere igrotermico, a seconda del periodo in cui avvengono e della loro concomitanza con altri effetti microclimatici, oltre che in relazione alla latitudine.

Immagine 2.10 - Confronti della variazione del controllo dell'irraggiamento solare nel caso di un sempreverde e di un caducifoglie.

Immagine tratta dal libro "Progettazione bioclimatica di sito", Salvatore de Pascalis, pp. 84-85, 2005.

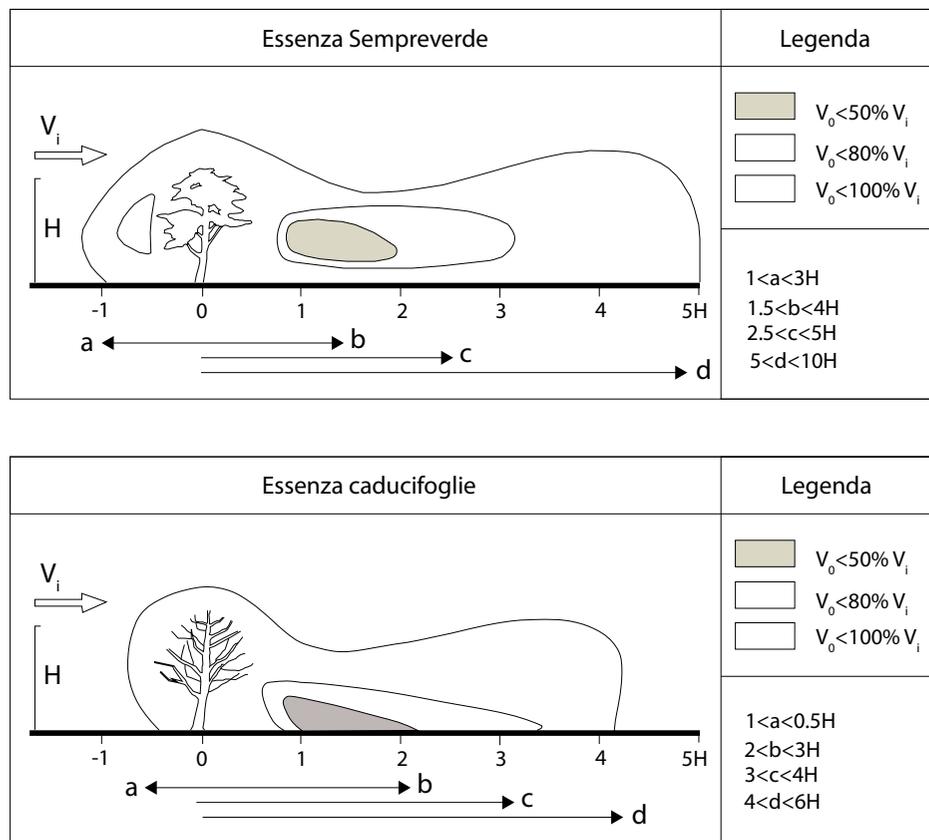


Immagine 2.11 - Rappresentazione dell'interazione tra un albero e il flusso d'aria.

Immagine tratta dal libro "Progettazione bioclimatica di sito", Salvatore de Pascalis, p. 82, 2005.

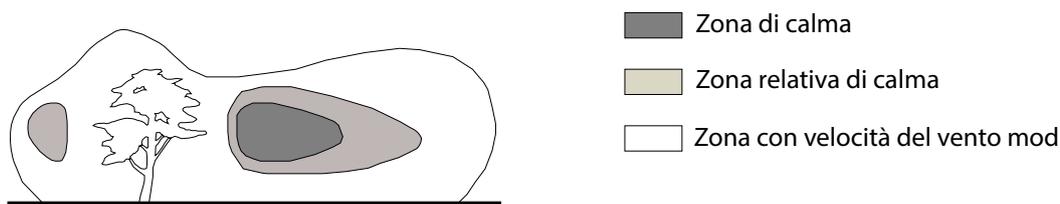
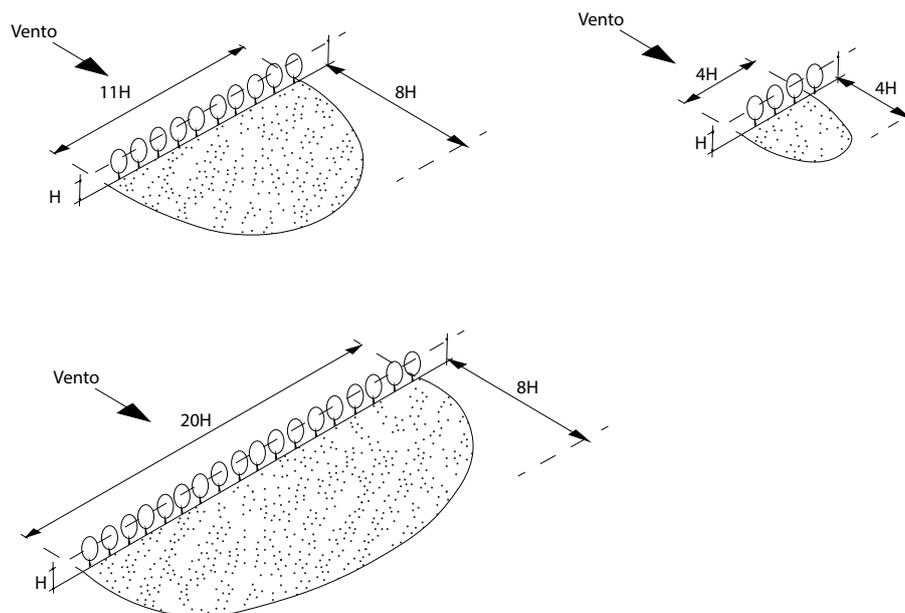


Immagine 2.12 - Estensione della zona di calma (velocità ridotta del 50%) nella zona sottovento di un filare di alberi.

Immagine tratta dal libro "Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato", Mario Grosso, p. 71, 2017.



2.3.4 Effetti dell'ambiente costruito

Per valutare gli effetti dell'ambiente costruito la prima distinzione da fare è quella tra i piccoli agglomerati e le aree urbane: i primi non hanno significative influenze sul bilancio termico dell'area più vasta che li comprende, quindi sul clima locale, ma hanno effetti sul microclima del sito; i secondi invece hanno effetti sul clima locale definito come clima urbano.

2.3.4.1 Edifici isolati e agglomerati edilizi

Scambi radiativi

Gli effetti di edifici isolati e agglomerati edilizi sul bilancio termico terreno-atmosfera dipendono dai seguenti fattori:

- Modificazione dello scambio radiativo preesistente alla costruzione;
- Modificazione dello scambio di calore latente prodotto per evapo-traspirazione dal terreno;
- Modificazione del regime di flusso dei venti.

Lo scambio radiativo tra superfici costruite ed atmosfera avviene principalmente per effetto dei coefficienti di assorbimento e riflessione delle superfici, dipendenti dal colore e dal materiale di cui sono composte, oltreché

dal loro grado di ombreggiamento (in particolare per le onde corte) che è dovuto alla forma, all'orientamento e alla collocazione reciproca degli edifici. Oltretutto, ha un'influenza sullo scambio termico anche il fattore di vista delle superfici (onde lunghe) che invece è frutto della geometria e della posizione reciproca.

Generalmente, le superfici costruite assorbono meno radiazione solare ma emettono maggiormente nel campo dell'infrarosso.

Temperatura e umidità dell'aria

Per effetto dei fenomeni precedentemente descritti, la temperatura dell'aria negli ambienti costruiti è leggermente superiore rispetto a quella delle aree non edificate, mentre l'umidità relativa risulta inferiore. Questo fenomeno si verifica ovviamente in condizioni in cui sia presente un agglomerato edilizio di una certa entità. Il singolo edificio può in ogni caso avere qualche effetto sul microclima attraverso la temperatura radiante delle sue superfici, che influenza il comfort.

Vento

Un edificio isolato posto lungo un flusso d'aria ne riduce la velocità e ne modifica la direzione: esso agisce sul campo di pressione atmosferica nell'intorno dell'edificio attraverso la trasformazione dell'energia cinetica del flusso in energia potenziale. In pratica si ha una pressione più alta di quella atmosferica ambientale nella zona sopravvento, e una più bassa nella zona sottovento.

La porzione di flusso di vento che viene modificata dall'edificio viene chiamata scia: essa si concentra prevalentemente a valle dell'ostacolo, dove avviene la depressione. Vi è anche un cambiamento subito nella parte sopravvento dell'ostacolo da un volume minore d'aria, in cui si ha sovrappressione. Il movimento d'aria all'esterno della scia è simile a quello in flusso libero, mentre all'interno si hanno le condizioni di calma. Il confine tra flusso libero e scia, che viene chiamato *bolla di separazione*, presenta invece una forma di turbolenza, che deriva dal trasferimento di moto che avviene tra scia e flusso libero.

Quando vi sono più edifici raggruppati invece, la modificazione del flusso d'aria che li attraversa dipende dalla reciproca collocazione e dall'altezza relativa, nonché dalla densità con cui si presentano sul territorio. In caso di edifici di altezza simile e disposti in modo regolare, si possono verificare tre tipi di regime di flusso in funzione della loro densità planimetrica:

- *Regime di flusso da ostacolo isolato*, che si verifica se siamo in presenza di edifici così distanti tra loro da produrre l'effetto di un edificio isolato, per cui scia e bolla di separazione si sviluppano completamente attorno a ogni edificio
- *Regime di flusso a scie interferenti*, nel quale la distanza tra edifici non è sufficiente a permettere alla bolla di separazione di ognuno di essi di svilupparsi completamente, condizione che causa un aumento delle zone di turbolenza dovuto all'interferenza tra le diverse scie;
- *Regime di flusso pseudolaminare*, condizione in cui gli edifici sono così ravvicinati tra loro da creare vortici d'aria stabili negli spazi interstiziali ortogonali alla direzione del vento ed un flusso quasi del tutto laminare al di sopra dei tetti.

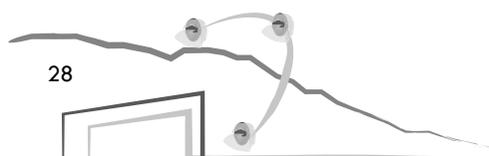


Immagine 2.13 - Esempi, in pianta e sezione, di modificazione del flusso d'aria che ha come ostacolo un edificio isolato. Immagine tratta dal libro "Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato", Mario Grosso, p. 75, 2017.

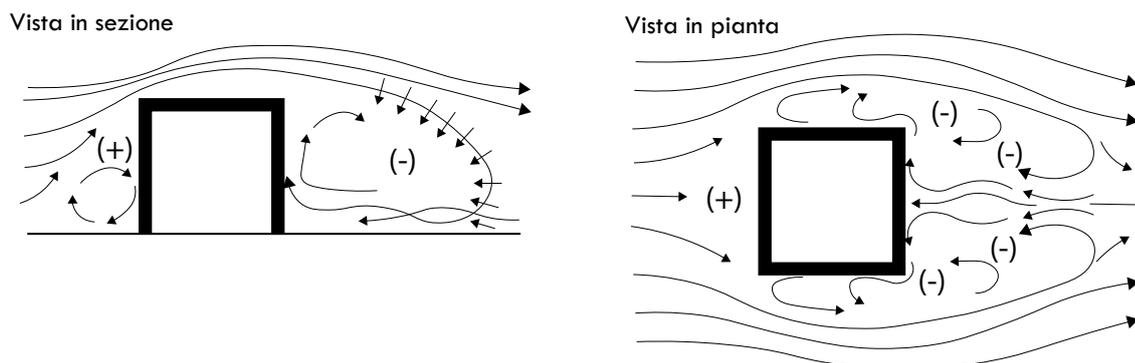
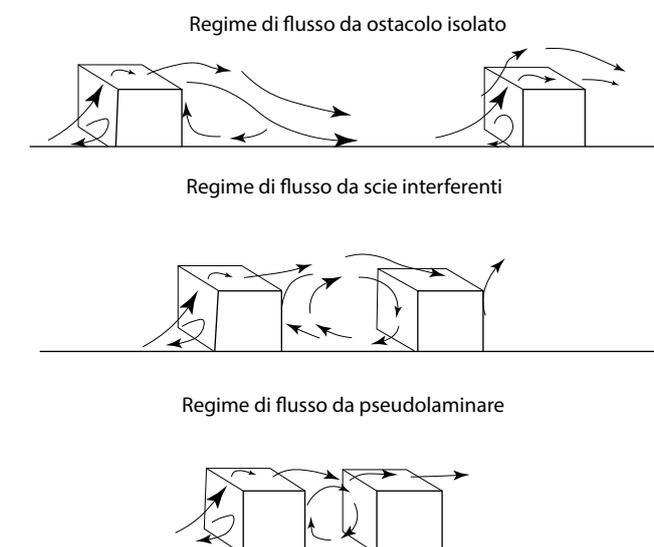


Immagine 2.14 - Rappresentazione delle diversità nei regimi di flusso d'aria prodotti da edifici a distanze diverse. Immagine rielaborata dal libro "Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato", Mario Grosso, p. 76, 2017.



2.3.4.2 Aree urbane

Il clima urbano nasce nelle grandi aree urbane e si differenzia in relazione a due strati d'aria: la "chioma" d'aria urbana, a scala microclimatica, e la "cupola" d'aria urbana, a scala topoclimatica.

La *chioma d'aria urbana* è formata dal volume d'aria compreso tra le strutture edilizie della città fino all'altezza dei tetti, mentre la *cupola d'aria urbana* comprende il volume d'aria sovrastante la città, le cui condizioni termofisiche sono influenzate dalla struttura urbana nel suo complesso. La *cupola d'aria urbana* corrisponde allo strato limite urbano, relativo all'influenza della crosta urbana sui flussi d'aria.

Nella *chioma urbana* avvengono scambi termici dovuti all'assorbimento graduale delle radiazioni solari, che avviene in relazione alle caratteristiche dei materiali, delle superfici e delle geometrie degli edifici. Il confine superiore della *chioma urbana* varia con il variare dell'altezza degli stessi, ma può anche essere influenzato dalla velocità del vento. L'influenza della *chioma urbana* di calore sul comfort termico e sull'uso energetico dell'edificio è molto importante.

La *cupola d'aria*, strato d'aria superiore, ha delle proprietà termofisiche più omogenee rispetto a quelle della *chioma urbana*, ed è interessata dal fenomeno tipico delle grandi aree metropolitane, chiamato *isola urbana di calore*.

Scambi radiativi

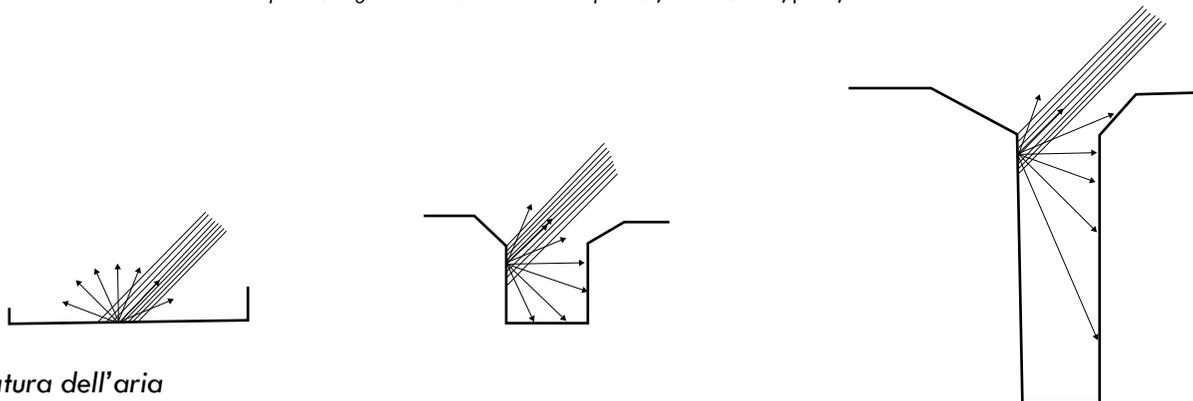
In aree urbane densamente edificate la dinamica di assorbimento e riflessione della radiazione solare è molto complessa e dipende da fattori come: la dimensione degli edifici, la geometria delle sezioni stradali e il trattamento delle superfici. In alcuni centri particolarmente inquinati può succedere che una parte della radiazione incidente venga assorbita o riflessa verso l'esterno dallo strato d'aria interno alla cupola stessa, causando un decremento della radiazione solare che raggiunge la superficie del costruito.

Solamente una piccola parte della radiazione che colpisce le pareti degli edifici in città densamente costruite viene riflessa verso il cielo, mentre la maggior parte viene riassorbita dalle pareti stesse, che la rilasciano nelle ore notturne sotto forma di radiazione nel campo dell'infrarosso. Questo fenomeno però è meno consistente di quanto si pensi, poiché dipende dalla porzione di cielo vista dalla superficie, che nel caso di edifici urbani è una quantità veramente ridotta a causa delle numerose ostruzioni dell'intorno. Per questo motivo la maggior parte della radiazione solare assorbita si trasforma in calore sensibile³, dando luogo a un aumento della temperatura dell'aria più consistente di quanto avviene in un terreno aperto e vegetato in cui, grazie al processo di evapo-traspirazione delle foglie, una gran parte della radiazione solare assorbita viene riconvertita in calore latente³.

Questo meccanismo di riduzione, vicino al suolo, delle perdite radiative nello spettro dell'infrarosso, è uno dei fattori determinanti nella formazione del fenomeno dell'*isola urbana di calore*.

Immagine 2.15 - Rappresentazione degli angoli di irraggiamento reciproci tra edifici di un'area urbana.

Immagine tratta dal libro "Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato", Mario Grosso, p. 78, 2017.



Temperatura dell'aria

Il fenomeno dell'isola di calore urbana varia in funzione di specifici fattori locali. Esso è un aumento sensibile di temperatura in zone densamente costruite, con differenze tra queste e le zone circostanti non edificate generalmente tra i 5 e i 10 °C.

I fattori, indipendenti tra loro, responsabili di questo fenomeno sono:

- La differenza nello *scambio radiativo globale netto* tra città e campagna aperta, in particolare il ridotto tasso di raffrescamento radiativo durante la notte;
- L'accumulo diurno dell'energia solare nella massa edilizia e il suo rilascio nelle ore notturne;
- La concentrazione delle sorgenti di generazione di calore nelle aree urbane, in rapporto alle molteplici attività svolte in modo continuativo nell'arco dell'intero anno (industria, trasporti ecc.);
- La minore evaporazione dal suolo delle aree urbane;
- L'apporto di calore netto all'atmosfera urbana da sorgenti stagionali, come ad esempio gli impianti di riscaldamento invernali e di condizionamento estivi.

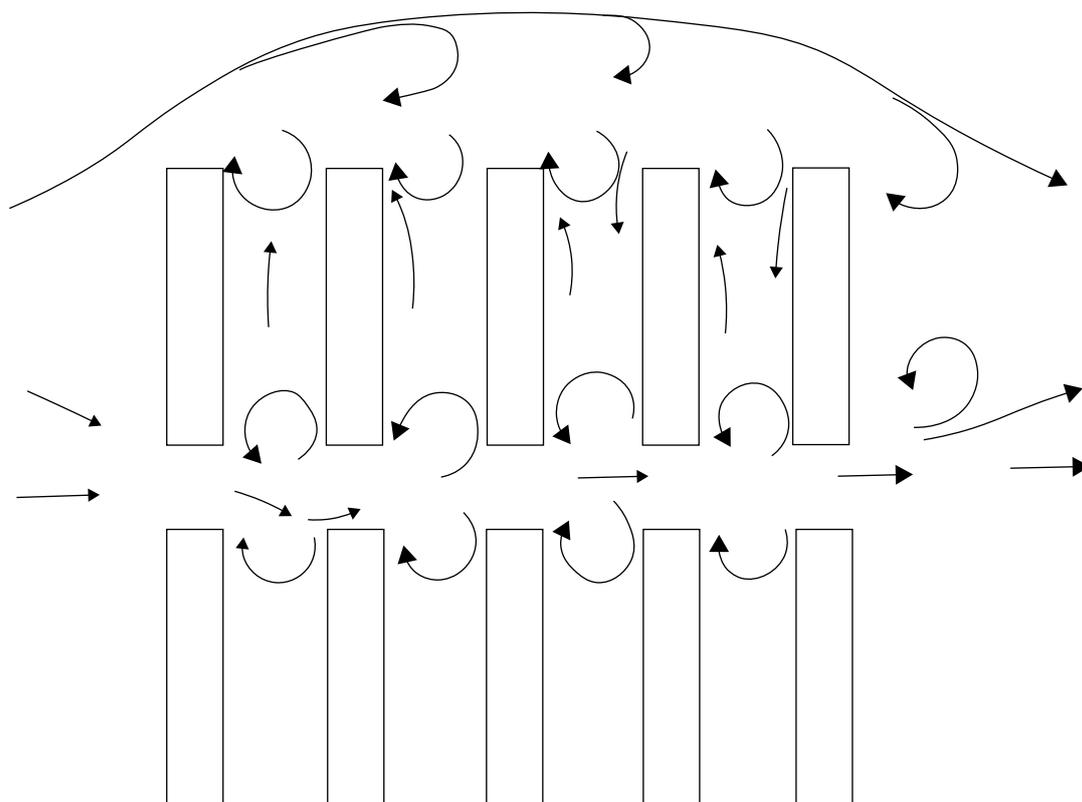
Velocità del vento

La velocità del vento tra gli edifici di una città varia considerevolmente in relazione al rapporto tra la direzione del vento e l'allineamento delle vie. Considerando un tracciato urbano di tipo ortogonale a maglia aperta, in cui gli edifici si presentano in linea, con direzione del vento parallela a uno dei due assi, si trovano due diversi modelli di comportamento dei flussi d'aria: nelle vie parallele alla direzione del vento, la riduzione della velocità del vento dovuta all'attrito con le pareti della via è minima, e anzi si riscontra un aumento della velocità negli spazi tra le testate degli edifici, quando la via è perpendicolare all'allineamento degli edifici stessi; le vie perpendicolari alla direzione del vento sono invece caratterizzate da una notevole riduzione della velocità del flusso dovuta all'effetto barriera delle costruzioni.

Invece, se la direzione del vento è diagonale a quella della maglia urbana, si verificano condizioni molto diverse sui due lati della via: sul marciapiede sottovento si percepirà una velocità molto maggiore che su quello sopravvento a causa dell'incanalamento del flusso e della sua accelerazione agli angoli delle vie.

L'effetto della riduzione della velocità del vento negli spazi interstiziali urbani sul benessere termico dei cittadini si unisce agli effetti prodotti dall'isola di calore, diminuendo la potenzialità del vento di raffreddare gli spazi urbani e gli edifici.

Immagine 2.16 - Deviazione dei flussi d'aria in relazione alla disposizione degli edifici nell'area urbana e della direzione del vento. Immagine rielaborata dal libro "Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato", Mario Grosso, p. 82, 2017.



2.4. Progettazione climatica di sito

La progettazione climatica di sito è l'operazione preliminare al progetto degli edifici in architettura bioclimatica, e comprende molteplici analisi dei diversi aspetti microclimatici e di conformazione geografica del sito di progetto e delle possibili interazioni con l'edificio. Esse vengono studiate principalmente in relazione alla necessità di controllo dell'influenza del microclima su comfort e benessere dei futuri utenti e alla possibilità di sfruttamento dei fattori microclimatici come risorse energetiche.

- I principali obiettivi che si pone la progettazione bioclimatica comprendono:
- Integrazione tra le esigenze di comfort e i requisiti ambientali;
- Sfruttamento dell'irraggiamento solare e della ventilazione grazie all'orientamento dell'edificio;
- Studio della forma e della geometria dell'edificio finalizzato all'ottimizzazione dei consumi energetici e allo sfruttamento dei fattori ambientali;
- Progetto degli spazi esterni per una ottimale interazione tra questi e l'interno;
- Protezione da un eccessivo irraggiamento solare;
- Controllo dell'umidità relativa e della qualità dell'aria.

Gli elementi fondamentali da considerare nel progetto bioclimatico di sito per soddisfare i requisiti sopra elencati sono riassumibili dalla tabella 2.3.

Tabella 2.3 - Sintesi delle principali scelte progettuali e i livelli da considerare nella pianificazione del progetto di architettura in un'ottica bioclimatica.

Immagine tratta dal libro "Progettazione bioclimatica di sito", Salvatore de Pascalis, 2005.

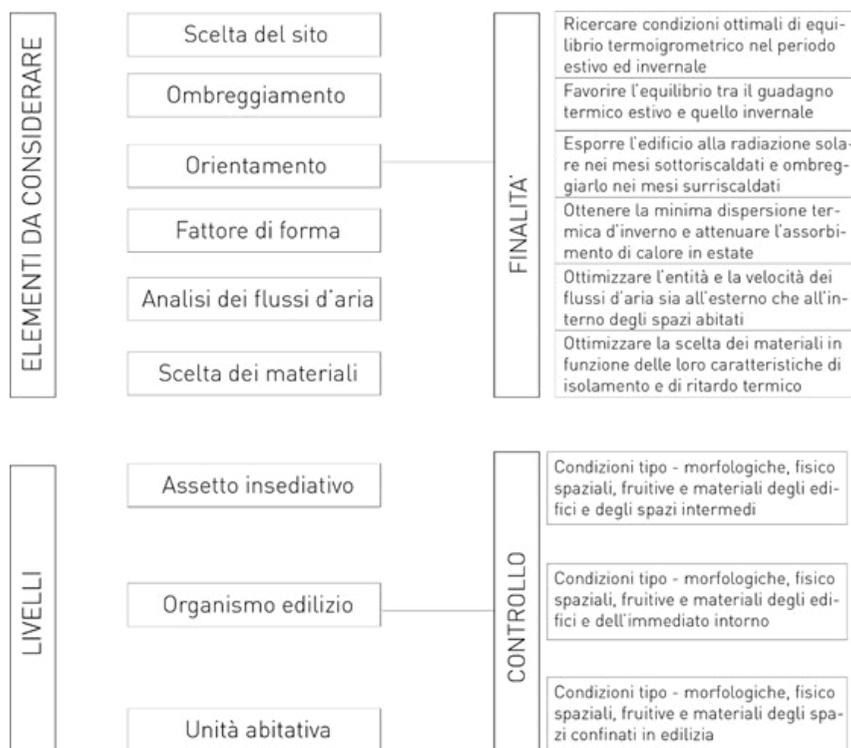


Tabella 2.4 - I principali elementi caratterizzanti il sito e fattori da analizzare per individuare l'influenza e il tipo di interazione che questi ultimi possono avere sul progetto.

Immagine tratta dal libro "Progettazione bioclimatica di sito", Salvatore de Pascalis, 2005.

ELEMENTO	FATTORI DA ANALIZZARE
1.Roccia	Tipo, colore, conduttività termica
2.Suolo	Tipo, colore, strutture chimico-fisica, contenuto di aria e acqua, conduttività termica
3.Acqua	Superficie [area] dell'acqua, profondità
4.Vegetazione	Tipo, altezza, densità, colore, caducità stagionale
5.Aree rurali	Tipo, altezza, colore, intensività
6.Industria e città	Materiali [cemento, legno,acciaio ecc.], colore, conducibilità termica, sorgenti di calore, umidità, inquinamento ecc...
<u>Caratteristiche</u>	
1.Morfologia	Piatta, convessa, concava
2.Energia	Latitudine e altitudine, grado di copertura dell'orizzonte naturale
3.Esposizione	Schermatura dovuta a strutture macro o micro orografiche, alberi, edifici ecc...
4.Rilievi topografici	Aree naturali, estensioni di boschi, erba, zone arabili, presenza di frangivento, grado di agglomerazione per gli edifici, aree urbane, distribuzione di zone costruite, orientazione delle strade, densità dei parcheggi, giardini e spazi aperti, profili verticali presenti nell'area
5.Albedo	Tipo di superficie, riflessione ottica
6.Capacità radiante	Temperatura superficiale osservata dalla radiazione terrestre

2.4.1 Criteri generali per il controllo dei fattori climatici

Controllo della radiazione solare

La localizzazione, la forma generale e l'orientamento degli edifici e degli altri elementi, in particolare quelli vegetali, che caratterizzano un intervento progettuale devono rispondere alla necessità di ridurre l'esposizione eccessiva alla radiazione solare estiva degli spazi, sia interni che esterni, valorizzando gli apporti solari invernali. Per fare questo deve essere condotto uno studio analitico sulle ipotesi progettuali, sia a livello localizzativo che planivolumetrico, in rapporto al contesto ambientale e alle variabili solari locali.

Come ben sappiamo, l'effettiva intensità radiativa di un sito dipende da una serie di variabili dipendenti da due livelli morfologici: la configurazione geometrica del contesto a scala territoriale (valida soprattutto per le zone montane) e la configurazione geometrica dei singoli ostacoli circostanti il sito a scala locale (vero per i contesti urbani o a più piccola scala).

Controllo dei flussi d'aria

L'esposizione ai venti dominanti estivi è il parametro fondamentale per la valutazione delle possibilità di raffrescamento di un sito e di un edificio. Per individuare la direzione principale del vento bisogna entrare in possesso dei dati relativi alla ventosità della stazione meteorologica più vicina al sito.

Quando ci si occupa del problema del raffrescamento, i venti più adatti a tale scopo, e che devono essere sfruttati, sono quelli a regime di brezza di origine termica, poiché hanno un andamento ciclico e un fondamentale effetto di abbassamento della temperatura.

È importante prima di tutto la posizione del sito per comprendere come sfruttare al meglio la ventilazione: in un sito collinare o montano ad esempio è preferibile scegliere un versante sopravento a uno sottovento, e solitamente la posizione più esposta ai venti è quella di cresta. Se poi si orienta l'edificio secondo la direzione delle curve di livello questo tipo di localizzazione diventa ancora più efficace. Nei siti a mezza costa o a fondovalle invece bisogna usare particolari precauzioni per evitare di esporsi troppo ai venti freddi invernali

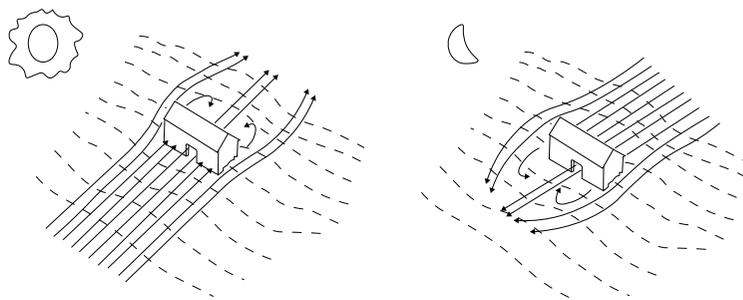
(spesso infatti il fondovalle beneficia principalmente delle brezze di versante serali discendenti) o addirittura di non beneficiare affatto di ventilazione, ostacolata a volte da un'eccessiva chiusura del fondovalle ad opera delle catene montuose che lo circondano.

Nello sfruttamento dei flussi di ventilazione è importante fare attenzione anche all'umidità relativa dell'aria: così per esempio, progettando in una località costiera, bisogna fare attenzione a localizzare l'edificio in modo da beneficiare al massimo dell'effetto dei venti per ridurre quello dell'umidità, cosa che succede in particolare quando l'edificio è collocato con l'asse longitudinale parallelo al litorale.

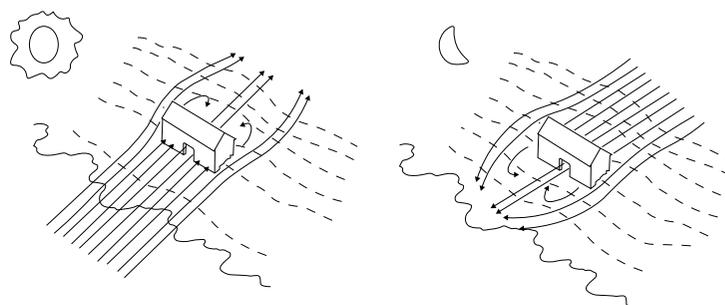
Nei siti urbani, densamente edificati, si aggiunge il problema del trasporto di sostanze inquinanti operato dai venti dominanti: soprattutto nella stagione estiva, nei grandi centri abitati si aggiunge all'inquinamento chimico dell'aria quello fotochimico, in quanto viene prodotta una quantità maggiore di ozono negli strati bassi dell'atmosfera a causa dell'effetto dell'irraggiamento solare e dell'inversione termica prodotta nella chioma urbana. La localizzazione ottimale degli edifici in questi casi è quella che espone l'edificio ai venti dominanti estivi proteggendolo da quelli invernali.

Immagine 2.17 - Disposizione ottimale degli edifici per il controllo dei flussi d'aria a seconda del sito di progetto.
Immagini tratte dal libro "Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato", Mario Grosso, pp. 168-170, 2017.

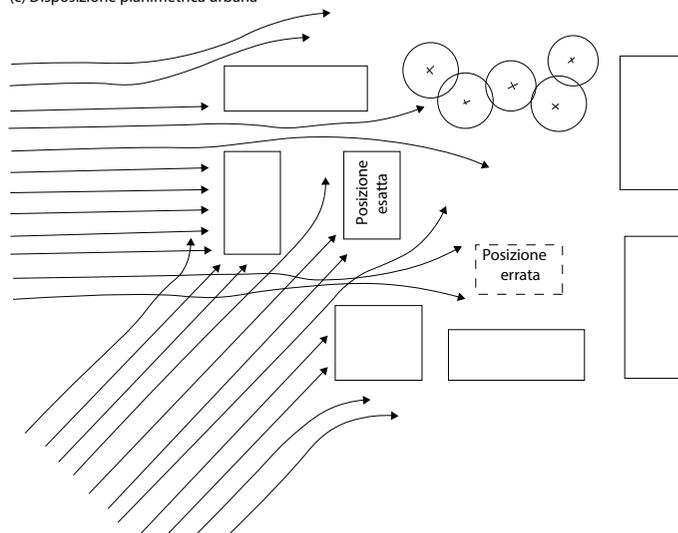
(a) Disposizione planimetrica sito collinare



(b) Disposizione planimetrica sito costiero



(c) Disposizione planimetrica urbana

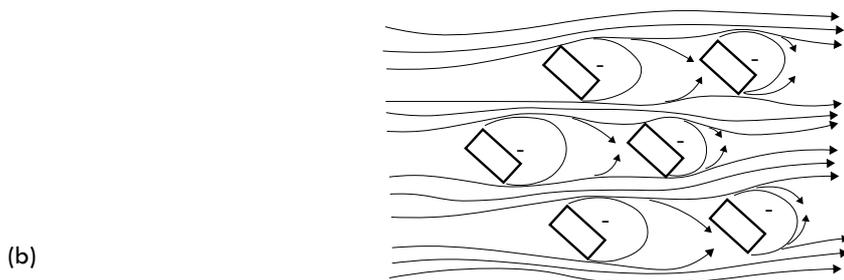
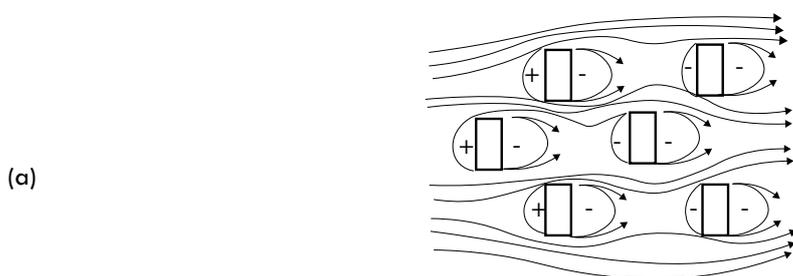
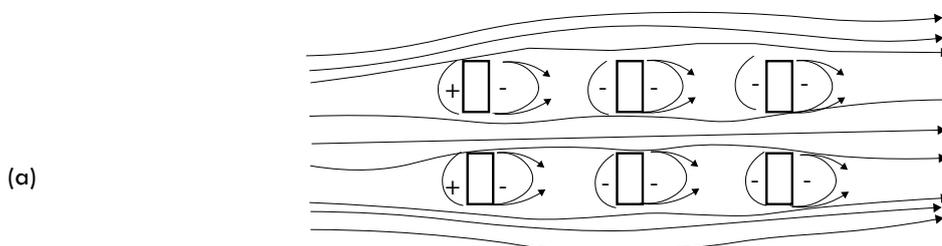


Distribuzione planimetrica degli edifici

Per un insieme di edifici, la distribuzione deve essere tale da evitare i regimi di flusso a scie interferenti (quando gli edifici sono vicini al punto che le reciproche scie interferiscono aumentando la turbolenza) o *pseudolaminar* (gli edifici sono così ravvicinati da creare vortici stabili negli spazi non percorsi dal flusso e un regime laminare al di sopra delle loro quote massime). Per evitare questi inconvenienti bisogna calcolare una distanza considerevole tra gli edifici: per evitare eccessive penalizzazioni dal punto di vista del volume costruibile spesso si sceglie di collocare gli edifici a scacchiera o in diagonale rispetto alla direzione del vento. Quando la densità d'edificazione richiesta è troppo elevata per costruire edifici troppo distanti, bisogna accentuarne lo sviluppo in verticale, diversificando le altezze. Per evitare, infine, l'accelerazione del flusso di vento per effetto venturi, bisogna evitare un'eccessiva vicinanza delle testate degli edifici.

Immagine 2.18 - Esempio di distribuzione regolare in pianta degli edifici (a) in batteria, (b) a scacchiera. I segni + e - indicano le zone di pressione e depressione causate dal flusso del vento.

Immagine tratta dal libro "Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato", Mario Grosso, p. 171, 2017.



Forma e orientamento degli edifici in relazione ai flussi d'aria

La forma dei volumi e l'orientamento degli edifici determinano le dimensioni della scia prodotta quando il flusso d'aria incontra un ostacolo, causando quindi una variazione del campo di velocità e di pressione attorno all'edificio. Le dimensioni della scia di vento hanno effetti non solo sulla velocità del vento a valle dell'edificio, ma anche sulla portata d'aria interna all'edificio, che aumenta con la profondità di scia.

L'effetto delle barriere sui flussi d'aria

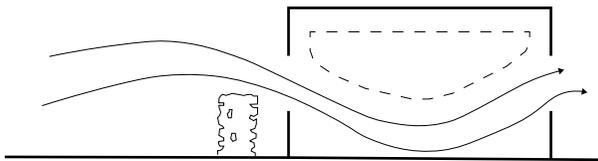
Il controllo dei flussi d'aria tramite l'utilizzo di barriere sia artificiali che vegetali è particolarmente importante perché caratterizza profondamente l'aspetto degli spazi esterni. Questi elementi possono essere molto efficaci per determinare la deviazione o il convogliamento del flusso a seconda delle esigenze del progetto, in particolare per la modificazione del campo di velocità del flusso di vento.

Progettazione degli spazi esterni: il controllo degli scambi termici

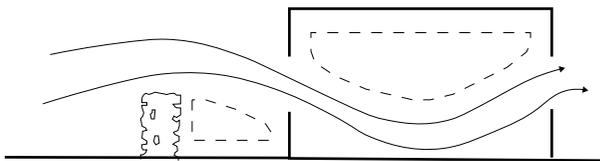
Vi sono molte attività che si svolgono all'aperto, specialmente nelle zone a clima temperato caldo, dove nel periodo estivo l'irradianza solare e la temperatura dell'aria raggiungono valori talmente alti da rappresentare forte motivo di discomfort per gli utenti. Le caratteristiche termofisiche di tali spazi devono essere tali da influenzare positivamente il microclima esterno di un sito. Il comfort termico in ambiente esterno è legato agli stessi meccanismi di quello in ambiente confinato, solo che chiaramente non può essere controllato con mezzi meccanici di trattamento dell'aria. Le condizioni di benessere di un individuo rispetto allo spazio esterno dipendono dagli scambi di calore tra l'individuo e i diversi elementi che compongono il contesto fisico, che avvengono secondo tre modalità di scambio termico: apporto termico dovuto alla radiazione solare, scambio radiativo nello spettro dell'infrarosso lontano, scambio di calore per convezione tra aria in movimento e superficie corporea.

Immagine 2.20 - Modalità di interazione vegetazione-edifici.

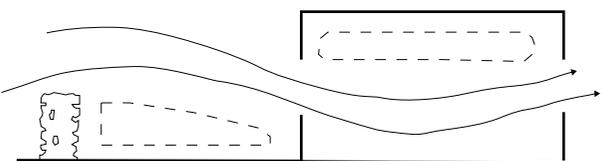
Immagine tratta dal libro "Progettazione bioclimatica di sito", Salvatore de Pascalis, pp. 94-95, 2005.



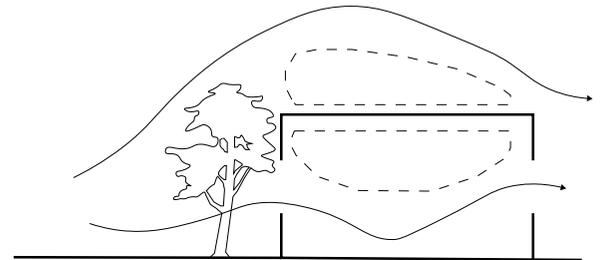
Interazione tra siepe di media altezza posta a ridosso dell'edificio e edificio: flusso in entrata di notevole intensità diretto verso il basso.



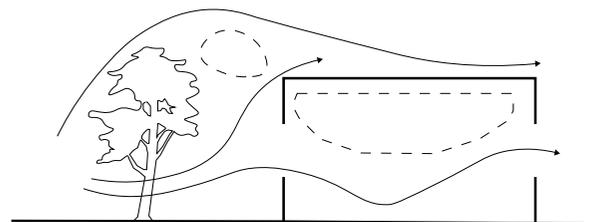
Interazione tra siepe di media altezza posta a circa tre metri dall'edificio e edificio: situazione analoga al caso precedente.



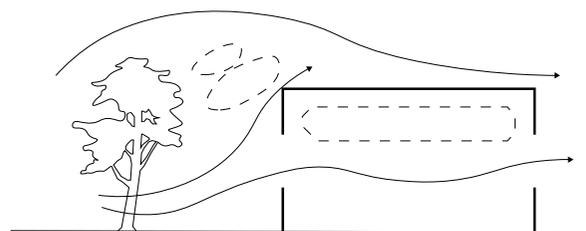
Interazione tra siepe di media altezza posta a circa sei metri dall'edificio e edificio: la velocità del flusso è ridotta e l'andamento è più omogeneo.



Interazione tra albero distante tre metri dall'edificio e edificio: una parte del flusso accelera al di sotto del fogliame e si perde poiché scavalca l'edificio, mentre il flusso entrante in ambiente interno rimane abbastanza veloce.



Interazione tra albero distante nove metri dall'edificio e edificio: il flusso d'aria che entra in ambiente ha una velocità ridotta rispetto al caso precedente.



Interazione tra albero distante nove metri dall'edificio e edificio: a distanze della vegetazione più elevate la velocità del flusso entrante si riduce e il flusso risulta diffuso.

Tecniche di controllo del microclima esterno

Tabella 2.5 - Schematizzazione degli obiettivi progettuali e delle tecniche di controllo del microclima legati al raffrescamento degli spazi esterni. Immagine tratta dal libro "Progettazione bioclimatica di sito", Salvatore de Pascalis, 2005.

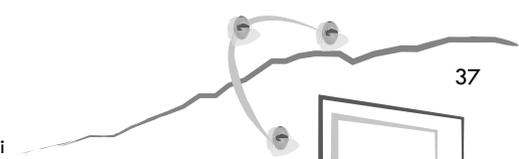
Obiettivi progettuali	Azioni sul microclima	Tecniche di sistemazione degli spazi esterni	Riduzione tipica degli apporti termici (W)
Riduzione della radiazione solare	Controllo della radiazione diretta e diffusa	Schermi orizzontali e verticali	40 - 70
		Schermi verticali	25 - 50
Riduzione o inversione dello scambio radiativo a onde lunghe	Riduzione della temperatura delle superfici circostanti	Trattamento delle superfici circostanti	
		Terreno nudo: pavimentazione fredda pellicole d'acqua	
Manto erboso: irrigazione pellicole d'acqua			
Riduzione o inversione dello scambio convettivo	Riduzione della temperatura dell'aria	Superfici verticali: cascate pareti d'acqua	15 - 50
		Confinamento	
	Movimentazione di aria raffreddata	Riduzione del calore sensibile	
		Riduzione del calore latente	
		Incanalamento di brezze	
Getti d'acqua			

2.4. La Matrice microclimatica di sito

L'analisi combinata della dinamica delle ombre e delle scie di vento consente di elaborare la matrice microclimatica di sito, che è un metodo semplificato per valutare la "vocazione d'uso" degli spazi esterni e può servire per decidere quali punti dell'area di progetto destinare a ciascuna attività prevista dallo stesso, metodo utile specialmente nel caso di richiesta di multifunzionalità degli spazi.

La matrice microclimatica di sito è formata dalla sovrapposizione, nel lotto da edificare, delle proiezioni d'ombra e delle scie. Si creano così quattro combinazioni principali possibili del rapporto tra sito, soleggiamento e vento:

- Area soleggiata e ventilata;
- Area soleggiata e in scia di vento;
- Area ventilata e ombreggiata;
- Area in scia di vento e ombreggiata.



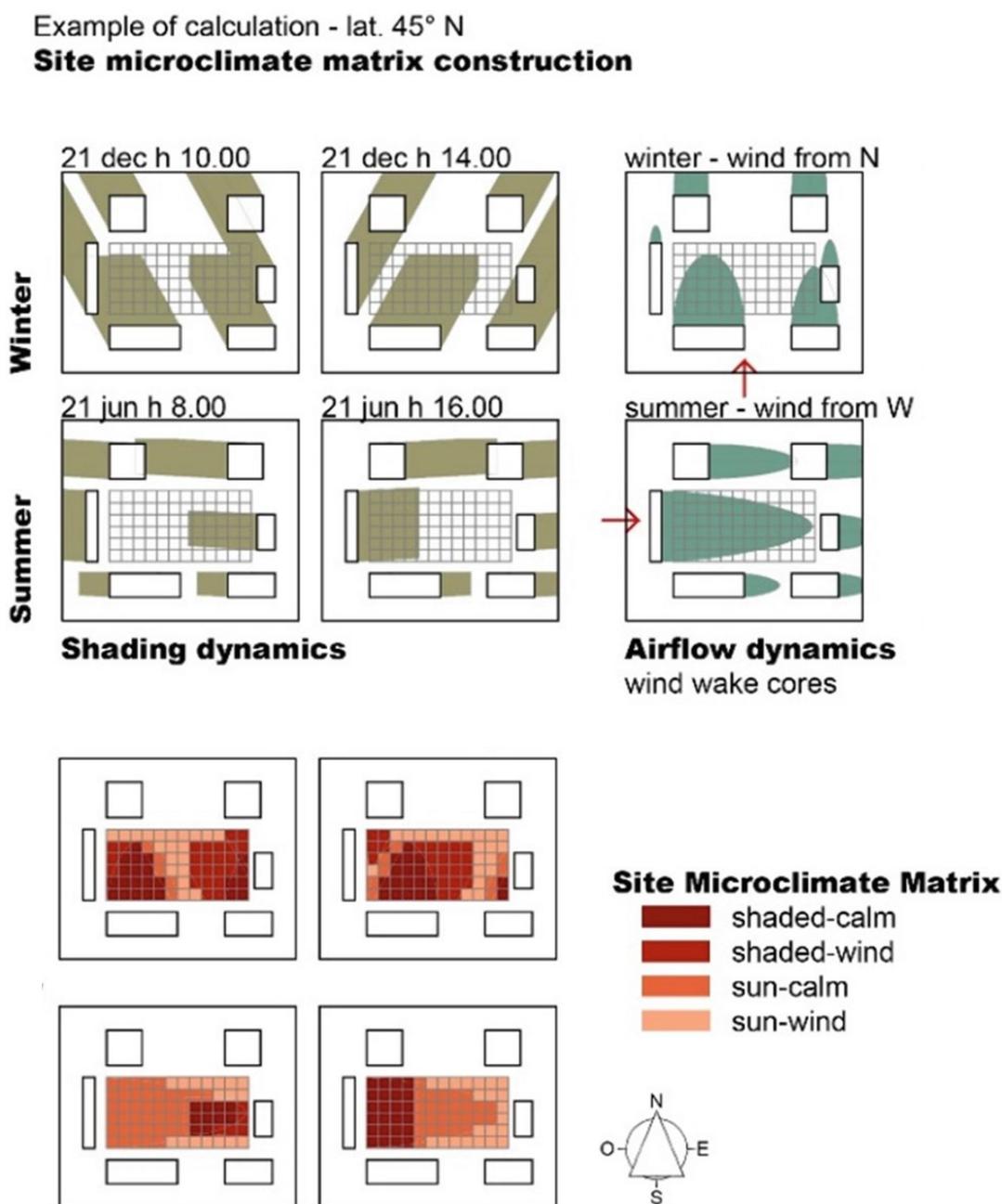
Ciascuna di queste classificazioni può essere suddivisa in diversi sottotipi a seconda che l'ombra o la zona di calma individuate siano dovute all'azione, ad esempio, della vegetazione oppure degli spazi costruiti.

Tali sovrapposizioni sono puntuali, quindi le matrici sono riferite all'ombreggiamento orario e a una direzione prevalente del vento. Si può tracciare una matrice praticamente per ogni ora del giorno, nei vari mesi dell'anno, però si tende a semplificare scegliendo un giorno rappresentativo per l'intera stagione di raffrescamento, quindi i due solstizi estivo e invernale, 21 Giugno e 21 Dicembre.

Dall'elaborazione della matrice microclimatica si può dedurre una valutazione schematica della vocazione delle diverse aree del sito, rispetto a dei parametri di benessere e a una scala di priorità in base alla quale vengono attribuiti dei punteggi alle varie zone del sito.

Immagine 2.21 - Esempio generico di elaborazione di una matrice microclimatica di sito.

Immagine tratta dal paper "Accessibilità e qualità ambientale del paesaggio urbano. La matrice microclimatica di sito come strumento di progetto", M. Grosso e G. Chiesa, 2015.



NOTE

1. Wladimir Koppen (1846 - 1940) è stato un importante geografo, biologo e climatologo. Tra i vari scritti in cui pubblica i suoi studi, si cita la pubblicazione *"Das geographische System der Klimate"* in *Handbuch der Klimatologie*, vol. 1, Berlino, Borntraeger, 1936.
2. Victor Olgyay, *"Progettare con il Clima. Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico"*, 1962.
3. L'architetto Frank Lloyd Wright ha espresso la sua idea di architettura organica in tutti i suoi scritti, ma in particolare si cita l'opera *"Io e l'architettura"*, vol.1, F.L.L. Wright, Mondadori Editore, Milano 1955.
4. La differenza tra calore sensibile e calore latente riguarda gli effetti sui corpi: il calore sensibile, se trasmesso ad un corpo, ne causa un aumento di temperatura, mentre il calore latente provoca un cambiamento di stato in un corpo a temperatura costante.

I MATERIALI ECOCOMPATIBILI

Dopo aver parlato in maniera generale della sostenibile e delle soluzioni più diffuse per garantire i principi della sostenibilità in architettura, è doveroso fare un *excursus* più approfondito sull'importanza della scelta dei materiali cosiddetti "ecocompatibili" in edilizia, o meglio ancora nella bioedilizia, nonché dei criteri con cui essi vengono giudicati idonei per la tutela ambientale.

Innanzitutto, se si parla di bioedilizia si intende un approccio all'edilizia volto alla maggior riduzione possibile dei consumi di energie non rinnovabili legati ai materiali edili, in un'ottica che va dal risparmio energetico nei cicli di produzione degli stessi, e quindi in prima linea alla riduzione delle emissioni di CO₂, fino al taglio dei costi di gestione e manutenzione, anche al fine di ammortizzare il costo di installazione. La bioedilizia si occupa proprio di individuare e utilizzare questa tipologia di materiali, definendo i criteri per la loro ecocompatibilità, e lo fa a tutto tondo: non solo considerando il prodotto finito e pronto per il cantiere, ma a partire dalla progettazione dell'intero ciclo di vita.

Partendo infatti dal presupposto che ogni materia prima prelevata in natura sia di base ecocompatibile, spesso si tende a semplificare la questione sulla sostenibilità dei materiali o delle fonti di energia alternative basandosi solo ed esclusivamente sulla presenza di una certificazione "eco": questo non è però sufficiente, in quanto il problema deve essere affrontato considerando l'impatto ambientale di tale prodotto nelle varie fasi del suo ciclo di vita, dall'approvvigionamento della materia prima al confezionamento del materiale, passando per il consumo, fino allo smaltimento. In tale ottica, anche un prodotto derivante da fonti non rinnovabili può essere considerato sostenibile, purchè il suo ciclo di vita sia improntato al risparmio energetico e al riequilibrio ambientale.

I tre requisiti principali per classificare "sostenibile" un materiale sono:

- Processo produttivo energeticamente efficienti e con basse emissioni inquinanti;
- Assenza di emissioni nocive negli ambienti interni dopo la messa in opera;
- Possibilità di riciclaggio/riuso al momento della fine della vita.

Tra i requisiti per considerare un materiale ecocompatibile, vi è anche la provenienza: la scelta di un prodotto il più possibile "a km 0" è una strategia per riuscire ad abbattere i costi dovuti al trasporto - e inoltre le emissioni inquinanti causate dallo stesso - nonché per l'agevolazione dello sviluppo della filiera produttiva del proprio territorio, che offre la possibilità di sostenere la produzione locale, che per sua stessa definizione risulta maggiormente ricettiva nei confronti di processi *eco-friendly*.

Uno dei problemi di maggior rilevanza riguardanti i materiali edilizi è senza dubbio quello dello smaltimento: troppo spesso infatti i cicli produttivi utilizzano additivi o sostanze che risultano poi troppo difficili o addirittura impossibili da smaltire o riciclare/riutilizzare - in particolar modo per quanto riguarda i collanti ottenuti da trasformazioni chimiche - e che impediscono il riuso dello stesso materiale in quanto non esiste un metodo efficace per separare la materia prima riciclabile da quella non recuperabile: l'intero lavorato infatti spesso deve essere eliminato. Di frequente inoltre queste stesse sostanze risultano tossiche anche dopo l'installazione nell'ambiente interno, per cui diventa necessario eliminarle e anche durante questa fase vengono rilasciate emissioni molto tossiche per la salute.

A parte le caratteristiche legate alla fabbricazione industriale, vi sono le qualità fisiche che, se scelte con cura a seconda del tipo di architettura e del luogo in cui si intende progettare, possono ottimizzare notevolmente le prestazioni dell'intero edificio permettendo una sostanziale limitazione degli sprechi per tutta la durata del suo ciclo di vita. Tali caratteristiche sono ad esempio:

- l'*igroscopicità*, ovvero la capacità di una sostanza o di materiali complessi di assorbire prontamente l'acqua, sotto forma di vapore, presente nell'ambiente circostante, riducendone quindi l'umidità;
- le *proprietà di isolamento termico*, quindi la capacità di evitare un sovraccarico o dispersione eccessiva di calore all'interno di un ambiente, rendendolo confortevole dal punto di vista della temperatura;
- l'*efficienza nell'accumulo di calore*, che rende possibile il rilascio del calore accumulato durante la giornata solo nelle ore più fredde, ad esempio durante la notte, permettendo di poter fare a meno degli impianti automatizzati.

I materiali considerati sostenibili nella bioedilizia sono molteplici, ma tra quelli più diffusi vi sono:

- il *legno*: considerato fin dall'antichità il materiale edile per eccellenza, esso è una risorsa rinnovabile, riciclabile e biodegradabile. In sé racchiude ottime proprietà di isolamento termico, resistenza meccanica alle sollecitazioni nonché ottime qualità di antisismicità, flessibilità e resistenza all'usura. La sostenibilità nel materiale sta sia nella perfetta programmazione dello sfruttamento della materia prima, sia nei processi di trasformazione dei lavorati non eccessivamente dispendiosi, oltre al fatto che rappresenta una riserva naturale di stoccaggio della CO₂. Della storia e delle caratteristiche di questo materiale parleremo approfonditamente all'interno del capitolo seguente;
- il *sughero*: esso deriva dalla corteccia della quercia di sughero che ha la capacità di rigenerarsi automaticamente dopo ogni scalfittura, per questo viene considerato un materiale rinnovabile. Il suo principale pregio è quello di avere delle ottime caratteristiche isolanti, ed è proprio questo il ruolo che gli viene riservato in edilizia. Solitamente viene quindi trasformato in pannelli attraverso processi di compressione tramite utilizzo di calore;
- la *fibra di cellulosa*: sempre legata al mondo vegetale, essa deriva dai processi di riciclo e trasformazione della carta, ed essendo un indiretto derivato del legno ha ottime caratteristiche di coibentazione, poiché infatti può essere utilizzata sia come isolante acustico che termico;
- il *laterizio*: costituito da un impasto di argilla, sabbia e acqua cotto ad alta temperatura, tradizionalmente utilizzato per assolvere funzioni strutturali o comporre tamponamenti, ha come svantaggio il fatto che alcune argille possono contenere un certo tasso di radioattività, per cui sono materiali che devono essere controllati e certificati secondo regole molto rigide. Nella stessa famiglia si annoverano anche i blocchi di calcestruzzo e argilla espansa, che possiedono ottime caratteristiche di leggerezza e porosità che li rendono ottimi isolanti sia termici che acustici, e infatti sono spesso utilizzati come massetti di sottofondo delle pavimentazioni per attutire i rumori di calpestio;
- la *paglia*: la sua riscoperta è dovuta alla recente crescita di richiesta di costruzioni "green". Essa è stata storicamente usata come isolante naturale, sia come tamponamento per muri aventi di solito struttura lignea a telaio, sia per la copertura degli edifici. Spesso viene utilizzata essiccata per produrre dei pannelli misti al legno che assicurano un'ottima prestazione isolante, economicità e basso impatto ambientale, rappresen

tando una delle soluzioni più usate nelle *passive houses*;

- i *biomattoni*: elementi prefabbricati composti da una miscela di canapa e calce, risultano vantaggiosi principalmente per il basso dispendio energetico necessario per produrli. Presentano elevate prestazioni di isolamento termo-acustico e ottima resistenza al degrado causato da agenti esterni.

Questi e altri ancora sono materiali considerati sostenibili proprio per le caratteristiche di gestione del loro intero ciclo di vita. Sia la progettazione che il controllo delle prestazioni in uso sono valutate secondo processi normativi e protocolli esistenti, come ad esempio la procedura dell'LCA - Life Cycle Assessment.

Negli ultimi anni stanno inoltre nascendo nuove combinazioni di molteplici materiali che, grazie a delle avanzate tecniche di lavorazione, permettono l'efficientamento delle caratteristiche di ogni componente.

LE TECNOLOGIE COSTRUTTIVE IN LEGNO E LA PREFABBRICAZIONE

Premessa

A differenza di altri Paesi Europei, l'Italia ha inserito solo negli ultimi anni nella formazione universitaria e professionale materie di studio finalizzate ad acquisire competenze culturali e tecniche atte sull'uso del legno in edilizia. Questo però è solo un primo approccio alla questione nel nostro paese, che presenta ancora molte lacune nell'integrazione tra l'aggiornamento professionale e le attività di formazione didattica: in altre parole, il mondo della professionalità e dell'area produttiva e quello della ricerca e della formazione non sono ancora sufficientemente coordinati tra loro.

La riscoperta del legno come materiale dell'edilizia ha messo in discussione alcuni tabù della nostra cultura mediterranea - contrapposta a quella nordeuropea che vede nel legno il suo principale materiale da costruzione- che tendono a identificare le strutture in legno come provvisorie o precarie: se si pensa che il settore edile sia sempre stato contrassegnato da forti resistenze al cambiamento e dall'utilizzo di prassi consolidate nel tempo, la tendenza che si sta vivendo oggi è un discreto passo avanti. Complice di questo cambiamento di prospettive è sicuramente un processo avviato da qualche anno a questa parte, che tende a promuovere una maggior sostenibilità e un uso più corretto delle risorse ambientali, nonché un crescente sviluppo di nuove tecniche di costruzione e tecnologie del legno: in particolare, l'evoluzione di sistemi e componenti edilizi principalmente legati alla prefabbricazione facilita il soddisfacimento delle esigenze legate alla sostenibilità.

Nel campo dell'edilizia del legno viene quindi promosso l'approccio della "tecnologia come elemento di sviluppo", fondamentalmente orientato a dimostrare l'importanza del ruolo che la tecnologia può assumere, sensibilizzando la società e il mercato al risparmio energetico, al rispetto per l'ambiente e al benessere abitativo. Le moderne tecniche e sistemi costruttivi in legno appaiono oggi più vantaggiosi rispetto ad altri processi produttivi edilizi per tutta una serie di motivi, tra i quali la certezza dei tempi di realizzazione, un maggior controllo della gestione del cantiere e dei costi, e la salvaguardia degli aspetti ecologici permessi dalla scelta di tale materiale. Per tutte queste peculiarità, il legno è stato eletto come materiale di riferimento nei progetti per edifici del settore pubblico – ad esempio nell'edilizia scolastica – e residenziale, e grazie a questo atteggiamento di generale apertura verso la ricerca di scelte sostenibili il settore dell'edilizia oggi è sicuramente più propenso alla sperimentazione di materiali, sistemi e tecniche prima considerati meno affidabili.

4.1 Il legno nelle costruzioni: ieri e oggi

Il legno è sempre stato un materiale molto conosciuto e amato, non solo come semplice materia da costruzione, ma principalmente come materiale da abitare: esso è universale. Già Vitruvio nel 15 a.C. circa, parla del legno nel suo trattato¹, indicandolo come il primo e più importante materiale da costruzione, poiché sia per la sua facilità di lavorazione, sia per le sue ottime proprietà meccaniche, esso rappresenta una risorsa di facile reperibilità e utilizzo. Tale utilizzo però è cambiato molto nel tempo: sicuramente esso è il materiale che maggiormente, con lo sviluppo industriale, ha risentito della concorrenza da parte degli altri considerati più moderni: sino agli inizi del '900 ha avuto un ruolo preminente per poi essere messo in secondo piano dallo sviluppo di materiali costruttivi industrializzati, come il cemento armato, considerati meno dispendiosi e indubbiamente più vantaggiosi per le loro elevate prestazioni a livello strutturale.

4.1.1 La storia delle costruzioni in legno

Dall'antichità al Rinascimento

Fin dalla preistoria il legno, unitamente alla pietra, è stato uno dei primi materiali sfruttati dall'architettura, per diverse ragioni: la facilità nel reperirlo e le sue proprietà meccaniche, che ne permettono l'utilizzo indifferentemente a trazione, compressione e, soprattutto, a flessione. A seconda della sua diffusione in termini di patrimonio boschivo a livello locale, esso ha assunto ruoli diversificati: da materia esclusiva per l'intera realizzazione delle dimore a materiale che assolveva a specifiche funzioni costruttive, come la realizzazione di solai e coperture o di macchinari usati nella vita quotidiana.

Le costruzioni preistoriche dell'area centro-europea offrono una testimonianza delle tecniche costruttive in legno dell'antichità: le dimore in quell'epoca erano realizzate dalla successione ravvicinata di pali lignei infissi nel terreno, secondo la tecnica "a palafitte", necessaria sia per la protezione degli edifici dall'umidità del terreno sia per necessità difensive. Questa prima tecnica si è poi evoluta in costruzioni a telaio ligneo in cui gli elementi portanti verticali erano costituiti da pali-pilastri che formavano gli elementi strutturali fondamentali delle costruzioni.

Il problema della scarsa durabilità del legno ha purtroppo cancellato le testimonianze dell'esistenza di centri urbanizzati del mondo antico, in cui le dimore cittadine, soprattutto degli strati più bassi della popolazione, erano costituite quasi unicamente da questo materiale: questo vale per l'antico Egitto come per la Roma Imperiale (questa è anche la ragione per cui lo storico incendio di Roma del 64 d.C., probabilmente appiccato dall'Imperatore Nerone, dilagò così velocemente e ferocemente per diversi giorni).

Nell'antichità in Grecia il legno, per quanto riguarda le architetture ufficiali, era utilizzato principalmente nella copertura dei templi: essi avevano coperture a falde, ma è quasi accertato che non si conoscesse l'uso della capriata allora e che si costruisse tramite la sovrapposizione di elementi inflessi.

Nell'architettura romana invece si utilizzava il materiale ligneo per le coperture, i solai di strutture residenziali pluripiano e le centine delle strutture archivolte. Vitruvio nel suo trattato parla lungamente dell'uso del legno ma non fa riferimento all'uso della capriata, che apparirà solo in tarda epoca romana nella costruzione delle basiliche, diventate i luoghi di culto cristiani. In quest'epoca si concretizza l'uso di fondazioni su pali in legno per edifici in muratura, nonché quello nella costruzione di infrastrutture temporanee in tutti i territori dell'Impero.

Ma è nelle regioni alpine e centro-europee che, dall'epoca medievale in poi, si sviluppano e diversificano le tecniche di costruzione lignee: nelle Alpi si amplia l'utilizzo della struttura interamente in legno, chiamata *blockbau*, mentre nell'Europa centro-settentrionale si diffonde quella a telaio, detta *fachwerk*, con tamponamenti misti nelle maglie.

La *blockbau* è una tipologia di struttura compatta, molto diffusa nelle fasce alpine, caratterizzata da elementi massicci disposti orizzontalmente, non fissati tra di loro tramite viti o chiodi bensì con cavicchi di legno duro, incastrati secondo una disposizione maschio/femmina per comporre la parete; essi assolvono sia funzione portante che di irrigidimento della struttura o di chiusura.

La tipologia *fachwerk*, in italiano traducibile come casa a graticcio o a traliccio, utilizza invece il sistema a "gabbia portante", costituito da un'orditura portante di travi principali a vista e tamponamento in laterizi o pietra, posti tra gli elementi di controventamento incastrati alla struttura; la copertura in questi edifici è sempre molto inclinata, a causa del clima contrassegnato da abbondanti precipitazioni, tanto da consentire la realizzazione anche di 2 o 3 piani sottotetto.

Nel nord Europa, in particolare nelle *stavkirke* norvegesi - tipologia di chiesa medievale in italiano chiamata chiesa a pali portanti - al telaio ligneo vengono associate pareti costruite con ampi tavoloni disposti verticalmente, e in elevazione il telaio si collega alle strutture delle coperture. Anche in Gran Bretagna lo schema dell'edificio a telaio è quello più diffuso, e si sviluppa anche la copertura a capriata.

In paesi europei come Francia, Germania e Austria, trova diffusione la tipologia del telaio ligneo con tamponamento in muratura, con diverse declinazioni a seconda dell'area geografica. Nelle regioni dell'Est Europa invece permane per diversi secoli la tradizione della casa interamente costruita in legno affiancata a quella in muratura.

Immagine 4.1 - Immagini delle tipologie di costruzione *blockbau* (a), *fachwerk* (b) e *stavkirke* (b).

Immagini tratte dal sito <

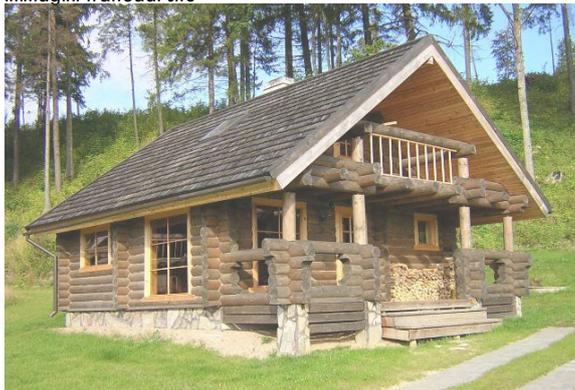


Immagine tratta dal sito < <https://www.servicelegno.it/>>.

(a)



(b)

Immagine tratta dal sito < <https://www.xn--edelscker-limburg-uqb.de/hausder-sieben-laster/>>.



(c) Immagine tratta dal sito < <https://talknorway.no>>.

Anche l'Oriente conosce la sua tradizione nel campo delle costruzioni lignee. Nel periodo medievale in Cina si diffuse l'uso di elementi lignei con sezioni standardizzate, soprattutto nella costruzione di opere pubbliche, mentre in Giappone, per prevenire i danni causati dai forti fenomeni sismici, si stabilirà l'utilizzo di un sistema a telaio ligneo modulare per le dimore private.

Nel corso del Rinascimento in Italia il legno diventa il materiale prediletto per usi strutturali, specialmente nella costruzione di solai, capriate e centine delle cupole. Palladio si occupa a fondo di questo materiale nei suoi scritti: codifica infatti le tipologie di capriate e i principi base delle strutture reticolari per i ponti, nonché per l'esecuzione delle fondazioni su pali lignei. Leonardo da Vinci si interessa allo studio del comportamento strutturale di tale materiale, facendo alcune osservazioni sul corretto proporzionamento della sezione resistente delle travi: il legno è infatti la materia privilegiata per lo studio della trave inflessa.

Nel secolo successivo Galileo Galilei ampliarà gli studi sulla trave inflessa, pubblicando una dettagliata metodologia di calcolo per le sollecitazioni. Il contributo di questi studiosi allo sviluppo della moderna scienza strutturale è fuori da ogni dubbio.

Con la colonizzazione delle Americhe, anche nel Nuovo Mondo verrà importata la tradizione europea delle costruzioni in legno, e in tale ambiente, caratterizzato da ampie foreste e dalla continua fondazione di nuovi insediamenti coloniali, avrà particolare fortuna la diffusione di questo materiale, in particolar modo usato con la tecnica della struttura portante a telaio nelle dimore private, che divenne la più sfruttata proprio per la facilità e velocità nel montaggio.

L'età moderna

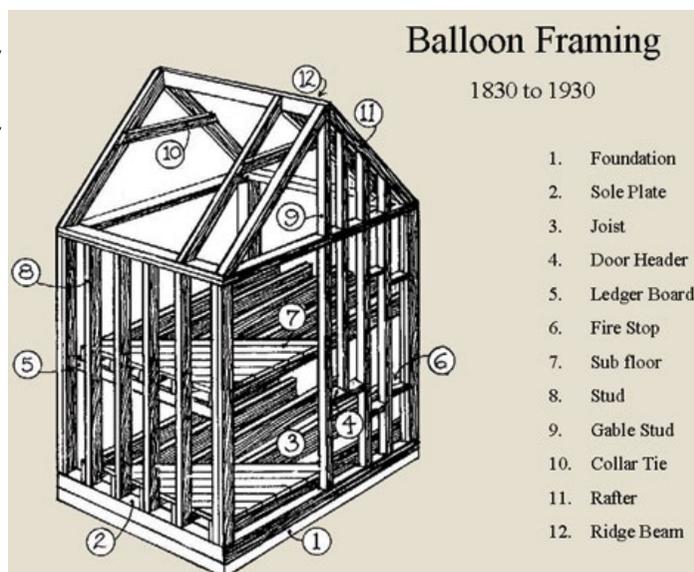
Proprio in America nasce, agli inizi dell'800, il primo sistema industrializzato del legno, il balloon frame, costituito da un'ossatura lignea controventata, con pilastri e travetti aventi dimensioni ridotte e disposti a distanza ravvicinata, uniti con chiodatura. Questo metodo, già impiegato dai pionieri del West, trova ampia diffusione durante i processi di urbanizzazione di città come San Francisco e Chicago, dove nel 1832 viene messo a punto da George G. Snow, che rivoluzionerà i tempi delle costruzioni. Snow porterà questo tradizionale sistema a telaio nell'ottica industriale, attraverso standardizzare le dimensioni delle sezioni dei suoi componenti, quindi inserendolo in un'ottica di prefabbricazione industrializzata in un'epoca in cui questa mentalità non era ancora così diffusa nell'ambito delle costruzioni; arriverà perfino al punto inventare una casa da poter "spedire" in una scatola al richiedente con all'interno tutti i pezzi e i sistemi di chiodatura pronti per essere montati. In sostanza, il suo esperimento fu tra i primi a dare il via al fenomeno delle kithouses, molto popolare anche durante il XX secolo negli USA.

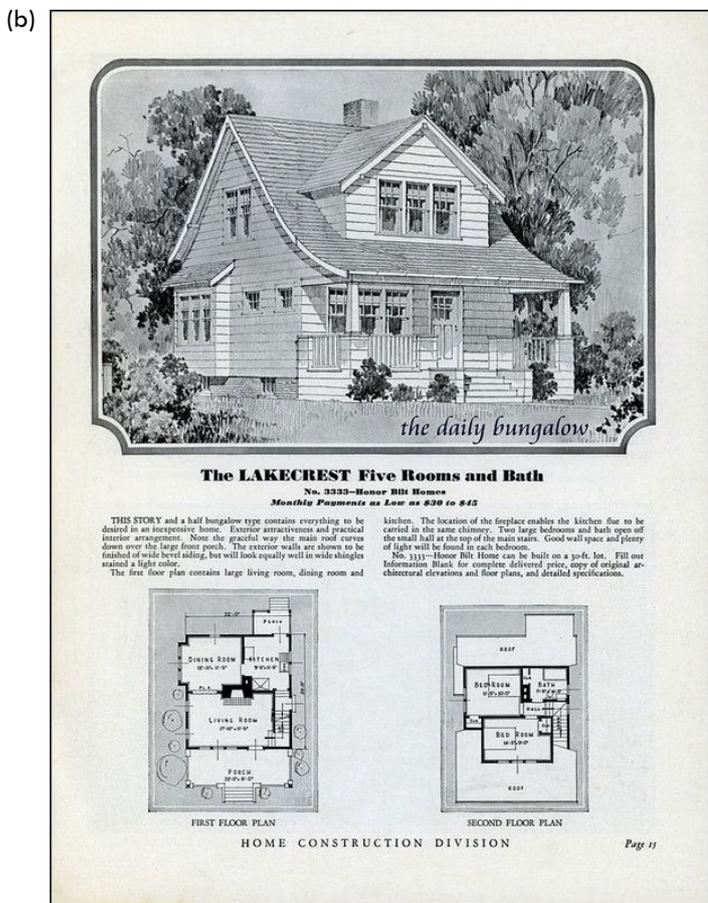
Immagine 4.2 - La struttura del *balloon frame* (a) e esempi di pubblicità di *kit houses* dell'epoca, (b) e (c).

(a)

Immagine (a) tratta dal sito < <https://www.pinterest.it>>.

Immagini (b) e (c) tratte dal sito < <http://www.searsarchives.com>>.





In Europa, tra '700 e '800, le strutture in legno arrivano a coprire luci sempre maggiori, grazie all'adozione di sistemi di costruzione spesso ibridi, come quelli delle travi reticolari. Nonostante la messa a punto di strutture complesse tramite sofisticate tecnologie in legno, grazie anche al contributo della teoria delle strutture, nel corso del secolo l'introduzione della ghisa e dell'acciaio, materiali tecnologicamente più avanzati e con caratteristiche di resistenza più efficienti, provoca il declino nell'utilizzo del legno nella copertura di grandi luci.

Siamo però nel 1825 quando per la prima volta fa la sua comparsa il legno lamellare: il francese A. Rose Emy realizza degli archi tramite la chiodatura di tavole unite in pacchi con bulloni metallici. Il legno lamellare era una grande innovazione per l'epoca poiché rispondeva al problema di superare il limite dimensionale del tondame da cui si ricavano le travature, che già nei secoli precedenti si era tentato di ovviare. Il grosso limite che si ha in quest'epoca per lo sviluppo della tecnologia lamellare è dato dalla mancanza di collanti adatti a garantire il mantenimento delle proprietà meccaniche delle tavole così ottenute, problema che verrà risolto dall'industria quasi un secolo dopo.

L'età contemporanea

Da questa esperienza in poi la ricerca nell'ambito del legno lamellare si svilupperà sempre più rapidamente nel corso del XX secolo. Nel 1905, grazie allo sviluppo dei collanti, si iniziano ad applicare alcune tecniche che porteranno alla nascita dell'attuale legno lamellare da costruzione. Nel corso del secolo però, il legno viene sempre più relegato ad un uso marginale, sostituito dall'introduzione di acciai e ghise prima, e da quella del cemento nei primi decenni del '900. La larga diffusione di quest'ultimo è motivata soprattutto dalla facilità di produzione e dai bassi costi. In paesi come l'Italia, in cui la tecnologia del legno non aveva una tradizione solida e valorizzata alle spalle, oltre al fatto che la disponibilità della materia prima non era così ampia, l'utilizzo del legno va a perdersi in favore del cemento, per poi essere riscoperto solo in tempi recentissimi; in alcuni paesi al contrario, specialmente in quelli di cultura tedesca, aventi una tradizione del legno consolidata e una grande presenza di foreste nel territorio, le ricerche nel campo dell'ingegnerizzazione del legno, risalenti già agli inizi del XX secolo ma mai potenziate, sono state portate avanti fino a determinare grosse evoluzioni

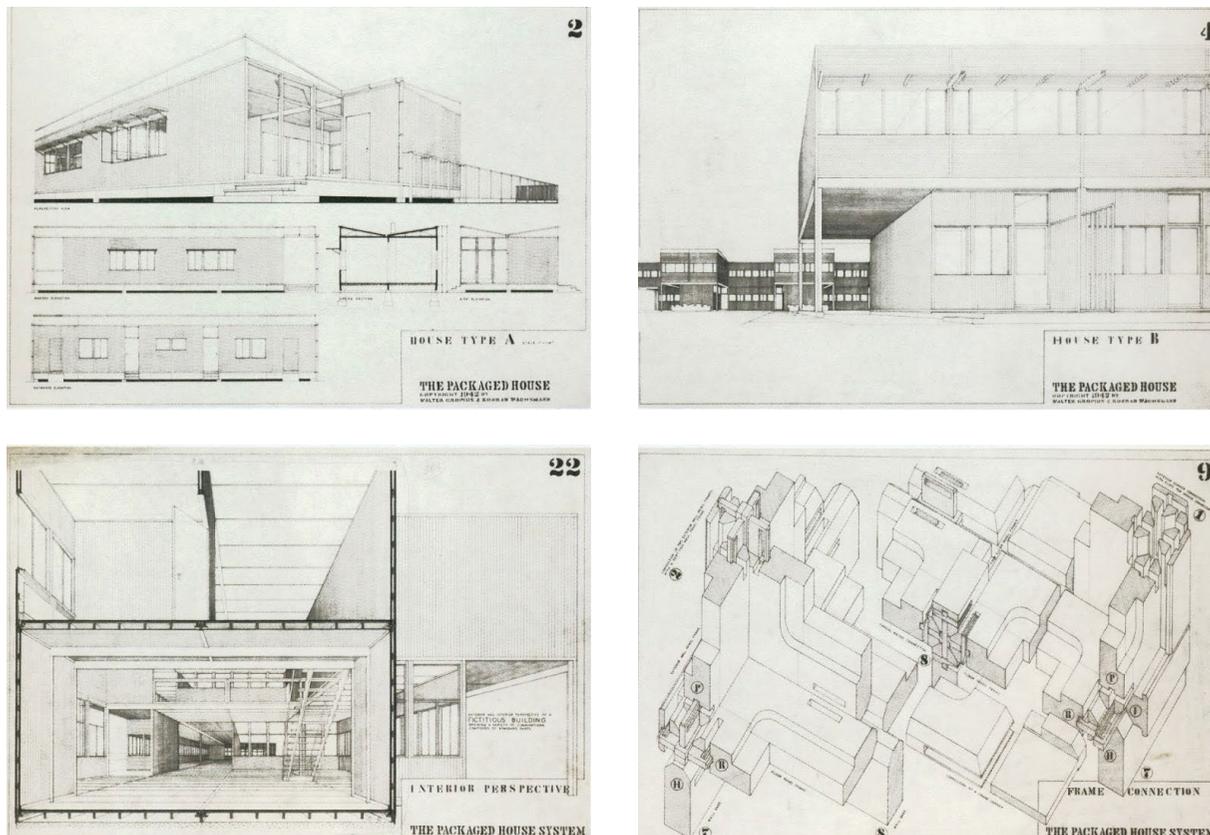
per l'edilizia moderna. Basti solo pensare alla storia dell'X-lam, di cui si farà cenno in seguito in questo capitolo.

4.1.2 L'esperienza dell'innovazione tecnologica di Wachsmann

Le prime sperimentazioni nell'uso del legno in edilizia a sfruttare la ricerca tecnologica per implementare le potenzialità del materiale si hanno a partire dagli anni '30 del XX secolo, grazie all'esperienza dell'architetto tedesco Konrad Wachsmann, considerato uno dei "filosofi dell'innovazione", che negli anni '60 pubblica un testo intitolato *"Una svolta nelle costruzioni"*². Egli è considerato uno dei più grandi esperti della costruzione in legno in Europa, di cui già negli anni 20 del XX secolo studiava i possibili sviluppi. Trasferitosi negli Stati Uniti nel 1935 a causa delle persecuzioni del regime nazista, qui egli collabora con il collega Walter Gropius: conducono una ricerca improntata a indagare le possibilità di innovazione dei materiali della tradizione attraverso i processi produttivi, che aveva come obiettivo principale la trasformazione dei materiali da costruzione in componenti, per ottimizzare tutto il rendimento dell'apparato produttivo. Negli Stati Uniti essi parteciperanno alla fondazione e alla conduzione della prima industria semi-automatica per la prefabbricazione di elementi semilavorati in legno: la General Panel System. È proprio a seguito di questa esperienza che Wachsmann, siamo negli anni '40, segue insieme a Gropius l'evoluzione di una ricerca innovativa per l'epoca, il General Panel System (anche chiamato *The packaged house system*), un sistema costruttivo prefabbricato per case unifamiliari. Sulla scia di questo esperimento in Europa è nato, alla fine degli anni '90, un nuovo sistema costruttivo, quello dei pannelli X-Lam.

La storia di Wachsmann è la testimonianza di come il legno abbia subito, dall'inizio del XX secolo, un processo di industrializzazione che lo ha posto sullo stesso piano dei moderni materiali da costruzione, soprattutto grazie all'ingegnerizzazione dei prodotti. Nel suo libro *"Una svolta nelle costruzioni"*, Wachsmann afferma l'urgenza di studiare la lavorazione in fabbrica del legno che in tal modo assumerebbe la stessa valenza di qualsiasi altro materiale da costruzione moderno.

Immagine 4.3 - Disegni di Wachsmann e Gropius che illustrano il General Panel System da loro ideato.
Immagini tratte dagli archivi della General Panel Corporation, 1942.



4.1.3 L'informatica applicata all'industrializzazione

Negli anni in cui Wachsmann compiva la sua esperienza innovativa non vi era ancora la possibilità di utilizzare le macchine a controllo numerico, nate con l'evolversi dell'informatica odierna, e quindi il prodotto delle sue ricerche fu l'industrializzazione di prodotti di qualità costante, realizzati in serie, con una produzione completa di parti finite, e la costruzione era praticamente solo montaggio: il risultato furono dei componenti unificati con una discreta varietà tipologica.

Mentre allora era possibile solo produrre in serie, oggi, grazie all'invenzione delle macchine a controllo numerico, si riescono a ottenere industrialmente pezzi unici per il montaggio a costi contenuti. Lo sviluppo dell'informatica ha determinato il superamento della necessità della produzione per standard, portando ad una ottimizzazione del processo e alla possibilità di fornire elementi pre-assemblati con tempi di realizzazione estremamente contenuti.

L'informatica ha contribuito anche alla determinazione di un diverso metodo di progettazione, ridando ad essa un ruolo centrale, grazie ai vantaggi acquisiti: la riduzione degli immobilizzi di capitale, la possibilità di variare rapidamente il quantitativo di prodotti, l'assemblaggio delle componenti già nello stabilimento di produzione con la conseguente possibilità di verificare le prestazioni prima dell'arrivo in cantiere.

4.1.4 Il cambiamento del decennio 90-2000: le nuove prospettive della prefabbricazione

Nel corso del XX secolo il legno è stato trattato in maniera contraddittoria dai professionisti del settore, riconosciuto pienamente come materiale sostenibile ma non particolarmente sfruttato per le applicazioni in edilizia. Le principali perplessità sul suo utilizzo si riferiscono alla facile degradabilità, alla sensibilità al fuoco, alla scarsa solidità strutturale e al costo del cantiere di costruzione, convinzioni che faticano tutt'oggi ad essere sradicate dalla cultura edilizia.

A partire dalla fine degli anni '70 del '900 la crescente attenzione al problema ambientale ha però determinato un cambiamento nel modo di vedere il legno, che ha iniziato ad essere considerato un materiale adatto a conciliare esigenze ambientali ed energetiche. Questa svolta è stata sicuramente accompagnata da uno sviluppo sempre più avanzato della tecnica dei moderni sistemi in legno e dalla loro crescente diffusione, oltre che da una tendenza della ricerca a preferire i materiali a basso impatto ambientale.

Nel decennio tra gli anni '90 e i primi anni 2000, in Europa, sono avvenuti profondi cambiamenti sia nella concezione strutturale che nel linguaggio architettonico delle costruzioni in legno, grazie a un investimento sempre maggiore nel campo della prefabbricazione industriale. I governi dei vari paesi in quel periodo hanno incoraggiato l'uso del legno per i rivestimenti, nelle facciate, nelle ristrutturazioni e anche nelle infrastrutture pubbliche.

Nel nostro Paese si è riscontrato da quel momento uno spostamento del mercato del legno ingegnerizzato verso il settore residenziale, sulla scia delle tendenze di paesi come Austria, Germania, Francia e Inghilterra. Diversi sono stati i settori su cui si è concentrata l'ingegnerizzazione, dall'impiego del legno lamellare nella copertura delle grandi luci alla prefabbricazione dei componenti in legno per l'edilizia, fino allo sviluppo dei pannelli X-Lam per rispondere al tema dell'efficienza strutturale. È stata sicuramente quest'ultima l'innovazione più importante nel campo dell'ingegnerizzazione del legno: l'introduzione sul mercato di un elemento strutturale piano. Una superficie piana come elemento strutturale svincolato dai limiti della struttura intelaiata era vista come la possibilità di aprire il legno a nuovi orizzonti, ma soprattutto a nuovi ambiti di utilizzo. I pannelli in X-Lam venivano considerati un'alternativa ad altri sistemi costruttivi, ma soprattutto un metodo per affrontare la progettazione strutturale e architettonica futura con maggior flessibilità.

4.2 I moderni edifici con struttura in legno

Sono principalmente due le tipologie costruttive dei moderni edifici in legno, e in entrambe il principio fondamentale è l'unione di elementi piani che, collegati tra loro, formano una struttura scatolare. Altri sistemi strutturali, basati invece sul sistema di pilastri collegati da un insieme di travi inflesse, fanno comunque parte delle possibilità del repertorio strutturale ligneo e sono soluzioni applicate anche nell'edilizia residenziale. Questi ultimi sistemi però sono più complessi e vengono applicati a casi particolari come ad esempio le strutture sportive. Nei prossimi paragrafi verranno trattate nel dettaglio le soluzioni costruttive più diffuse nel panorama edilizio del legno.

4.2.1 La struttura intelaiata

Essa è senza dubbio la tipologia più diffusa a livello globale, basata su elementi strutturali, ovvero pareti e solai. Essi vengono realizzati unendo un telaio semplice, formato da travi di legno sottili, con una pannellatura anch'essa lignea che ha lo scopo di garantire la rigidità dell'elemento, permettendo di creare componenti stabili che, messi assieme, vanno a costituire l'intera struttura dell'edificio.

La costruzione intelaiata in legno trova le sue origini nella prima metà del XX secolo. Inizialmente il telaio era formato da legno massiccio segato con un rivestimento di pannellatura inclinato di 45 gradi rispetto ai lati dell'elemento intelaiato: il rivestimento posto in diagonale permette di formare una struttura a traliccio con il telaio, conferendo quindi la rigidità necessaria ad assolvere la funzione strutturale.

Più tardi, con l'avvento dei pannelli sottili in legno, lo strato inclinato è stato sostituito proprio da questi ultimi. Oggi la pannellatura è spesso formata da pannelli OSB spessi circa 20 mm, inchiodati o incollati alla struttura intelaiata, costituita solitamente da legno massiccio o lamellare, avente spessori di regola tra i 60 e i 100 mm. Le esigenze strutturali infatti richiedono spessori delle pareti piuttosto ridotti: per un numero di piani non superiore a tre si utilizzano spessori compresi tra i 140 e i 160 mm, ma per rispondere alle esigenze di isolamento termico si può arrivare anche a 300 mm, spessore minimo per l'involucro esterno dell'edificio. La travatura del solaio deve essere tale da conferire sufficiente rigidità, per cui le altezze delle travi variano tra 240 e 280 mm, coprendo così luci che raggiungono anche i 5,50 m, che solitamente corrispondono alle luci tradizionali degli edifici residenziali. Negli ultimi anni sono stati messi a punto sistemi per le nuove esigenze, provvedendo a una doppia pannellatura su entrambi i lati del telaio, per ottenere un vero e proprio elemento strutturale a cassone: in questo modo è possibile coprire luci superiori, che raggiungono anche i 6,50 m senza dover aumentare considerevolmente lo spessore della componente portante.

Nonostante vi siano molti esempi di strutture intelaiate alte almeno tre piani, per altezze maggiori e dimensioni non regolari in pianta è necessario studiare soluzioni soggettive per ogni singolo progetto.

L'attacco della struttura intelaiata alle fondazioni dell'edificio avviene solitamente tramite il fissaggio del traverso che delimita la parte inferiore della parete alla platea in cemento armato, tramite l'utilizzo di diverse tipologie di profili metallici aventi caratteristiche specifiche a seconda della tipologia di utilizzo: vi sono ad esempio le viti utilizzate per l'ancoraggio vero e proprio del traverso alla platea, mentre altri profili detti ad "L" o hold down vengono utilizzati per scongiurare il ribaltamento della parete. L'utilizzo di questi sistemi rende inoltre la struttura adatta a resistere a eventi sismici, anche grazie alla sua leggerezza.

Immagine 4.4 - Una moderna struttura intelaiata con pannellatura in OSB.
Immagine tratta dal sito < <https://casedilegno.eu/struttura-intelaiata/>>.



4.2.2 La costruzione massiccia: l'X-Lam

Come anticipato nei paragrafi precedenti, verso la fine degli anni '90, sono apparsi sul mercato i pannelli di legno massiccio incollato a strati incrociati, elementi completamente nuovi nel panorama edilizio in legno. Questo tipo di prodotto è stato definito con mille declinazioni diverse, anche perché ogni produttore ha sviluppato il proprio stile di produzione. In Italia il termine X-Lam viene usato per indicare tutti i pannelli con queste caratteristiche, mentre ad esempio in Germania si utilizza l'abbreviazione Bsp, ovvero BrettSperrholz, mentre la descrizione internazionale deriva dal termine inglese CLT, Cross Laminated Timber.

Il prodotto è stato inizialmente ideato da alcune grandi segherie di conifere europee, quale possibile reimpiego delle porzioni sotto corteccia del tronco e segati di bassa qualità: essendo un elemento strutturale non a vista, il pannello non necessita di materiale selezionato dal punto di vista estetico.

In generale si può descrivere l'X-Lam come un pannello di legno composto da più strati (di solito un minimo di tre ma di regola almeno cinque) di tavole di legno, sovrapposti e incollati tra loro. Lo spessore dei singoli strati può variare tra i 17 ai 42 mm e ognuno di essi è disposto in modo che due livelli adiacenti risultino sempre ortogonali tra loro, orientati a seconda dell'orientamento della tavola. Il numero di strati di cui è composto un pannello è sempre simmetrico rispetto al piano centrale di quest'ultimo, quindi sempre dispari. Il raggiungimento di dimensioni importanti è una caratteristica essenziale per i pannelli X-Lam, che possono superare anche i 2 m di lunghezza, i 4 m di altezza e oltre i 500 mm di spessore. I grossi produttori concentrano la loro produzione su dimensioni standard di circa 16 x 3 m.

La parete X-Lam si configura come un elemento massiccio di spessore che varia dai 100 mm ai 200 mm in funzione della forma e dimensioni dell'edificio, che determinano anche le esigenze strutturali. Più la forma dell'edificio è irregolare, più le dimensioni della parete possono aumentare, anche in maniera considerevole. I solai in X-Lam permettono la realizzazione di luci abbastanza estese con uno spessore relativamente ridotto rispetto a quello delle strutture a cassone.

Immagine 4.5 - Composizione costruttiva di un pannello X-Lam.

Immagine tratta dal sito < <https://www.xlamdolomiti.it/schede-tecniche-xlam-e-documentazione>>.

Rappresentazione schematica di una porzione di pannello diemme X - lam



Rappresentazione schematica di una porzione di pannello diemme XX - lam



Anche in questo caso la composizione dell'edificio è scatolare, formata da elementi piani in X-Lam collegati tra loro. Un'ulteriore caratteristica della struttura in X-Lam è la sua grande flessibilità. La sua natura fatta di elementi strutturali massicci e piani permette infatti di realizzare:

- Elementi strutturali piani di forma e dimensioni molto flessibili;
- Elementi di parete inclinati rispetto alla verticale;
- Aperture di vario tipo e forma senza dover necessariamente rinforzare la struttura portante.

L'aspetto innovativo della prefabbricazione consiste nel mettere a punto pannelli già muniti delle aperture idonee, necessarie per l'inserimento dei serramenti, che vengono realizzate da macchine a controllo numerico.

Immagine 4.6 - Cantiere di un edificio in X-Lam.

Immagine tratta dal sito < <https://www.sistem.it/sistemi-costruttivi/xlam/>>.



Per quanto riguarda l'inquadramento di questi prodotti in uno scenario di tipo economico, produttivo e ambientale, vi sono diverse prospettive, specialmente per il pannello X-Lam. La produzione di questi elementi strutturali massicci è concentrata negli stabilimenti industriali di alcune multinazionali del legno europee – principalmente situate in nord Europa – che garantiscono l'intero prodotto, occupandosi anche di una copertura logistica su tutto il territorio comunitario. La maggior parte delle architetture moderne sono realizzate con materiali prodotti da queste aziende, mentre in Italia esistono per lo più realtà industriali flessibili, concentrate su una lavorazione di tipo artigianale, che producono una piccola quantità di questi prodotti secondo una logica di filiera, coprendo un mercato fortemente radicato su territorio. Non potendo competere con le realtà delle multinazionali, concentrano la produzione solo in determinati momenti dell'anno.

In seguito alla diffusione sempre più estesa di questi prodotti sul mercato si è iniziato a riflettere sulla possibilità di sfruttarli per la promozione e valorizzazione del territorio, nell'ottica di una produzione di filiera locale che diventi motivo di certificazione della qualità ambientale. Percorrendo questa strada, si arriverebbe alla possibilità di estendere questo discorso a un concetto di certificazione di progetto, che quindi si estenderebbe all'idea di qualità all'edificio.

Tradizionalmente il legno impiegato per la produzione di elementi massicci è quello di conifera, generalmente abete. L'utilizzo di altri legnami è attualmente incentrato sulla costruzione di prototipi nell'ambito di attività di ricerca indirizzate proprio alla sperimentazione di altri tipi legnosi per elementi strutturali.

Vi sono sicuramente alcuni aspetti ingegneristici importanti da considerare per la costruzione in legno, essenziali per la buona riuscita di qualsiasi progetto edilizio ma particolarmente spinosi quando si sfrutta questo materiale. Essi sono principalmente:

- *La sicurezza sismica:* sapendo che, da un punto di vista delle sollecitazioni meccaniche, l'effetto di una scossa sismica sulla struttura di un edificio è sempre anche proporzionale alla sua massa, una costruzione in legno ha dalla sua sicuramente la leggerezza strutturale. Le strutture intelaiate in legno sono note per il loro comportamento favorevole in caso di sisma. Nel caso di superfici realizzate con pannello X-Lam, la struttura massiccia delle pareti e delle solette, che poi sono gli spessori strutturali più elevati di tutta la superficie, unitamente alla struttura scatolare più omogenea e efficace, rendono questo tipo di costruzioni ancora più stabili in presenza di un terremoto;
- *La sicurezza in caso di incendio:* è risaputo che il legno è un materiale combustibile, ma la questione della combustibilità del materiale e quella della sicurezza in caso di incendio sono diverse. La combustione di un elemento strutturale in legno infatti si sviluppa con una velocità molto ridotta e soltanto in condizioni di temperatura molto elevata. Di fatto il legno strutturale, grazie alle sue dimensioni, subisce la combustione e si riduce di spessore lentamente; inoltre, grazie all'ottima capacità di isolamento termico, mantiene una temperatura fondamentale costante nella zona ancora non intaccata dal fuoco del materiale;
- *La produzione e il montaggio:* una costruzione di legno moderna si basa sulla lavorazione industriale del materiale e sulla possibilità di prefabbricazione in officina di elementi costruttivi di dimensioni considerevoli, in modo da poter effettuare l'assemblaggio in cantiere seguendo degli schemi e procedure definiti in anticipo. Sempre più spesso fanno parte della prefabbricazione anche il montaggio di strati di coibentazione, rivestimento esterno e interno, oltre a una parte delle installazioni: questo sicuramente permette di ridurre al minimo i tempi di cantiere durante la costruzione;

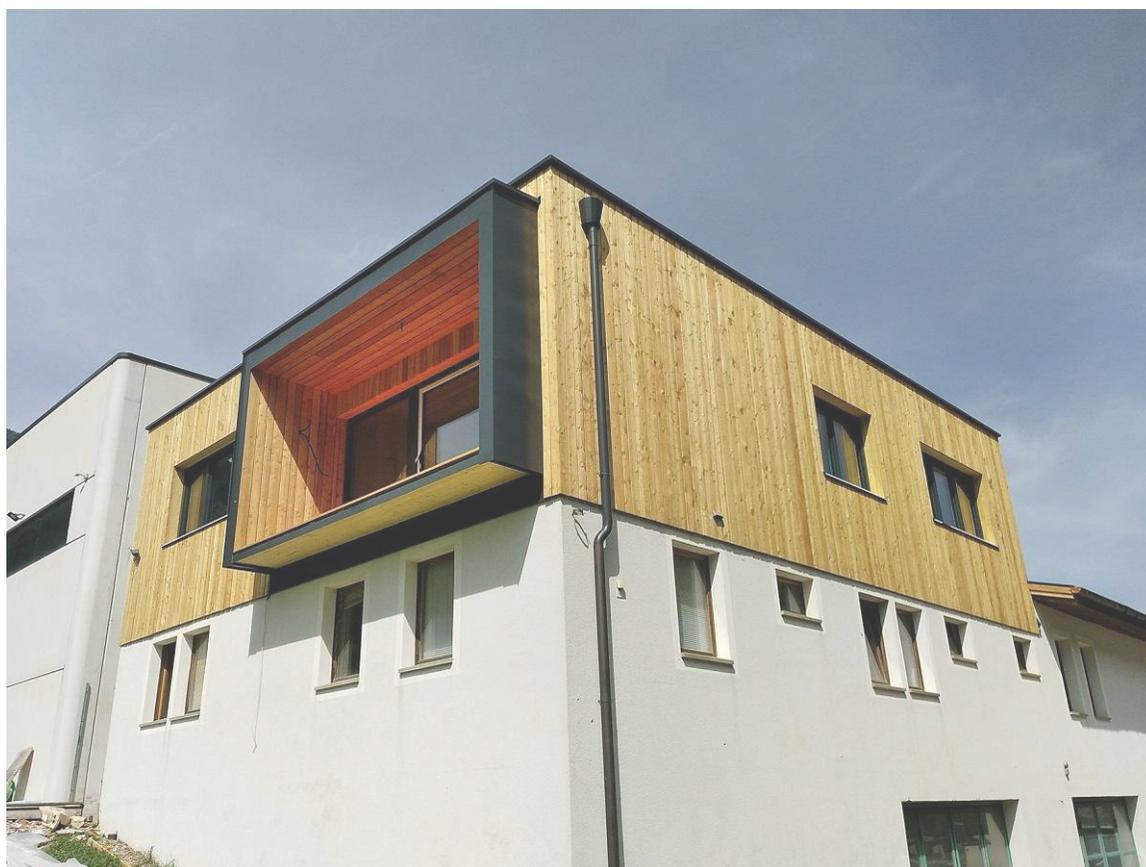
- *La pelle dell'edificio*: gli elementi strutturali della costruzione devono, sempre e comunque, essere protetti dall'azione diretta delle intemperie, in modo da permettere una lunga vita all'edificio; per poter garantire questa condizione sono obbligatoriamente presenti i rivestimenti esterni, che vanno a caratterizzare anche la facciata dell'edificio. Gli elementi di rivestimento sono completamente indipendenti dalla struttura portante, quindi vi è un buon margine di libertà anche per quanto riguarda la scelta dei materiali.

4.2.3 L'uso del legno negli interventi sul patrimonio costruito

L'ambito della riqualificazione sul patrimonio costruito è un importante campo di applicazione delle costruzioni in legno, specialmente nell'ottica di interventi di sopraelevazione, ampliamento e addizioni di volumi. L'utilizzo dei componenti prefabbricati in legno infatti offre sicuramente una serie di vantaggi in questo campo, soprattutto per quanto riguarda il problema delle connessioni tra strutture differenti e la necessità di ridurre le attività di lavorazione in cantiere.

Il legno trova impiego soprattutto per le opportunità che offre nei casi in cui sia necessario limitare il più possibile il carico di nuove strutture installate su strutture portanti preesistenti, offrendo la possibilità di realizzare volumi autoportanti e inserirli nel progetto di riqualificazione; grazie alla prefabbricazione dei componenti con l'impiego di tecnologie a secco questi volumi permettono di ridurre i tempi di cantiere, facilitando il trasporto in quanto nella maggior parte dei casi arrivano in loco in forma già pre-assemblata.

Immagine 4.7 -Esempio di sopraelevazione su un edificio preesistente realizzata mediante struttura prefabbricata in legno.
Immagine tratta dal sito < <http://impactdc.me>>.



4.2.4 Mobil home e micro home: le architetture modulari

Il filone delle architetture modulari prefabbricate personalizzabili è un altro campo di applicazione della tecnologia del legno, che in alcuni casi ha condotto all'inaugurazione di nuove linee di produzione e di volumi in stile *kit-house* grazie alla formazione di una nuova generazione di architetti specializzati. La progettazione di moduli abitativi di dimensioni minime ha assunto significati sempre più ampi rispetto alle sperimentazioni passate, in quanto vengono toccati i temi di economia ambientale – tra gli altri obiettivi, la riduzione dell'impatto del consumo di suolo sull'ambiente è considerata uno dei traguardi principali in architettura contemporanea - e di risparmio energetico attraverso la sperimentazione di processi e sistemi costruttivi ecocompatibili. In generale, per il campo di architettura modulare prevale la logica della semplificazione.

Anche il tema della trasformazione e conversione delle destinazioni d'uso nel tempo ha acquisito sempre maggior importanza: un esempio sono le *mobilehomes* e le *microhomes*, case scatola dalla minima metratura, abitabili in forma temporanea o come residenze permanenti.

4.2.5 Edifici sperimentali per un'architettura sostenibile: nuovi orizzonti di ricerca progettuale

La realizzazione di edifici sperimentali fa parte di una tradizione consolidata, che si configura come una strategia per il superamento dei limiti imposti dalla prassi costruttiva tradizionale, fino talvolta a sfiorare i confini dell'utopia. Le espressioni di queste ricerche sperimentali si concretizzano fondamentalmente nella realizzazione di *demo houses* e *concept houses*:

- Le *demo houses* sono architetture a funzione dimostrativa, ad esempio possono essere moduli energeticamente efficienti installati sui tetti piani del patrimonio edilizio esistente. Un esempio di questa tendenza è il progetto SOLTAG, un prototipo energeticamente autosufficiente a zero emissioni, oppure Casa Buderus, concepita come un laboratorio dimostrativo, dotata di sette diversi sistemi di generazione di energia, utilizzabili in maniera indipendente, realizzati a vista in modo da fornire un modello didattico per installatori e progettisti;
- Le *concept houses* assumono invece più spesso il ruolo di edifici manifesto sulla sostenibilità, come ad esempio il progetto MK Lotus, concepita come casa ecologica sostenibile sotto gli aspetti sociale, ambientale ed ecologico.

Immagine 4.8 - Esempi di nuove architetture sperimentali: una *modul house* come esempio di *minimum* abitativo trasformabile.
Immagine tratta dal sito < <https://katus.eu> >.



4.3 I prodotti della prima lavorazione in legno

In Italia l'uso del legno nelle costruzioni ha conosciuto un rinnovato interesse a partire dagli anni '80 con l'introduzione del legno lamellare. Da allora vi sono state numerose iniziative, anche a livello regionale, che hanno favorito il nascere di nuove competenze progettuali per fornire un valido contributo alla risoluzione di problemi tecnologici legati all'impiego dei prodotti in legno. Tutto ciò è sicuramente valido per gli elementi strutturali lineari, ma non si può dire lo stesso per quanto riguarda i pannelli in legno, che vengono ancora scarsamente utilizzati, anche perché la produzione industriale di pannelli ad oggi viene concentrata per lo più nel settore del mobile arredo, di serramenti, pavimenti e dei trasporti.

Il tessuto di produzione locale è inoltre fortemente influenzato dalla mancanza di una materia prima a livello regionale con adeguate caratteristiche qualitative e da una cultura costruttiva orientata ormai da decenni verso materiali considerati più idonei o più durevoli. Le imprese di prima e seconda trasformazione si rivolgono quindi spesso oltreconfine per l'approvvigionamento del materiale, mentre la maggior parte di progettisti e utenti sono ancora fermi su preconcetti profondamente radicati, che pongono quindi un freno allo sviluppo di tale produzione industriale.

4.4 I prodotti in legno massiccio

I prodotti in legno massiccio sono ricavati da fusti, generalmente di conifere, o loro porzioni, di dimensioni e forma tali da garantire adeguate prestazioni meccaniche.

Tralasciando gli usi strutturali del legno a sezione tonda (in Italia trova applicazione limitata, ad esempio nel sistema Blockhaus o Blockbau), vi sono più significativi usi negli ambiti dell'uso strutturale di elementi con tolleranza di smussi, ad esempio le travi ad uso Trieste (che seguono la rastremazione del fusto) e quelle ad uso Fiume (a sezione costante), gli elementi strutturali a spigolo vivo e i segati a sezione quadrata o rettangolare.

Tutti questi elementi, entro certi limiti dimensionali (sezioni 18x18 cm e lunghezze fino a 5 m), possono essere realizzati a costi inferiori di quelli del legno lamellare, sono in legno di larice, castagno e quercia (a livello regionale), sono ottimi poiché mantengono una continuità di fibratura e la struttura del tronco originario. Tutti gli elementi in legno massiccio sono però caratterizzati nel tempo dalla comparsa di inevitabili fessurazioni superficiali.

Elementi di dimensioni maggiori (sezioni 40x40 cm e lunghezze di 14 m) sono realizzati con uso di materia prima recuperata su mercato europeo, in genere da Francia e Austria, per motivazioni che riguardano la disponibilità di materia prima e la qualità.

Attualmente il settore dei prodotti in legno massiccio sta attraversando un profondo cambiamento dovuto all'introduzione di nuove norme nazionali europee, che limitano la possibilità di utilizzo delle risorse di legno (a livello di piccole aziende locali principalmente), per cui spesso le imprese di trasformazione di piccole dimensioni si trovano in difficoltà rispetto all'adeguamento a queste norme, a differenza delle aziende più grandi che, operando sul settore da più tempo, hanno avuto la possibilità di adeguare, in precedenza, la loro produzione a tali vincoli normativi. Spesso capita infatti che le imprese di piccola trasformazione indirizzino la loro produzione verso altri settori, aventi normative meno restrittive.

4.5 Il legno lamellare e i prodotti di tipo X-Lam

Il legno lamellare incollato è stato il vero protagonista del mercato edilizio del legno degli ultimi anni in Italia. La sua tecnica di produzione ha permesso di ottimizzarne le proprietà meccaniche all'infinito, superando i limiti dimensionali e di forma del legno massiccio e ovviando ad alcuni problemi dovuti al suo contenuto di umidità al momento della posa in opera: tutto questo è stato possibile grazie a un processo di riduzione del fusto in tavole essiccate e classificate, la loro giunzione di testa, denominata "finger joints", e la successiva ricomposizione mirata delle stesse che è proprio la chiave dell'ottimizzazione delle proprietà meccaniche di questi prodotti.

Per questo materiale è prevista una sempre maggior diffusione soprattutto nel campo della realizzazione di edifici industriali e destinati al settore terziario, mentre fino a poco tempo fa il suo maggior impiego era l'edilizia pubblica e privata.

Lo stesso pannello X-Lam è in parte derivato dalla stessa tecnologia ma di più recente produzione, definito anche come pannello lamellare di legno massiccio a strati incrociati o compensato di tavole.

Le tipologie più diffuse di consolidamento tra i vari strati prevedono l'impiego di graffe o chiodi metallici, tasselli di legno o adesione tramite incollaggio con miscele poliuretaniche o melamminiche, queste ultime maggiormente diffuse in contesto industriale. La composizione del pannello fa in modo che esso acquisisca un'ottima stabilità dimensionale e prestazioni omogenee nelle due direzioni del piano, tanto da poter assolvere la funzione strutturale di piastra per carichi perpendicolari alla superficie principale e per carichi agenti nel piano del pannello. Il pannello così formato può essere così sottoposto a sollecitazioni provenienti da più direzioni e, grazie a idonei sistemi di connessione, consente la realizzazione di strutture leggere e caratterizzate da un'elevata capacità dissipativa, adatte ad affrontare il rischio sismico.

Il legname privilegiato nella produzione di legno lamellare non è attualmente proveniente dalla realtà locale regionale, principalmente per la mancanza di una filiera di produzione e distribuzione di materia prima organizzata, anche se si cerca di promuovere le realtà industriali di tipo locale per la produzione di questi tipi di pannelli, il cui utilizzo sta crescendo grazie all'interesse suscitato dalle loro prestazioni strutturali.

4.6 I pannelli a base di legno

Tra le principali motivazioni alla base della diffusione di questi prodotti vi è sicuramente la necessità di superare i limiti dimensionali della materia prima e di tenerne sotto controllo i difetti attraverso una distribuzione casuale. Molti di questi prodotti utilizzano la tecnica dell'orientazione mirata della fibratura del legno che permette, come già nei pannelli X-Lam, di aumentare la stabilità del prodotto e ridurre i fenomeni di ritiro e rigonfiamento.

Altro argomento a favore di questi prodotti è la possibilità di ottimizzare l'uso della risorsa, grazie al fatto che molte tipologie di pannelli consentono l'impiego di assortimenti minori, il riutilizzo degli scarti di lavorazione e il riciclaggio di alcuni materiali post-consumo.

I pannelli in legno costituiscono una vasta gamma di semilavorati di buon livello tecnologico, e possono presentare destinazione d'uso, aspetto superficiale e valore di mercato anche molto differenti. Presentano uno sviluppo planare, forma rettangolare e spessore tendenzialmente limitato; sono in genere disponibili in grande formato, con dimensioni di 2,95x25 m e spessore di 400 mm.

Le modalità di produzione, a seconda della destinazione d'uso e della funzione che devono assolvere, sono di solito distinte, ma presentano alcuni aspetti comuni: la riduzione degli assortimenti legnosi eseguita tramite specifiche azioni di taglio (es. segagione, sfogliatura, trinciatura ecc.); la produzione di elementi unitari che vanno dal tavolame a microscopiche fibre di legno; l'essiccazione e aggregazione di tali elementi tramite processi prestabiliti che in genere implicano la somministrazione di pressione, temperatura elevata e uso di adesivi termoindurenti che modificano la resistenza all'umidità del prodotto in base alle esigenze di utilizzo.

Gli elementi unitari assumono un'importanza fondamentale nei confronti delle caratteristiche del pannello e la progressiva riduzione delle loro dimensioni comporta modifiche sia in termini estetici che prestazionali del pannello: infatti, bisogna giustificare i costi e lo spreco di energia usati per produrre pannelli ri assemblando assieme elementi unitari talvolta molto piccoli.

Si possono ottenere delle modulazioni delle proprietà del pannello operando su alcuni fattori quali la riduzione dimensionale della materia prima, la scelta delle specie legnose, le dimensioni, geometria e umidità degli elementi unitari, l'orientazione della fibratura dei vari strati di legno o il tipo di adesivo usato. Tramite la tecnica della ricomposizione controllata si possono ottenere prodotti con una miglior ripartizione delle proprietà meccaniche nelle due direzioni del pannello.

Tra le principali tipologie di prodotti si riscontrano:

- *Pannelli di legno massiccio*: detti anche pannelli lamellari, composti da listelli o tavolette ottenuti per segagione, incollati tra loro lungo i bordi o sulle facce;
- *Pannelli di legno compensato*: in questa categoria si includono le denominazioni commerciali di compensato, multistrato e listellare, e sono formati incollando un insieme di strati, solitamente dispari, di sfogliati sovrapposti con la direzione della fibratura del legno disposta alternativamente ad angolo retto;
- *LVL (Laminated Veneer Lumber)*: realizzato in continuo o in grandi dimensioni, viene destinato soprattutto a impieghi strutturali ed è formato da strati di sfogliati per lo più giuntati di testa e incollati tramite sovrapposizione con fibratura parallela;
- *Pannelli di particelle*: formati da materiale lignocellulosico che previa sminuzzatura viene ridotto in frammenti più o meno allungati (scaglie, schegge e trucioli) poi resi solidali con l'aggiunta di adesivi con pressatura tra piastre piane, calandratura in continuo o estrusione. In genere il materiale usato nella produzione europea è il truciolare o l'OSB;
- *Pannelli di fibra*: sono costituiti dalla stessa materia prima dei precedenti ma in dimensioni più minute delle particelle, ottenute tramite un processo di sfibratura. In base al diverso processo produttivo che ne condiziona anche la densità finale, possono essere distinti in pannelli ottenuti per via umida o per via secca: tra i primi troviamo i pannelli teneri, semiduri e duri, mentre tra i secondi si annovera in particolare l'MDF (Medium Density Fiberboard);
- *Pannelli di legno-cemento*: si ottengono facendo uso di leganti minerali a base di malte di cemento di tipo Portland o magnesiaco, che hanno la funzione di agglomerare, consolidare e proteggere gli elementi unitari che compongono il pannello.



Immagine 4.9 - Immagini delle varie tipologie di pannelli: lamellari (a), compensati (b), LVL (c), di particelle (d), MDF (e), di legno cemento (f).



Immagini tratte dai siti: (a) <<http://www.picarolegnami.it/prodotti>>; (b) <<http://www.tableroshuertas.es>>; (c) <<https://www.metsawood.com>>; (d) <<http://www.giben.it>>; (e) <<https://www.modulor.de>>; (f) <<https://www.celenit.com/it>>.

A livello regionale c'è un'ampia offerta di questi prodotti, realizzati principalmente in pioppo, in quanto solo l'OSB e l'LVL non sono prodotti da realtà industriali presenti su territorio.

Oltre al tradizionale utilizzo nel settore del mobile e dei componenti di arredo, l'impiego dei pannelli è molto ampio ai vari livelli della costruzione, sia all'esterno che all'interno, e li possiamo trovare nelle coperture, negli assiti delle pavimentazioni, nei rivestimenti e nelle pareti e in altre barriere di vario tipo.

Il vantaggio dell'uso dei pannelli sta sicuramente nell'ingegnerizzazione della materia prima legno, e se si uniscono alle proprietà della materia prima quelle di altri materiali complementari è possibile creare degli elementi che assolvano a più funzioni. Gli esempi più noti di questa aggregazione di materiali sono i compositi pannelli "sandwich", per lo più formati da pannelli con l'aggiunta di materiali isolanti. Questo tipo di unione permette di risparmiare i tempi di realizzazione e anche i costi delle operazioni di cantiere, e questo sicuramente, come nei casi precedenti, ne giustifica l'impiego nonostante il livello di prezzo superiore. È bene inoltre ricordare che la maggior parte delle prestazioni dei prodotti precedentemente descritti sono legate alla qualità dell'incollaggio, che è anche sicuramente il procedimento più critico della produzione.

4.7 I prodotti innovativi

Le potenzialità dell'innovazione dei prodotti a base di legno sono legate soprattutto alla diversificazione dei loro usi, quindi alla capacità di individuare impieghi alternativi.

Vi sono aspetti di innovazione riguardanti diverse fasi di produzione, ad esempio:

- La ricomposizione;
- La combinazione di materiali diversi;
- I trattamenti fisico-chimici atti a migliorare le proprietà del legno;
- L'uso di tipologie alternative di adesivi;
- L'uso di speciali prodotti di finitura.

Un caso esempio significativo può essere quello del legno "termotrattato", realizzato tramite un procedimento legato al trattamento di alcuni segati e derivati che vengono sottoposti a cicli di riscaldamento tra i 180 e i 240 gradi centigradi, che inducono variazioni nella struttura chimica del legno rendendolo più stabile dimensionalmente, meno igroscopico e più durabile nei confronti degli attacchi di agenti esterni.

4.8 La valorizzazione del territorio tramite filiera corta

Poiché in fasce sempre più ampie del mercato sta crescendo l'attenzione per l'ambiente, la tendenza dell'utilizzo del legno in edilizia è quella di aumentare. Esso è considerato un materiale vantaggioso sotto diversi punti di vista: materia prima rinnovabile, globalmente diffusa e in aumento, oltreché facilmente riciclabile. In questa situazione inizia a porsi il problema di aumentare il consumo del legname, preservando la risorsa e dando garanzie al mercato sulla sua origine legale. Quest'ultimo problema ha favorito la diffusione degli schemi di certificazione forestale (in Italia FSC e PEFC) che acquisiscono una duplice valenza di garanzia di "gestione corretta e responsabile" e di "rintracciabilità della materia prima".

Nonostante una crescente sensibilità ecologica a tutti i livelli della società, non sempre le motivazioni che dovrebbero spingere alla scelta del legno sono rese note in maniera corretta tra gli stessi operatori del settore, per questo recentemente sono nate iniziative a sostegno della divulgazione che promuovono un nuovo approccio verso i consumatori, includendo l'analisi del ciclo di vita dei prodotti, studi sull'uso del legno per contrastare i cambiamenti climatici e per sostenere l'impegno nazionale nei confronti dell'adesione al Protocollo di Kyoto e alle altre direttive europee in ambito ambientale.

In questo quadro si inserisce anche l'impegno di molte Pubbliche Amministrazioni a implementare modelli, procedure e linee guida che mirano a promuovere l'uso del legno locale in un'ottica di sostenibilità.

Nella realtà italiana, lo sviluppo del settore del legno non può prescindere dal fatto che la disponibilità di materia prima risulta tendenzialmente insufficiente a soddisfare una richiesta di approvvigionamenti costanti e in quantità adeguata alle necessità delle aziende di prima lavorazione. Per una serie di fattori orografici e di gestione del patrimonio forestale italiano (già solo il posizionamento di alcune aree boschive, situate in zone impervie difficili da raggiungere, è sfavorevole all'approvvigionamento), cui si sommano la disomogeneità degli assetti selvicolturali e le limitate caratteristiche sia di qualità che di quantità di molti popolamenti, la maggioranza dei prodotti legnosi ricavabili è utilizzata come legna da ardere o come assortimenti di piccole dimensioni e limitato valore commerciale. Questa situazione condiziona la crescita delle imprese e impedisce l'impiego di sistemi di esbosco moderni che possono essere più produttivi. Vi sono sicuramente elevati oneri nella raccolta e difficoltà a reperire il materiale legnoso più richiesto dal mercato, di conseguenza le aziende di trasformazione si rivolgono ai canali dell'importazione per ottenere i propri approvvigionamenti. Se si pensa poi che nell'area alpina e prealpina italiana il costo di abbattimento ed esbosco supera consistentemente quello dell'Austria, non è difficile capire perché le industrie si rivolgano all'estero.

Per ragioni invece maggiormente legate alla discontinuità dell'offerta e a pregiudizi riguardanti la qualità del tonname locale rispetto a quello estero, può accadere che la materia prima nazionale spunti prezzi di acquisto poco remunerativi per i proprietari, che chiaramente non si sentono incentivati a investire per continuare a migliorare la gestione dei popolamenti. Anche se il marchio di certificazione rappresenta un valore aggiunto per la promozione della risorsa legnosa, non può sicuramente sostituire quello legato alla sua qualità e idoneità all'applicazione tecnica, per cui i problemi qualitativi dei boschi rimangono sostanzialmente irrisolti.

Questa situazione evidenzia la mancanza di integrazione tra produzione e trasformazione e la difficoltà di programmazione e valorizzazione delle risorse legnose territoriali: i tempi del cambiamento sono ancora relativamente lunghi.

Secondo alcuni economisti in Italia non sarebbe del tutto corretto parlare di "filiera-legno", in quanto questa presuppone delle relazioni di interscambio reciproco: nel nostro paese siamo invece di fronte a una situazione di "sistema aperto", con flussi consistenti di materia prima che nel caso dell'edilizia riguardano soprattutto i semilavorati importati da altri Paesi, mentre nel settore dell'arredamento i flussi di importazione risultano muoversi in senso contrario. Prendendo spunto dalle iniziative di successo portate avanti nel settore enogastronomico, di recente nel nostro paese si è cercato di lanciare il concetto di "slow wood", per promuovere lo sviluppo di segmenti di filiere di legno che si caratterizzano per la raccolta e trasformazione a corto raggio, in altre parole "a km zero", con minor impatto dei trasporti e contenimento dei passaggi intermedi tra produttori e consumatori della risorsa. L'idea non è facile da concretizzare però, anche perché nonostante questo meccanismo funzioni molto bene in ambito enogastronomico, il legno non sembra avere la stessa attrattiva dei prodotti alimentari, e avendo tipologie provenienti da località diverse caratteristiche abbastanza omogenee non viene giustificato neanche il prezzo di acquisto più elevato.

Le filiere corte nel caso del legno funzionano generalmente laddove vi siano tradizioni consolidate, competenze tecniche specifiche o in presenza di materia prima con particolari caratteristiche, riconosciute e apprezzate. Funzionano anche se orientate verso mercati di nicchia, che hanno margine per conseguire un più alto valore aggiunto e sono meno soggette a subire intrusioni esterne, oppure nel caso in cui vi siano produzioni limitate ma compatibili con il territorio. Capita spesso però che la valorizzazione delle risorse forestali locali incontri difficoltà a competere con le offerte di articoli analoghi disponibili su mercato internazionale: vi sono problematiche simili da affrontare in tutto l'arco alpino, ma richiedono sempre azioni diverse in funzione dell'area geografica interessata e di altri fattori come ad esempio vincoli legislativi e infrastrutturali, o specificità nel tessuto amministrativo e imprenditoriale. Si tratta fondamentalmente di individuare le realtà più favorevoli, quindi per quali specie legnose e prodotti implementare il rapporto di filiera, in relazione alla presenza di imprese e altri soggetti che condividano gli obiettivi di un progetto e siano capaci di conseguirli.

Tra i fattori strategici rivestono primaria importanza sicuramente la conoscenza del contesto territoriale e una corretta comunicazione tra i diversi attori coinvolti. Altri fattori di primaria importanza sono l'armonizzazione delle politiche forestali con quelle di altri settori (ad esempio la pianificazione territoriale e ambientale) e l'incremento dell'attività di assistenza e informazione istituzionale verso gli operatori locali, oltre a un monitoraggio e aggiornamento continuo dello stato di fatto. In Piemonte, come strumento di ricerca e raccolta dati si dispone degli aggiornamenti dell'istituto IPLA - Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente, che fornisce principalmente una stima dei volumi disponibili ma non una loro suddivisione in assortimenti o altre indicazioni qualitative.

Per quanto riguarda le imprese locali, esse necessiterebbero di una maggior visibilità e rappresentatività nei contesti istituzionali e un maggior riconoscimento del lavoro in bosco, generalmente considerato poco ambito e non appagante: per aiutare queste realtà bisognerebbe intervenire tramite un sistema di qualificazione con una definizione di criteri omogenei di idoneità professionale e controllo delle attività abusive. Tutto questo creerebbe sicuramente competenze adeguate alla crescita di interesse per il mercato del legno.

Le ditte boschive rappresentano generalmente la componente iniziale che spesso si rivela proprio la più debole del sistema economico legato ai prodotti legnosi, la cui catena produttiva rischia di interrompersi già a monte. Per favorire l'aumento dell'offerta, bisogna migliorare le operazioni di utilizzazione forestale che richiedono un'adeguamento delle infrastrutture, semplificazioni burocratiche amministrative, sostegno economico per la fase di raccolta e la promozione dell'associazionismo interprofessionale, che favorirebbe la comunicazione tra le diverse fasi del ciclo di lavorazione nel settore.

L'organizzazione della commercializzazione in maniera più adeguata, tramite ad esempio la razionalizzazione delle vendite in centri di raccolta, potrebbe determinare una maggior mobilitazione della risorsa, favorendo in maniera trasparente la conoscenza della domanda e dell'offerta di legname e il contratto tra proprietari e operatori forestali, nonché promuovendo l'adozione di regole registrate e condivise. Anche il ricorso a marchi che certifichino l'origine dei prodotti e il loro legame con il territorio può essere utile per favorire l'attivazione di sinergie di filiera e reti interaziendali, superando la tendenza all'individualismo.

Le aziende di trasformazione possono anche tentare di consolidare la loro presenza sul mercato ricercando maggior valore aggiunto nella fase di produzione: per fare questo, bisogna modificare il classico approccio industriale basato sulla fabbricazione in serie ad alta meccanizzazione, sostituendolo con quello di attenzione al consumatore e al contesto locale. Per poter diversificare la produzione in tal senso è necessario adottare determinati strumenti che rispondano alla necessità di maggior flessibilità nel mercato e di soddisfacimento delle esigenze della clientela, che portano a un probabile e agevole inserimento all'interno di un mercato di nicchia che interessa poco la grande distribuzione ma che può essere l'ambiente adatto allo sviluppo di un mercato locale.

Le possibilità di sviluppo di una filiera corta spesso dipende dall'introduzione di norme e regolamenti che incoraggino la domanda di legno come materiale ecologico e fonte di energia rinnovabile, per questo lo scenario ideale è quello in cui i bandi di finanziamento e fornitura vengono indirizzati allo sviluppo di questa risorsa a scopo energetico e non solo. Il rilancio del settore passa sicuramente attraverso azioni partecipate e provvedimenti mirati a favorire l'impiego delle risorse forestali e dei materiali legnosi, nonché attraverso l'attuazione di progetti pilota che possano produrre dei veri e propri modelli dimostrativi atti ad agevolare la comunicazione dei vantaggi dell'uso del legno. Sicuramente i modelli per lo sviluppo locale sono da ricercarsi all'interno di culture e tradizioni più radicate in altre aree.

Uno dei casi di assistenza tecnica più significativi all'operatore del settore sono i "wood cluster", ovvero reti territoriali di collaborazione sulla base di progetti condivisi, una sorta di distretto del legno che riunisce soggetti economici e centri di competenza complementari tra loro, finalizzato al conseguimento di obiettivi di comune interesse. Tra questi rientrano la promozione del legname regionale, l'aggregazione dell'offerta delle vendite, la predisposizione dei lotti in funzione delle esigenze degli operatori, la messa a punto di interventi finanziari, l'organizzazione di osservatori e servizi tecnici di acquisizione di nuove competenze nel campo della lavorazione della materia prima.

4.8.1 Le filiere legno-energia

Tra le varie opzioni di utilizzo del legno non vi è solo quella di materiale per l'edilizia, ma anche la possibilità di realizzazione di derivati o come fonte di energia.

È noto infatti che, in un elemento ligneo caratterizzato da un lungo periodo di servizio, la funzione di segregazione dell'anidride carbonica è ottimale e può raggiungere tempi simili a quelli necessari alla pianta per crescere e accumulare carbonio nel legno, a differenza di quanto accade per esempio con i combustibili fossili, che ai ritmi di impiego attuali determinano un bilancio sfavorevole e una situazione simile a quella dello sfruttamento di una miniera. Molti elementi in legno sono poi riciclabili e questo allarga ulteriormente l'opportunità di sfruttare questo ciclo. Usare il legno a scopo energetico comporta inoltre la re-immissione nell'atmosfera di anidride carbonica che la pianta ha accumulato durante gli anni di vegetazione.

Usare il legno come materiale da opera implica la necessità di disporre di popolamenti forestali che producano assortimenti di dimensioni e qualità adeguate, mentre per fare in modo che il valore aggiunto rimanga e venga distribuito sul territorio di origine è necessaria la presenza di imprese e industrie locali. Se però, come in Italia, non c'è la possibilità di sfruttare queste risorse, è molto utile sviluppare filiere basate sull'uso energetico del legno, che possono dare una spinta alla gestione delle risorse disponibili e andrebbero considerate in un'ottica di pianificazione di lungo termine finalizzata a incrementare la produzione e la gestione del legname, in cui la raccolta del materiale è integrata con altri servizi materiali e immateriali che il bosco può fornire. In quest'ottica è possibile anche lo sviluppo di filiere corte legate all'uso di biomassa legnosa sfruttabili a livello locale, che possono essere usate come combustibile per piccole caldaie domestiche ad esempio.

4.8.2 Il fattore innovazione

La tecnologia è, infine, il principale fattore che può favorire lo sviluppo della filiera corta, attraverso l'introduzione di sistemi più o meno articolati che vanno dalla realizzazione di assortimenti in loco alla messa a punto di prodotti in grado di soddisfare requisiti specifici, in grado di competere con quelli disponibili sul mercato globale. Anche la ricerca scientifica offre un contributo importante allo sviluppo della filiera, perché molto spesso è possibile trasferire i risultati di tali ricerche sui legnami locali o su segmenti di mercato che in genere non interessano grandi produttori.

Da alcuni anni in Italia si sta registrando un incremento significativo dell'uso del legno in edilizia residenziale. Si sta inoltre sviluppando, in questo campo come in altri, la tendenza a ragionare non solo in termini di fornitura di un semilavorato, ma di un sistema costruttivo integrato, nel cui contesto assumono grande importanza sicuramente connessioni e collegamenti tra gli elementi: in questo modo si prevede l'offerta di una serie di attività accessorie che coinvolgono sicuramente varie competenze e figure professionali. La messa in rete di queste attività legate al legno, unite a una promozione culturale di informazione e comunicazione capillare su territorio, sono uno strumento fondamentale per poter incrementare il fattore dell'innovazione all'interno della filiera corta.

Emerge sicuramente ancora l'esigenza di introdurre l'esperienza del legno nel percorso formativo dei progettisti, investendo maggiormente nella ricerca, in studi e approfondimenti su tematiche specifiche che dovrebbero essere accompagnati da un confronto continuo tra gli operatori.

4.9 Esempi di aziende operanti nel settore della prefabbricazione

Facendo un rimando al paragrafo 3.1 di questo stesso capitolo, gli sviluppi più importanti degli ultimi anni riguardanti la tecnologia del legno hanno avuto luogo fondamentalmente in paesi facenti parte del nord Europa, probabilmente per il fatto che in essi era già presente una tradizione ben consolidata di costruzioni in legno. In particolare, l'azienda più fiorente nell'ambito del mercato in legno è la Wolfhaus, nata in Austria attorno agli anni '50 e cresciuta tanto a estendere la sua rete nei territori limitrofi, tra cui il Trentino Alto Adige, primo territorio italiano ad accogliere la sua tecnica del legno. Di seguito vengono riportati due esempi che sono stati significativi per la stesura di questa tesi, in quanto hanno rappresentato delle esperienze direttamente vissute in cantiere e azienda dalla sottoscritta.

4.9.1 Norgeshus a Tallinn (Estonia)

Tallinn (Estonia), 9 Agosto 2018

In occasione di un viaggio nei Paesi Baltici è stato possibile recarsi nei sobborghi della città di Tallinn per visitare la sede dell'azienda estone Norgeshus, una delle più importanti del settore a livello nordeuropeo, in costante crescita sul mercato. La visita è stata guidata dal signor Andreas Reineberg, amministratore delegato dell'azienda.

La Norgeshus è un'azienda specializzata nella produzione e assemblaggio di case in legno prefabbricate, che nasce per soddisfare le esigenze di paesi dal clima invernale piuttosto rigido, quindi inizialmente adatta i suoi criteri costruttivi alle norme norvegesi. Attualmente il loro mercato è molto fiorente in Germania, Austria, Svizzera, Lussemburgo, ma negli ultimi tempi si stanno ampliando anche nel sud dell'Europa, e quindi recentemente anche in territorio italiano, che sembra essere terreno molto fertile per la loro proposta, specialmente in risposta ai danni derivanti dai recenti fenomeni sismici avvenuti nel centro Italia.

La produzione dei componenti della costruzione è eseguita sempre in azienda: è possibile per loro esportare in diversi paesi e con tempi decisamente ridotti grazie all'efficiente organizzazione della produzione in stabilimento, in cui vengono classificati e schedati tutti i pezzi prodotti già a monte del progetto. Essi si occupano in primis di fornire il grezzo strutturale al cliente, che comprende cappotto, serramenti esterni, tetto e tramezzi interni, ma anche, nel caso in cui sia richiesto, di completare l'assemblaggio della struttura fino alla cosiddetta finitura chiavi in mano. Tra le opzioni di progetto proposte vi è una vasta scelta, ma la cosa più importante è la massima flessibilità nella fornitura di soluzioni progettuali su misura per le richieste del cliente.

A seguito della sua espansione verso i mercati dell'Europa meridionale, la tipologia costruttiva con cui l'azienda proponeva in origine le sue case ha dovuto essere adattata a climi più caldi come quelli italiani e portoghesi, oltre alla necessità di riadattare le caratteristiche di antisismicità dei loro progetti per applicarle in paesi soggetti a frequenti terremoti.

La materia prima utilizzata dall'azienda è legno proveniente dai territori della penisola scandinava, aventi qualità certificata a livello internazionale: nonostante l'Estonia sia un paese con una superficie fondamentale ricoperta di foreste, tanto che la quasi totalità della sua tradizione architettonica risiede proprio nel legno, la scelta di importarlo è dovuta al fatto che i legnami cresciuti in climi più freddi acquistano migliori prestazioni meccaniche, di qualità e resistenza agli agenti esterni. Questo dato dà l'idea dell'approccio di ricerca di qualità e di perfezionamento delle prestazioni dei materiali portato avanti da questa azienda.

In media l'impresa costruisce dalle cinque alle sei case a settimana, sia su territorio nazionale sia esportandole - al momento della visita in fabbrica è in corso l'imbballaggio degli elementi destinati a comporre la struttura di una casa da inviare in Abruzzo - con una metratura complessiva mai inferiore ai 140 mq e un sistema di comunicazione col cliente molto efficace, basato su una totale trasparenza. Facendo un rapido giro nei dintorni della fabbrica, Andreas R. indica una serie di case in legno del circondario, indicandole come opera della sua azienda: essi hanno conquistato la quasi totalità del mercato edilizio estone, che certo non è un paese sovrappopolato, ed è quindi naturale che il rapporto tra costruttore e cliente sia in forma diretta, praticamente basato sul passaparola tra vicini.

Ecco alcuni dettagli tecnici dell'offerta Norges Hus.

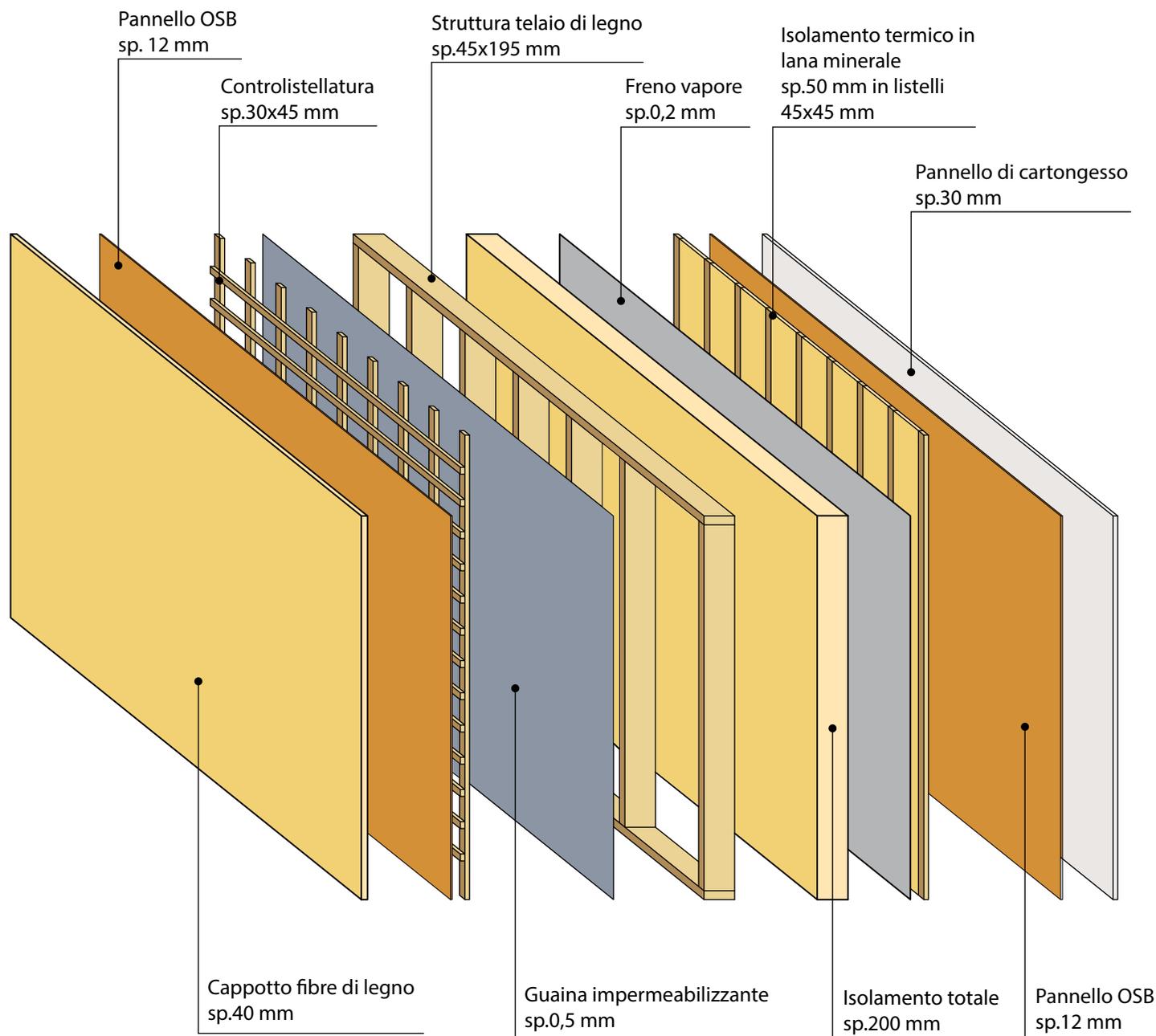
La tecnica costruttiva in legno in cui è specializzata quest'azienda è quella del sistema a telaio con parete sandwich coibentata, la cui stratigrafia si presenta in questo modo:

- Cappotto composto da pannelli in fibra di legno spessore 40 mm per intonaco esterno;
- Pannello OSB spessore 12 mm;
- Camera di termoventilazione;
- Controlistellatura di legno spessore 30x45 mm;
- Guaina impermeabilizzante 0,5 mm Riwega USB Wall 85;
- Struttura in montanti di legno C24 spessore 45x195 mm h.250-270 cm;
- Isolamento termico totale spessore 200 mm;
- Freno vapore spessore 0,2 mm;
- Listello da 45x45 mm;
- Isolamento termico in lana minerale sp. 50 mm inserita in listelli 45x45 mm (intercapedine per impianti elettrici e idraulici)
- Pannello OSB spessore 12 mm;

- Pannello in cartongesso.

Lo spessore totale della parete si aggira attorno ai 42 cm, mentre il valore della trasmittanza termica della componente varia da $U=0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ a $U=0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$: questo perchè la tecnologia usata dall'azienda studia l'adattamento delle caratteristiche edilizie alla tipologia di clima, quindi modifiche nella finitura esterna dell'edificio possono determinare cambiamenti nel comportamento dell'involucro. L'obiettivo dell'azienda è chiaramente quello del risparmio energetico, quindi vengono pensate soluzioni atte a garantire la minor dispersione possibile di energia.

Immagine 4.10 - Spaccato assometrico della struttura della parete Norges Hus.



Il successo dell'espansione dell'azienda consiste nel processo di produzione perfettamente razionalizzato: dal progetto preliminare all'esecutivo, fino alla fornitura del materiale al cliente, grezzo o con servizio di pre-montaggio o montaggio in cantiere, ogni passo viene programmato e organizzato in modo da impostare un rapporto più trasparente possibile con la clientela.

Di norma la NorgesHus fornisce alcuni modelli di progetto già pronti al cliente, visionabili sul sito <https://www.norgeshus.eu/>: nel sito si può anche fare un rapporto di paragone dei costi grazie ai preventivi pubblicati. La politica dell'azienda lascia poco spazio alla creazione di progetti su misura, ma in alcuni casi il progetto può essere concordato insieme al cliente e a un progettista. L'ottica di perfetta organizzazione dell'azienda si basa sulla possibilità per il cliente di monitorare ogni passo della costruzione nel dettaglio, dal disegno all'analisi strutturale fino alla possibilità di visitare lo stabilimento per rendersi conto del lavoro di produzione dietro agli elementi costruttivi, compresa la tecnica di montaggio delle pareti, del tetto e del solaio.

La possibilità di coinvolgere il cliente nella costruzione della propria casa è ciò che rende la Norges Hus così popolare in Estonia. Di seguito alcune immagini dello stabilimento principale a nord di Tallinn e di alcune costruzioni realizzate nella stessa area circostante la fabbrica.

Immagine 4.11 - Immagini della visita allo stabilimento della Norges Hus in Estoni: (a), (b), (c), (d) e (e).



(a) Immagine di tavole accatastate e numerate per facilitare il montaggio una volta spedite e arrivate a destinazione.



(b) Parete intelaiata in fase di montaggio in attesa di essere terminata per il trasporto in cantiere. Le pareti pre-montate arrivano in cantiere dove vengono unite al solaio controterra e completate con i serramenti: i muri interi di edifici vengono raggruppati dentro a dei container e spediti sul sito, anche in cantieri esteri.

(b)

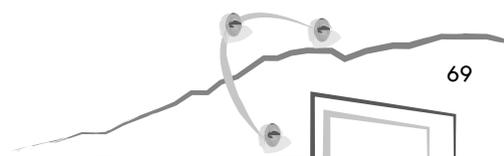
(a)

(d)



(c) e (d) Vista dall'interno dello stabilimento nei sobborghi di Tallinn, in cui vediamo alcune delle attrezzature addette alla produzione dei componenti.

(c)





(e) Vista esterna di una delle case in legno prefabbricate costruite dall'azienda nell'area limitrofa allo stabilimento.

4.9.2 Wolf Haus wooden houses: la scelta di abitare il legno

Ceva, 25 Ottobre 2018 - Info Day Wolf Haus

In occasione dell'apertura al pubblico di un cantiere Wolf Haus a Ceva, in provincia di Cuneo, viene offerta la possibilità di conoscere meglio il lavoro di questa azienda. La Wolf Haus è una realtà ben radicata nel panorama dell'architettura in legno prefabbricato: vanta già 50 anni di esperienza nel settore, a partire dalla sua nascita in Austria, e una notevole rete di espansione in tutto il mondo. Con una media di 11.000 strutture realizzate all'anno, 1.000 delle quali residenze, e più di 30 sedi in tutto il mondo, la Wolf Haus si guadagna un posto di rilievo tra i produttori di architettura in legno.

L'approccio progettuale dell'azienda è caratterizzato fin dalle prime fasi da un pensiero sostenibile, in quanto l'attenzione si focalizza principalmente sul risparmio energetico, nel rispetto delle condizioni climatiche dell'area di progetto e con una profonda conoscenza delle interazioni tra il clima e i materiali usati: il principio base da seguire è quello della progettazione strategica dell'involucro, che deve essere il primo elemento tecnologico di ottimizzazione, compensato solo in parte dall'impianto.

Secondo l'idea Wolf Haus, i due elementi fondamentali per consentire una perfetta efficienza dell'involucro risiedono nell'attenzione per l'orientamento solare - il primo aspetto efficace nel guadagno energetico è la corretta progettazione degli ombreggiamenti - e per la forma dell'edificio, in quanto in essa risiede l'efficacia del contenimento delle dispersioni: entrambi questi fattori sono da sempre radicati nella progettazione, e sono elementi fondamentali nella tradizione costruttiva da tenere in stretta considerazione.

Per quanto riguarda l'attenzione ai materiali, è fondamentale anche saperne sfruttare le diverse proprietà con il corretto accostamento reciproco stratigrafico: l'ambiente interno e quello esterno devono poter comunicare il più lentamente possibile, e quindi per questo il progetto dell'involucro Wolf viene condotto tramite l'accostamento di materiali come il legno e gli isolanti che hanno un basso indice di conducibilità del calore.

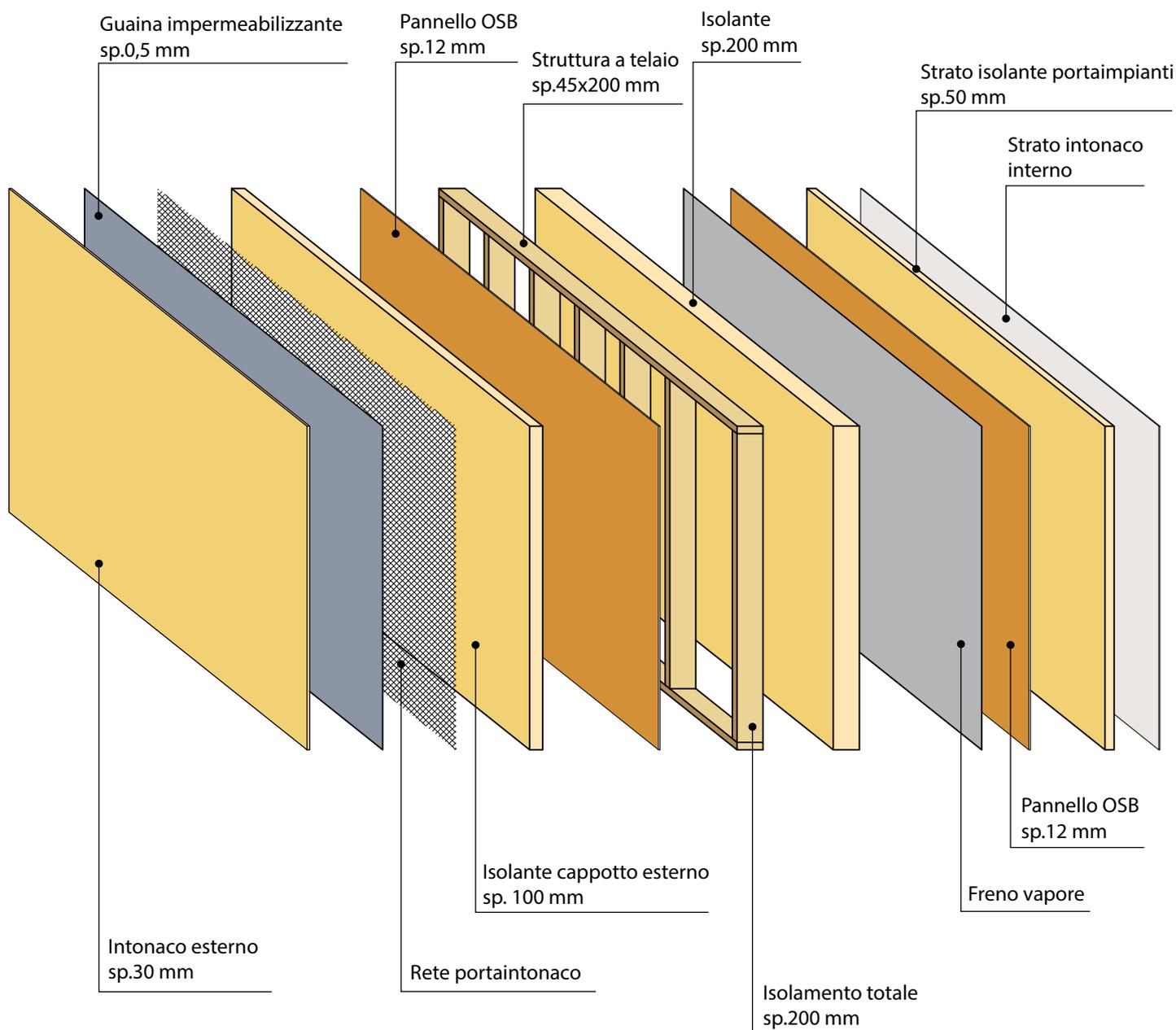
Il tipo di materia prima prescelto dall'azienda è il legname derivante da abete rosso: esso è molto diffuso in natura e viene prelevato dalle riserve forestali austriache destinate all'uso edilizio; autoriproducendosi nell'arco di 20 anni, esso rappresenta una fonte quasi inesauribile. Essendo una pianta che nasce "dritta", facilita l'aspetto produttivo, ed è caratterizzata anche da buona elasticità e da dimensioni ottimali.

L'azienda esegue la costruzione principalmente usando il modulo libero, essenzialmente su sistema a telaio con modularità nelle misure degli interassi tra pilastri. L'offerta del progetto è industrializzata, le offerte si possono scegliere tra i circa 40 modelli del catalogo, anche andando sul sito <https://www.wolfhaus.org/it/>, ma è stato analizzato che in almeno il 70% dei casi il cliente richiede delle modifiche.

Anche la produzione è industrializzata: il 70 % del processo viene eseguito in stabilimento, poichè la lavorazione risulta più precisa per il fatto che non c'è interferenza con gli agenti esterni. Un elemento che ad esempio viene assemblato già in fabbrica è l'infisso, per evitare che si vengano a creare ponti termici durante la fase di montaggio in cantiere. La costruzione della casa Wolf ha quindi in sé un concetto di progettualità per ogni momento del suo ciclo di vita: in media un cantiere dell'azienda richiede un mese per la definizione del progetto e dai quattro ai cinque mesi per la costruzione.

Esempio di stratigrafia della parete di una casa in legno Wolfhaus:

Immagine 4.12 - Spaccato assonometrico della parete Wolf Haus Mega Wand, visionabile nel catalogo dell'azienda.



Il valore della trasmittanza termica di una parete così composta è $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, come nel caso della parete Norges Hus, quindi per ottenere un'efficienza termica così elevata, sfruttabile addirittura in un clima molto più rigido di quello della nostra penisola, l'accostamento dei diversi materiali isolanti al legno risulta fondamentale. La Wolf in questo utilizza la tecnica austriaca consolidata da almeno 50 anni.

Per quanto riguarda le caratteristiche energetiche dell'edificio Wolf, esso si inserisce nella categoria delle case Energy Plus, che descrive edifici in grado di produrre più energia di quella che consumata. Questo risultato può essere raggiunto grazie all'azione combinata dell'involucro e dell'utilizzo di impianti particolarmente efficienti, che determinano alla fine di un anno solare un bilancio energetico pari a 0 nell'edificio: il raggiungimento di tali standard è un traguardo importante soprattutto in considerazione del fatto che secondo la Direttiva 2020/20, a partire dal 1 Gennaio 2021 tutte le case costruite dopo quella data dovranno ridurre del 20% le emissioni di gas, il fabbisogno energetico e aumentare del 20% l'utilizzo di energia derivante da fonti rinnovabili. Costruendo già i nuovi edifici secondo questi criteri si evita la svalutazione postuma degli edifici di costruzione precedente a quella data.

Gli impianti scelti dall'azienda per un ambiente residenziale di categoria EnergyPlus sono: impianti ad aria, che permettono il risparmio soprattutto per il fatto di non essere a ciclo continuo, e si rivelano molto validi soprattutto all'interno dei climi più caldi; impianti a pavimento, molto efficaci nei climi freddi e adatti per il consumo su base annuale.

Ovviamente questi impianti non possono coprire il 100% del fabbisogno, poichè ad esempio un impianto ad aria, che utilizza il fotovoltaico, non è in grado di soddisfare il fabbisogno energetico nelle ore senza copertura solare, e necessita quindi dell'integrazione di un impianto tradizionale. Il grosso del lavoro di contenimento delle dispersioni è in ogni caso svolto dall'involucro, che per inerzia rilascia il calore gradualmente nel corso della giornata e permette l'attivazione dell'impianto solo ad un dato momento del giorno.

Il grosso vantaggio della filosofia costruttiva Wolf Haus è quindi quello di prevedere una progettazione a 360° che non considera esclusivamente l'aspetto costruttivo ma guida i fruitori anche attraverso le scelte dell'impianto che vengono progettate sulla base di calcoli su misura condotti su ogni singolo edificio.

Infine, la WolfHaus fornicesi occupa anche di fornire misure di elevata efficacia per l'aspetto antisismico e di resistenza al fuoco dell'edificio. L'antisismicità è garantita dall'ancoraggio alla platea in cemento armato tramite delle staffe poste in corrispondenza sia degli elementi orizzontali che verticali (quindi in corrispondenza dei montanti e del corrente inferiore), e fissate tramite dei fori. La resistenza al fuoco è invece dovuta allo strato di cappotto interno che permette di ritardare l'attacco della struttura portante da parte delle fiamme, facendo resistere l'edificio senza crolli della struttura fino a circa due ore di incendio, dando così la possibilità di mettere in salvo eventuali occupanti e intervenire nello spegnimento: la certificazione corrispondente di resistenza al fuoco infatti è RAE 120 (ovvero 120 i minuti di resistenza della struttura).

Di seguito, alcune immagini del cantiere visitato a Ceva di una casa WolfHaus costruita con tecnologia a telaio in legno per il piano superiore, ancorata al piano terra in cemento armato.



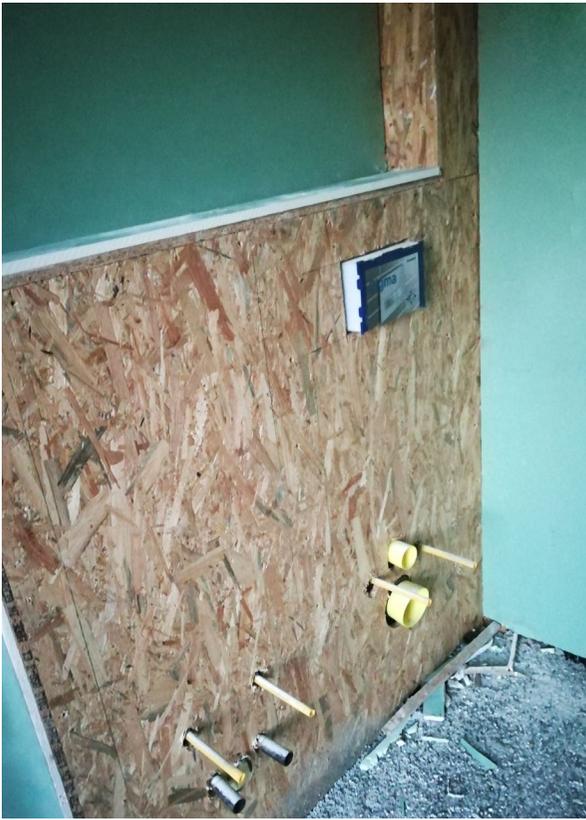
Immagine 4.13 - Vista del cantiere in costruzione: viste esterne (a) e (b), e interne (c), (d) e (e).



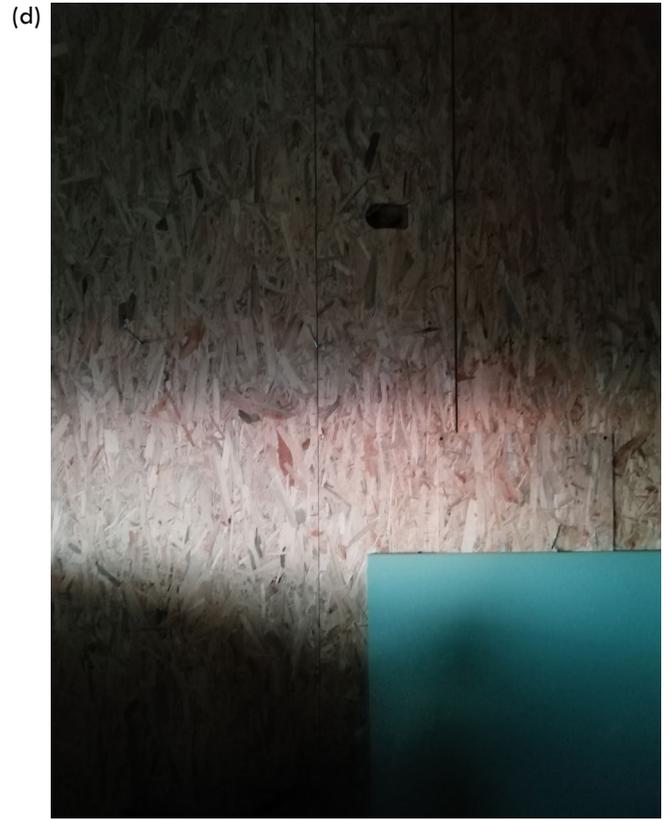
(a) Vista del piano primo con platea di fondazione costruita in calcestruzzo armato al fine di isolare la struttura in legno, sensibile agli attacchi dell'umidità e di agenti batterici, e il terreno.

(b) Vista dell'attacco tra il piano terra, con struttura in cemento armato e platea di fondazione in vista, e il primo piano in legno con tecnologia Wolf.





(c)



(d)



(e)

NOTE

1. Marco Vitruvio Pollione, *“De Architectura”*, Libro II, 15 a.C.
2. Konrad Wachsmann, *“Una svolta nelle costruzioni”*, Il Saggiatore, Milano, 1960.
- 3.

LA NORMATIVA SULLA SOSTENIBILITÀ

Dall'individuazione del problema fino alla sua esplicitazione a livello internazionale nella prima metà degli anni 80, l'argomento della sostenibilità nei suoi diversi aspetti (ambientale, economico, sociale) è sempre stato affrontato con un lavoro d'equipe dagli Stati membri dell'Unione Europea, che si sono occupati di determinare dei parametri univoci e condivisibili per regolamentare una linea d'azione comune.

5.1 IL CEN

L'attività di normazione è portata avanti dal CEN - Comitato Europeo di Normazione, ovvero l'ente normativo che si occupa di armonizzare e produrre norme tecniche (EN) all'interno dell'UE, collaborando con gli altri enti normativi nazionali e sovranazionali, quali ad esempio l'ISO - Organizzazione Internazionale per la Normazione.

Fondato nel 1961, lavora anche in accordo con l'EFTA - Associazione Europea di Libero Scambio, che si occupa di favorire il libero scambio, la sicurezza dei lavoratori e dei consumatori, la protezione dell'ambiente e molto altro. Si occupa di normalizzare tutti i settori eccetto quello elettronico e delle telecomunicazioni. Inoltre, collaborando con l'ISO, ha lo scopo di facilitare gli scambi di beni e servizi tra paesi europei, armonizzando le rispettive politiche nazionali e cooperando con le organizzazioni europee interessate alla normalizzazione.

Gli standard europei prodotti dal CEN sono adottati dagli enti dei singoli paesi che li adottano, per esempio nel caso dell'Italia l'UNI.

5.2 Standard europei nell'edilizia

Nel caso del settore edilizio, la necessità di fissare dei parametri a livello europeo per la riduzione dell'impatto ambientale di tale settore, la situazione è stata definita nel 2004 tramite il Mandato M/350 al CEN. Per questa attività di normazione è stato istituito il Comitato Tecnico TC 350, tutt'ora attivo, dal cui lavoro sono nate diverse norme con la funzione di regolare gli aspetti della sostenibilità sia a livello di singolo prodotto (quindi, come spiegato nel capitolo 1, materiali o manufatti) sia di intero organismo edilizio. Tutte le norme scaturite da questo lavoro sono fondate sul metodo di analisi dell'LCA - Life Cycle Assessment (anche di questo si era parlato nel primo capitolo, paragrafo 1.3) e vengono poi adeguate a livello nazionale da ogni paese che valuta il problema magari attraverso punteggi o indicatori differenti.

La descrizione del Programma del CEN/TC 350 è riportata nello schema 4.1, riprodotto nella pagina successiva, al fine di rendere più chiaro il quadro normativo di cui si sta parlando.

Il primo programma scaturito dal mandato del 2004 è stato successivamente implementato includendo molteplici approcci di valutazione e comunicazione della normativa. Già nel 2013, con la raccomandazione 2013/179/EU, poiché dopo la prima norma iniziavano a nascere molteplici approcci diversi alla valutazione delle prestazioni ambientali di prodotti e organizzazioni, si è arrivati a promuovere quelli basati sull'impronta ambientale, ovvero i PEF - Product Environmental Footprint e OEF - Organisation Environmental Footprint, per comunicare o misurare la suddetta impronta ambientale, sempre conservando l'approccio LCA.

Schema 5.1 - Programma di sviluppo del CEN/TC 350.

Tratto dall'articolo "Le norme europee sulla sostenibilità edilizia: dal produttore al consumatore", di Mario Grosso, Dossier della rivista U&C, Maggio 2018.

Frame- work level	EN 15643-1 Sustainability Assessment of Buildings - General Framework			Technical Characteristics
	EN 15643-2 Frame- work for Environmental Performance of Buildings	EN 15643-3 Frame- work for Social Performance of Buildings	EN 15643-4 Frame- work for Economic Performance of Buildings	Service Life Planning General Principles (ISO 15686-1)
	EN 15643-5 Framework for Sustainability Assessment of Civil Engineering Works			
Works level	EN 15978 Environmental Perf. of Buildings	EN 16309 Social Performance of Buildings	EN 16627 Economic Performance of Buildings	CEN Standards on Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)
	CEN/TR 17005 Additional environmental impact categories and indicators			
	Pr Sustainability Assessment of Civil Engineering Works			
Product level	EN 15804 Environmental Product Declaration			Service Life Prediction (ISO 15686-2) Feedback from Practice (ISO 15686-7) Reference Service Life (ISO 15686-8)
	CEN/TR 17005 Guidance to EN 15804			
	EN 15942 Communication format BtoB			
	CEN/TR 15941 Generic data			

Già in precedenza la CE - Commissione Europea aveva esplicitato al Parlamento Europeo, tramite la comunicazione "A European Consumer Agenda - Boosting confidence and growth" la necessità di far conoscere ai consumatori l'impatto ambientale che i prodotti in commercio hanno durante il loro ciclo di vita, e di supportarli nelle loro scelte di acquisto, poichè se non guidati correttamente, i consumatori medi possono cadere in inganno e non fare delle scelte effettivamente sostenibili. Nello stesso documento la CE si impegnava a sviluppare essa stessa metodologie di base per la valutazione del ciclo di vita di prodotti e organizzazioni, che servissero a comunicare in maniera affidabile con i consumatori.

Dal 2015 viene quindi perfezionato il mandato M/350, in modo da integrare all'interno del programma sviluppato l'approccio PEF. L'integrazione tra l'approccio CEN e PEF è stata già portata a termine per alcune voci, quali i prodotti da costruzione, in particolar modo nella revisione della norma EN 15804, che si basa sull'uso dell'EPD - Environmental Product Declaration; la norma EN 15978, collegata alla prima ma riguardante l'intero edificio, è invece ancora in corso di revisione.

Le principali modifiche al testo della norma 15804, riguardante il livello del singolo prodotto, riguardano l'introduzione della terminologia di calcolo PEF nella formula per determinare gli impatti di fine vita del prodotto, aggiunta di un Annex con indicazione dei requisiti PEF, inclusione obbligatoria nell'EPD di dati d'inventario relativi alle modifiche inerenti il problema della CO₂, aggiunta di informazioni e indicatori, per categoria di impatto, più specifici nella scarsità idrica e GWP-Global Warming Potential più dettagliato.

L'integrazione dei due approcci, CEN e PEF, ha avuto bisogno di un raggiungimento di un compromesso poiché i due metodi non risultano compatibili al 100%.

5.3 La norma EN 15978

Il proposito di questa norma è quello di definire una metodologia di calcolo per la valutazione della prestazione a livello ambientale sia di edifici preesistenti che di nuova costruzione. Essa fa parte di un'insieme di norme, "Technical Specification and Technical Reports for the assessment of the environmental performance of building", che insieme danno supporto alla quantificazione del contributo degli edifici stimati nello sviluppo e nelle costruzioni sostenibili.

L'efficienza ambientale dell'edificio è solo uno degli aspetti della sostenibilità: anche i punti di vista economico e sociale sono degli aspetti che dovrebbero essere inclusi nel procedimento di stima della sostenibilità delle costruzioni.

La stima della sostenibilità di un organismo edilizio si basa sulla valutazione dei tre ambiti ambientale, economico e sociale: quando viene progettato un edificio, il progettista deve procedere mettendo continuamente a confronto i requisiti e le prescrizioni previste dalla normativa europea e le richieste del cliente, al fine di trovare un criterio di conciliazione che permetta di rispettare la performance richiesta. I requisiti di sostenibilità determinati dalla normativa riguardano in primis gli aspetti tecnici delle opere, e in secondo luogo la loro funzionalità: entrambi devono essere tarati in modo oggettivo su degli indicatori, che la norma in questione si prefigge di trovare.

In questo standard Europeo la valutazione dei requisiti è basata su un approccio di valutazione dell'intero ciclo di vita. Le richieste generali per la valutazione della sostenibilità delle costruzioni sono descritte nella norma EN 15643-1, che si occupa di prescrivere il quadro generico.

L'utilizzo del quadro di stima ha come scopo quello di accompagnare le seguenti azioni:

- Paragonare l'efficienza ambientale di differenti opzioni di design;
- Paragonare le conseguenze di rinnovamento, ricostruzione o ristrutturazione di edifici esistenti;
- Identificare il potenziale per il potenziamento delle performance ambientali;
- Stimare la performance dell'edificio nel rispetto dei requisiti normativi;
- Documentare l'efficienza ambientale dell'edificio in uso tramite atti di certificazione, etichettatura e marketing;
- Supportare lo sviluppo di nuove strategie.

L'oggetto della stima è quindi l'edificio, compreso delle fondazioni e del rapporto tra l'ambiente interno e quello esterno che caratterizza il sito. Per fare una valutazione completa e chiara di un progetto nel rispetto delle norme si deve dare una definizione esaustiva sia di quello che si intende per sito di progetto, sia di quanto viene considerato come appartenente al contesto e alle infrastrutture che interagiscono con l'edificio.

In primo luogo quindi si definisce il sito, ovvero lo spazio fisico di terreno occupato dal terreno. Se la valutazione è limitata a una parte dell'edificio o a una parte del ciclo di vita, ad esempio, bisogna specificarlo e riportarne le ragioni, poichè la norma definisce solo una procedura standard in cui si considera l'elemento nel suo complesso.

Successivamente, ci si occupa della delimitazione del perimetro: l'impatto ambientale dell'edificio non tiene conto di tutto ciò che sta al di fuori del sito e della sua sistemazione esterna, come ad esempio infrastrutture per la comunicazione o altre costruzioni, perchè se si dovessero considerare tutti questi fattori si andrebbe a fare una valutazione di un impatto ambientale ben più ampio di quello strettamente limitato al corpo edilizio in questione, che è invece ciò di cui si occupa questo Standard Europeo preso in esame. L'oggetto della stima dovrebbe essere descritto in relazione alle sue caratteristiche fisiche e legate al tempo, alla durata della vita prevista.

In quest'ottica si parla dell'Equivalente funzionale, ovvero la rappresentazione degli attributi tecnici e funzionali richiesti nella prestazione dell'edificio: in questo modo le caratteristiche dell'edificio vengono razionalizzate, in una descrizione ridotta al minimo dell'oggetto della stima.

L'equivalente funzionale dovrebbe includere nella descrizione:

- la tipologia di edificio (se si tratta di un ufficio, di un'industria e così via);
- i requisiti tecnici e funzionali di maggior importanza, sia richiesti da regolamento che dal cliente;
- i vari usi previsti nel tempo, quindi ad esempio se e per quante ore è prevista l'occupazione dell'ambiente;
- la durata della vita richiesta.

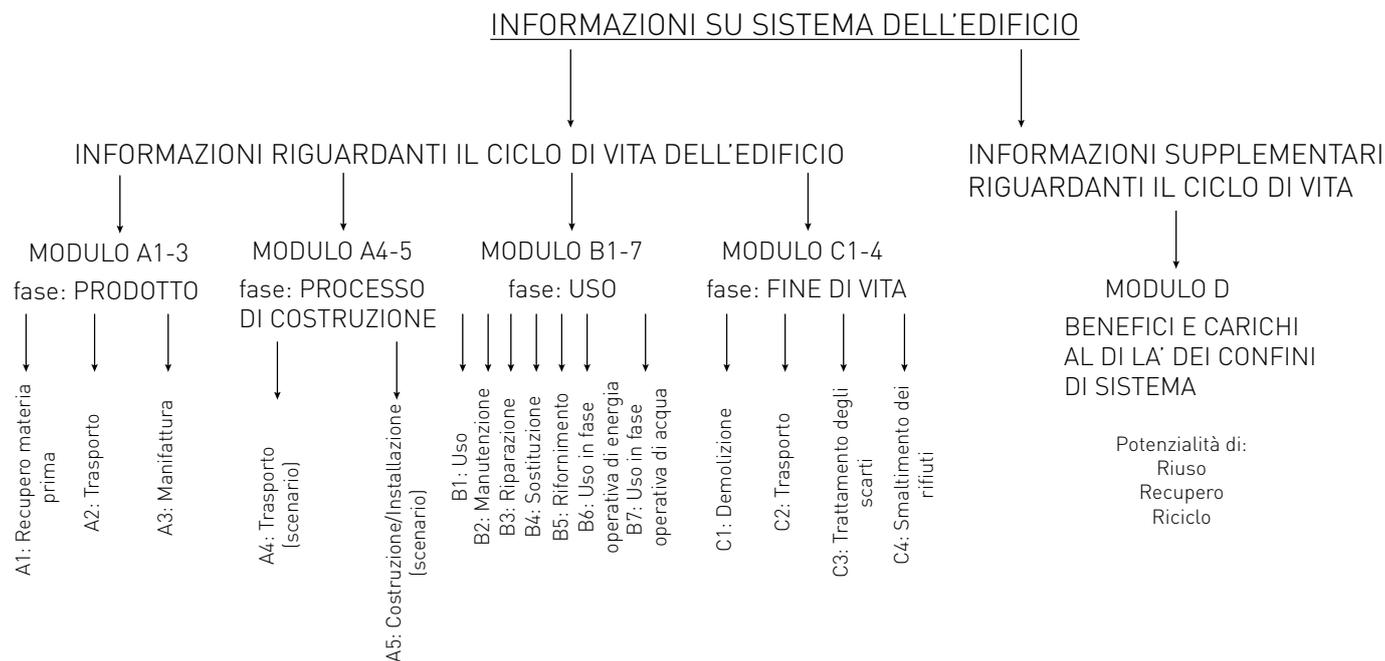
Anche altre informazioni specifiche riguardanti l'esposizione a fattori climatici o ad altre condizioni riguardanti l'immediato intorno dell'architettura in analisi possono essere rilevanti nella descrizione dell'equivalente funzionale.

I Confini di Sistema determinano i processi tenuti in conto per compiere la valutazione. Per fare una stima della prestazione di un edificio di nuova costruzione, bisogna tenere in considerazione l'intero ciclo di vita, e quindi occorre determinare correttamente i limiti entro i quali si estende il sistema edificio di cui valutare l'impatto.

Per delimitare correttamente i confini di sistema si può seguire il "Principio di modularità", cioè la divisione per moduli all'interno dei quali vengono raggruppate le diverse fasi del ciclo di vita di ciascun edificio: quando un processo influenza l'impatto sul contesto circostante di un dato elemento, esso viene rintracciato all'interno del suo modulo di appartenenza inserito nei processi di calcolo del valore impattante di tale edificio, secondo quelli che sono i processi di stima prescritti dalle norme.

Nello schema seguente è illustrato il principio di modularità: per leggerlo in maniera corretta, è necessario sapere che i moduli che vanno da A1 a C4 si riferiscono alla valutazione dell'aspetto ambientali o dei processi più o meno direttamente connessi con esso, mentre il modulo D riguarda i benefici relativi all'energia esportata e ai materiali riciclati, ai prodotti derivanti dal riuso e al riciclo e al recupero di energie che può essere effettuato all'interno dei confini di sistema, nella fase che segue allo smaltimento dei rifiuti derivanti dalla fase finale del ciclo di vita. Il limite da considerare per la fase B6 dovrebbe invece includere l'energia usata dai sistemi tecnici integrati nell'edificio durante la fase costruttiva.

Schema 5.2- Spiegazione delle informazioni modulari da prendere in considerazione nelle differenti fasi della stima dell'edificio. Schema rielaborato dall'articolo "Le norme europee sulla sostenibilità edilizia: dal produttore al consumatore", di Mario Grosso, Dossier della rivista U&C, Maggio 2018



Un edificio può sia servirsi di energia importata per supplire ai suoi bisogni (se non basta quella da lui prodotta), sia generarla ed esportarla per farla utilizzare da un altro edificio o renderla disponibile per una rete di distribuzione dell'energia, ad esempio quella elettrica^{4.1}.

L'uso di energia da parte dell'edificio si riferisce principalmente ad attività e processi, quindi la sua performance energetica si calcola considerando il consumo attuale annuale di energia utilizzata nei differenti bisogni associati all'abitazione/fruizione, vale a dire i bisogni legati al riscaldamento, all'utilizzo di acqua calda per usi domestici, al condizionamento e umidificazione/deumidificazione dell'aria, alla ventilazione, all'illuminazione e all'utilizzo di energia ausiliaria per sfruttare le pompe, il controllo e l'automatizzazione degli impianti.

Nella valutazione della performance energetica, si assume per semplicità che l'energia generata all'interno del sito soddisfi prima di tutto la richiesta energia dell'edificio, e poi la domanda non correlata ai bisogni dello stesso (quindi anche quello che riguarda gli apporti necessari all'esterno. Se si vuole fare una stima dell'energia esportata non si può dedurre il quantitativo dalla somma di energia richiesta internamente all'edificio, ma i benefici sull'ambiente e i carichi che derivano dall'energia esportata devono essere considerati in maniera aggiuntiva all'interno del modulo D.

Da ultimo, nella spiegazione della norma, è utile parlare degli indicatori, ovvero ciò che rappresenta quantitativamente gli impatti ambientali dell'oggetto della valutazione. Essi sono molti e legati a diversi aspetti del ciclo di vita. La norma tuttavia non presenta alcuna indicazione per l'aggregazione di ogni singolo indicatore.

Nella pagina seguente sono riportate una serie di tabelle che illustrano alcuni degli indicatori, suddivisi nelle loro tematiche di valutazione, scelti per rappresentare le modalità di valutazione della norma EN 15978 poichè per essi esiste un metodo di calcolo concordato e ufficializzato all'interno dello Standard Europeo.

Tabelle 5.1 e 5.2- Indicatori di impatto ambientale
5.1

Indicatori di impatto ambientale

Impact Category	Indicator	Unit (expressed per functional unit or per declared unit)
Depletion of abiotic resources-mineral elements	Abiotic depletion potential (ADP-elements) for non-fossil resources ^a	kg Sb eq.
Depletion of abiotic resources-fossil fuels	Abiotic depletion potential (ADP-fossil fuels) for fossil resources ^a	MJ, net calorific value
Acidification	Accumulated Exceedance, Acidification potential AP _i	mol H+ eq.
Ozone Depletion	Depletion potential of the stratospheric ozone layer, ODP _i	kg CFC 11 eq.
Global Warming total ^b	Global warming potential, GWP _i	kg CO ₂ eq.
GWP from fossil carbon emissions and removals		kg CO ₂ eq.
GWP from biogenic carbon emissions and removals	GWP biogenic	kg CO ₂ eq.
GWP from land use and land use transformation emissions and removals	GWP land use and land use transformation	kg CO ₂ eq.
Eutrophication terrestrial	Accumulated Exceedance, Eutrophication potential, EP terrestrial;	mol N eq.
Eutrophication aquatic freshwater	Fraction of nutrients reaching freshwater end compartment Eutrophication potential, EP freshwater	kg PO ₄ eq.
Eutrophication aquatic marine	Fraction of nutrients reaching freshwater end compartment Eutrophication potential, EP marine	kg N eq.
Photochemical ozone creation	Formation potential of tropospheric ozone, POCP _i	kg Ethene eq.
Water scarcity	User deprivation potential (deprivation-weighted water consumption)	m ³ world eq.deprived

^a The abiotic depletion potential is calculated and declared in two different indicators:
 - ADP-elements: include all non-renewable, abiotic material resources (i.e. excepting fossil resources);
 - ADP -fossil fuels include all fossil resources. If specific ADP fossil fuel values are known, these shall be used; any such use shall be stated.

^b The total global warming potential (GWP) is the sum of (see clause xxxxx)
 - GWP fossil and
 - GWP biogenic
 - GWP land use and land use change

^c It is permitted to omit GWP from land use and land use transformation emissions and removals as separate information if their contribution is < 5% of GWP total.

Tabella 5.3- Indicatori di uso delle risorse

Indicatori descrittivi dell'uso delle risorse

Indicator	Unit (expressed per functional unit or per declared unit)
Use of renewable primary energy excluding renewable primary energy resources used as raw materials	MJ, net calorific value
Use of renewable primary energy resources used as raw materials	MJ, net calorific value
Total use of renewable primary energy resources (as raw materials)	MJ, net calorific value
Use of non-renewable primary energy excluding non-renewable primary energy resources used as raw materials	MJ, net calorific value
Use of non-renewable primary energy resources used as raw materials	MJ, net calorific value
Total use of non-renewable primary energy resources (primary energy and primary energy resources used as raw materials)	MJ, net calorific value
Use of secondary material	kg
Use of renewable secondary fuels	MJ, net calorific value
Use of non-renewable secondary fuels	MJ, net calorific value
Net use of fresh water	m ³

Tabelle 5.4 e 5.5 - Indicatori dell'impatto ambientale dei rifiuti

5.4

Indicatori che descrivono categorie di rifiuti

Indicator	Unit
Hazardous waste disposed	kg
Non-hazardous waste disposed	kg
Radioactive waste disposed	kg

5.2

Indicatori di impatto ambientale aggiuntivi

Impact category	Indicator	Unit (expressed per functional unit or per declared unit)
Human toxicity, cancer effects	Potential Comparative Toxic Unit for humans	CTUh
Human toxicity, non-cancer effects	Potential Comparative Toxic Unit for humans	CTUh
Eco-toxicity (freshwater)	Potential Comparative Toxic Unit for ecosystems	CTUe
Land use related impacts/ Soil quality	Potential soil quality index	dimensionless
Particulate Matter emissions	Potential incidence of disease due to PM emissions	Incidence of disease
Ionizing radiation, human health	Human exposure efficiency relative to U235	kBq U235 eq.

5.5

Indicatori che i flussi di output emessi dal sistema

Indicator	Unit
Components for re-use	kg
Materials for recycling	kg
Materials for energy recovery (not being waste incineration)	kg
Exported energy	MJ for each energy carrier

Tabelle tratte dall'articolo "Le norme europee sulla sostenibilità edilizia: dal produttore al consumatore", di Mario Grosso, Dossier della rivista U&C, Maggio 2018

5.4 Il PEF

Il Product Environmental Footprint è un metodo di valutazione delle prestazioni di un materiale o un prodotto per tutta la durata del suo ciclo di vita e, come gli altri approcci utilizzati, ha lo scopo di ridurre l'impatto sull'ambiente, durante ogni fase della vita dei prodotti in questione. Vi sono diversi criteri per questa valutazione.

L'Unità di Analisi di uno studio PEF, che è fondamentalmente la prima operazione che porterà poi a interpretazione, valutazione e certificazione dei dati, è definita tramite gli aspetti di:

- funzione e/o servizio fornita;
- estensione della funzione/servizio;
- livello di qualità atteso;
- durata o aspettativa di vita del prodotto;
- Il codice del prodotto (NACE).

La norma ISO 14040:2006 determina che vengano analizzate tutte le fasi del ciclo di vita di un prodotto, e le nomina nel seguente modo: estrazione della materia prima, trasformazioni di processo, produzione, distribuzione, immagazzinamento, utilizzo, trattamento di fine vita.

La valutazione PEF può contenere informazioni su, tra gli altri, i seguenti aspetti:

- dati di fatturazione dei materiali;
- caratteristiche di dissassemblabilità, riciclabilità, potenzialità di recupero o riuso, efficienza di utilizzo delle risorse;
- uso di sostanze nocive nella composizione;
- conferimento in discarica di rifiuti pericolosi/non pericolosi;
- consumi energetici nella fase produttiva;
- Impatti locali specifici, come ad esempio acidificazione, danneggiamento della biodiversità e eutrofizzazione.

I dati di inventario riguardanti gli input/output di tutte le sorgenti, sia materiali che energia, e delle emissioni del prodotto durante il ciclo di vita in aria, acqua e suolo, vengono raccolti nel PURE - Profilo d'uso delle risorse e delle emissioni, ovvero il *life cycle inventory* (inventario del ciclo di vita) della norma ISO 14044:2018. I flussi considerati sono distinti in due tipi: i Flussi Elementari, dove il materiale o l'energia che entrano o escono dal sistema esaminato derivano dall'ambiente, senza alcuna trasformazione né precedente né successiva; i Flussi non-elementari o complessi che considerano tutti i rimanenti input (ad es. elettricità, materiale, processi di tra-

sporto) e output (rifiuti o *by-products*, cioè prodotti secondari derivanti da lavorazioni o processi) di un sistema, che richiedono successive operazioni di flussi di trasformazioni al fine di trasformarli in flussi elementari.

In questo Profilo d'uso devono essere incluse anche altre categorie, quali:

- Acquisizione della materia prima e pre-trasformazione della medesima;
- Ammortamento di beni inventariabili;
- Produzione;
- Distribuzione e immagazzinamento del prodotto;
- Fase di utilizzo;
- Logistica;
- Fine vita.

Tramite la procedura PEF si può fare anche una valutazione della qualità dei dati forniti, basandosi su sei criteri: i primi cinque sono riferiti ai dati, uno al metodo di calcolo. I criteri si riferiscono ai dati cercando di valutare la loro rappresentatività (dal punto di vista tecnologico, geografico e temporale), la loro completezza e trovando un parametro sull'incertezza della valutazione. L'ultimo criterio, che tenta di valutare la correttezza e l'appropriatezza relativa al metodo di calcolo, non è più considerato dal 2016, in quanto è cambiata la modalità di calcolo, che ora prevede una valutazione secondo sei classi, corrispondenti a una scala di valori che va da "povera" a "eccellente", secondo un giudizio perlopiù qualitativo.

Ma come si raccolgono i dati per la valutazione? La sorgente più attendibile deriva dall'intervista di operatori del settore tramite uso di questionari, altrimenti, se non si può usufruire di questo espediente, vengono raccolti i dati dalle banche dati che si utilizzano ad esempio nel metodo LCA, rapporti di aziende e industrie, statistiche governative e così via.

5.5 La metodologia Levels

Nell'agosto del 2017, il JRC - Joint Research Centre, pubblicò il Rapporto Tecnico intitolato "*Level(s)- A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings*", che aveva l'obiettivo di fornire un insieme di indicatori di riferimento e unità di misura comuni, per valutare la prestazione ambientale degli edifici nel corso del loro ciclo di vita.

Nel Rapporto sopracitato era dunque descritto lo schema di riferimento e la metodologia Level(s) viene quindi trovata una via comune a tutti i paesi membri dell'UE, e gli indicatori che entrano a far parte del metodo hanno come scopo comune non solo la prestazione ambientale, ma anche la salute, il comfort, il costo del ciclo di vita e la valutazione dei rischi potenziali di non raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità.

Sebbene nel rapporto si faccia menzione dell'approccio LCA e delle norme CEN/TC 350, il metodo Level(s) si differenzia da queste perché non ha come scopo una determinazione a livello normativo, ma più che altro si prefigge una funzione di supporto ai progettisti, proprietari e tecnici per semplificare la valutazione della sostenibilità ambientale per due tipologie edilizie, quindi quella residenziale e quella degli uffici.

La metodologia Level(s) si struttura in questo modo:

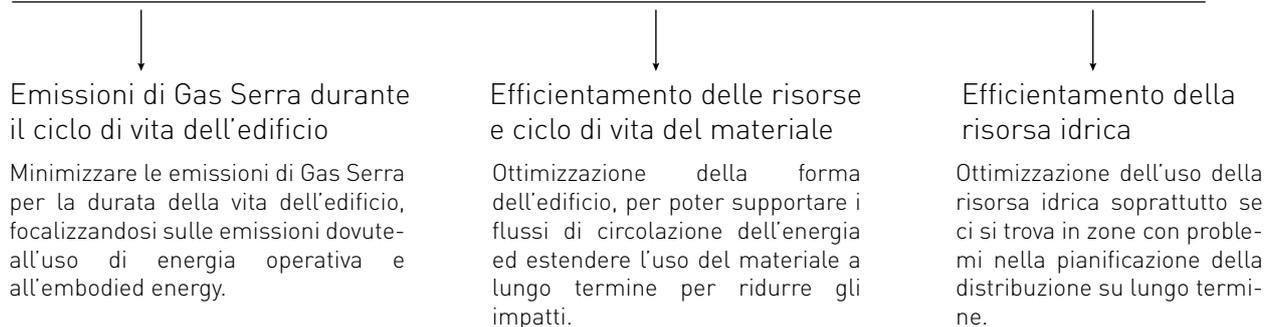
- 6 Macro-obiettivi che riguardano l'energia, l'uso dei materiali e dei rifiuti, acqua e qualità dell'aria indoor;
- 9 Indicatori di riferimento ripartiti tra i principali macro-obiettivi;
- Metodologia LCA semplificata in cui vengono usati strumenti di valutazione dell'LC, 4 relativi a scenari del ciclo di vita e 1 per la raccolta dei dati;
- Metodi di classificazione dei rischi: una check list e un sistema a punteggio che fornisca informazioni sull'affidabilità della valutazione.

La definizione dei macro obiettivi viene eseguita basandosi su tre aree tematiche: performance ambientale per la durata del ciclo di vita, salute e comfort e da ultimo costi, valore e rischio. All'interno di queste tre categorie ve ne sono altre più specifiche riguardanti alcuni aspetti, che vengono illustrate nello schema seguente.

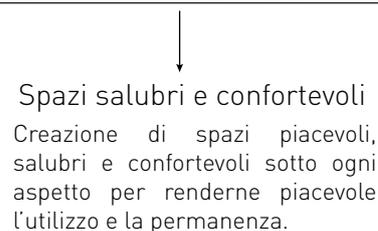
Schema 5.4- Definizione dei Macro-obiettivi.

Schema rielaborato dall'articolo "Le norme europee sulla sostenibilità edilizia: dal produttore al consumatore", di Mario Grosso, Dossier della rivista U&C, Maggio 2018

AREA TEMATICA: PERFORMANCE AMBIENTALE PER LA DURATA DEL CICLO DI VITA



AREA TEMATICA: SALUTE E COMFORT



AREA TEMATICA: COSTO, VALORE E RISCHIO

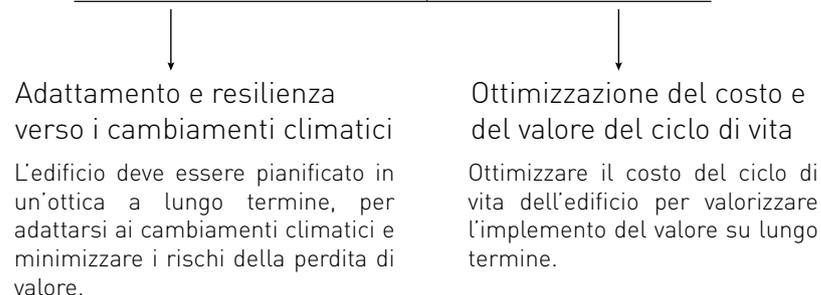


Tabella 5.5- Indicatori e strumenti di supporto per la valutazione dei macro-obiettivi.

Macro obiettivo	Indicatore	Unità di misura
1	1.1. Prestazione energetica in fase d'uso (progetto) 1.1.1. Domanda di energia primaria 1.1.2. Domanda di energia consegnata	kWh/m ² -anno
	1.2. Potenziale di riscaldamento globale nel ciclo di vita	kg CO ₂ eq/m ² -anno
2	2.1. Strumenti LC: schede di materiali	Dati da schede materiali, raggruppati per tipologia
	2.2. Strumenti LC: scenari per aspettative di vita, adattabilità e decostruzione	Dipendente dal livello di valutazione: 1. Aspetti di progetto 2. Valutazione semi-qualitativa 3. Valutazione a base LCA
	2.3. Materiali e scarti da Costruzione e Demolizione (C&D)	kg/m ² (sup. utile tot.)
	2.4. LCA "cradleto-grave"	7 categorie d'impatto ambientale
3	3.1. Consumo totale d'acqua	m ³ /occupante-anno
4	4.1. Qualità dell'aria interna:	4.1.1. Parametri per ventilazione, CO ₂ e umidità 4.1.2. Emissioni inquinanti da prodotti da costruzione e ricambi d'aria esterna
	4.2. Periodi al di fuori del range di comfort termico	% del tempo (ore) fuori dal range di comfort e temperature minime e massime nelle stagioni di riscaldamento e raffrescamento, rispettivamente
5	5.1. Strumenti LC: scenari di previsione per condizioni climatiche future	Scenario 1 : protezione della salute e comfort termico degli occupanti
6		Simulazione dei periodi previsti di discomfort per gli anni 2030 e 2050
	6.1. Costo del ciclo di vita	€/m ² -anno
	6.2. Creazione di valore e fattori di rischio	Punteggio di valutazione dell'affidabilità dei dati

Tabella tratte dall'articolo "Le norme europee sulla sostenibilità edilizia: dal produttore al consumatore", di Mario Grosso, Dossier della rivista U&C, Maggio 2018

Lo schema prevede tre livelli di valutazione della prestazione ambientale, che rappresentano la progressione, in termini di affidabilità e precisione, nella modalità di esecuzione della valutazione. Avendo un grado di precisione sempre maggiore, ciascun livello richiede un grado di competenza e professionalità sempre più alto.

I livelli in questione sono:

- Livello 1 - Valutazione comune: usa un punto di partenza comune per la stima della performance;
- Livello 2 - Valutazione comparativa: offre la possibilità di comparare l'edificio oggetto di valutazione con un altro equivalente dal punto di vista funzionale;
- Livello 3 - Valutazione ottimizzata: scende nel dettaglio del calcolo, in un sito specifico, modellando scenari futuri, eliminando lo stacco tra il design e la performance attuale.

5.6 La valutazione dell'Impatto Ambientale

Vi sono delle procedure regolamentate nate per soddisfare in modo oggettivo i criteri di sostenibilità delineati di comune accordo tra stati, per mezzo di commissioni scelte, sia a livello europeo che internazionale. Uno di questi è detto Ecobilancio, un metodo di analisi finalizzato a individuare degli indici valutativi, detti indicatori ambientali, per ogni singola fase di vita di un prodotto.

Un primo approccio destinato a valutare quantitativamente il carico ambientale di determinate operazioni è quello della V.I.A. - Valutazione dell'Impatto Ambientale: essa nasce per la valutazione degli effetti di interventi condotti a larga scala su territorio, alla fine degli anni '80 per adeguarsi alle nuove norme che in quegli anni venivano promulgate in materia di interventi eco-compatibili. Per rendere il metodo standardizzato, nel corso del tempo si sono dovuti adottare dei parametri che quantificassero in maniera univoca gli effetti complessi delle azioni prese in considerazione. In alcuni paesi si è fatto ricorso, ad esempio, alla quantificazione dell'energia necessaria per produrre un dato elemento, espressa in kcal o joule, che rappresenta la somma della componente energetica impiegata per eseguire ciascuno dei processi che conducono dalla materia prima al prodotto finito.

Di conseguenza, il bilancio energetico dà la possibilità di valutare, in termini di livelli di biossido di carbonio rilasciati nell'atmosfera, l'incidenza sull'ambiente della produzione di un dato manufatto. Questo tipo di energia sfruttata è chiamata anche Embodied Energy, cioè energia "incorporata" in un dato manufatto, valutata per le fasi di estrazione e lavorazione della materia prima, trasporto e consegna finale: più alto è il valore di questa energia, maggiore è l'impatto che la produzione di tale materia ha sull'ambiente.

Un altro metodo molto diffuso per la valutazione dei beni di consumo è l'LCA - Life Cycle Assessment: per questo procedimento vengono utilizzati dei metodi analitici che prendono in esame tutti i parametri che distinguono un manufatto per ogni fase della sua esistenza. Una volta trovati i risultati li si inserisce in una griglia dove vengono messi in relazione con i possibili guasti ambientali che possono essere causati dall'oggetto in esame durante ogni fase del suo ciclo di vita. La limitatezza di questa procedura di analisi è dovuta alla possibilità di effettuare un bilancio solo fra oggetti appartenenti a gruppi omogenei, divisi in categorie individuando criteri funzionali, strutturali e di sostituibilità.

PARTE II: CASO STUDIO



6

CONOSCENZA GEOGRAFICA E NORMATIVA DEL CONTESTO

Dopo aver analizzato i vantaggi e le caratteristiche di una progettazione bioclimatica integrata sito/architettura e le peculiarità della moderna tecnica del legno, entriamo nel vivo del progetto di questa tesi. Occorre in primo luogo analizzare il contesto in cui si è scelto di situare il progetto che verrà rappresenta l'occasione di applicare in maniera pratica tutti i principi e le procedure di cui si è parlato in precedenza, e che rappresenta il nostro caso studio. Tale caso studio è sito in località Rivodora, frazione principale del comune di Baldissero Torinese, in provincia di Torino, e verrà trattato sotto diversi aspetti: quello climatico, a larga scala per un'analisi territoriale e più approfondita del sito di progetto; quello urbanistico, che permetterà di comprendere gli strumenti e i limiti da rispettare nella sistemazione di un'area; quello architettonico, per l'analisi tipologica e formale delle scelte del progettista; quello tecnologico - energetico, allo scopo di introdurre in una zona tradizionalista dal punto di vista edilizio delle soluzioni innovative che permettano il rispetto ambientale sia per l'utilizzo di una tecnologia prefabbricata che vede protagonista un materiale a basso impatto ambientale, sia per la ricerca di fonti e impianti alternativi che possano aprire nuove strade sfruttando energie più pulite.

Il primo approfondimento riguarda la presentazione morfologica e geografica del territorio su cui si andrà a lavorare, fondamentale per studiarne in seguito anche le caratteristiche climatiche, alla base dell'approccio bioclimatico. Per farlo ci si servirà anche di strumenti normativi che hanno analizzato i dati a disposizione, classificandoli.

6.1 Caratteri Generali

L'area prescelta per il progetto si trova all'interno dei confini comunali di Baldissero Torinese, comune che si trova sotto la giurisdizione della Città Metropolitana di Torino: per la precisione, il sito è un terreno interno al centro abitato di Rivodora, una delle frazioni di Baldissero Torinese.

Il territorio di Baldissero Torinese presenta una conformazione geografica complessa, sviluppandosi dalle alture su cui si trova la Basilica di Superga (situata a circa 675 m s.l.m.) fin verso il territorio Chierese, e comprendendo una zona formata da considerevoli rilievi (in piemontese brich), che possono raggiungere anche quote di 700 m s.l.m., e altre da depressioni e avvallamenti, coincidenti con i corsi d'acqua Rio Dora e Rio Baldissero e le loro valli. Sulle alture predomina la copertura boschiva, mentre le aree pianeggianti sono coltivate perlopiù a vigneti. Dal 1991 un'area del comune comprendente le alture più significative ricoperte di boschi sono state inserite nel Parco Naturale della Collina di Superga.

La superficie complessiva del territorio comunale di Baldissero è di 15,41 kmq, mentre il numero di abitanti è circa 3689, per una densità media abitativa di 240 ab/kmq. L'insediamento principale sorge a 421 m s.l.m. All'interno dei confini comunali trovano posto diverse frazioni minori, alcune caratterizzate da una fisionomia ancora agricola, altre trasformate in frazioni residenziali e altre ancora orientate verso il capoluogo regionale. La frazione più significativa è proprio quella di Rivodora, che sorge all'interno della valle del Rio Dora, orientata a N-S, a circa 360 m s.l.m., e ospita circa un terzo della popolazione del comune, per un totale di 460 abitanti residenti allo stato attuale.

Immagine 6.1 - Inquadramento dell'area di giurisdizione della Città Metropolitana di Torino con

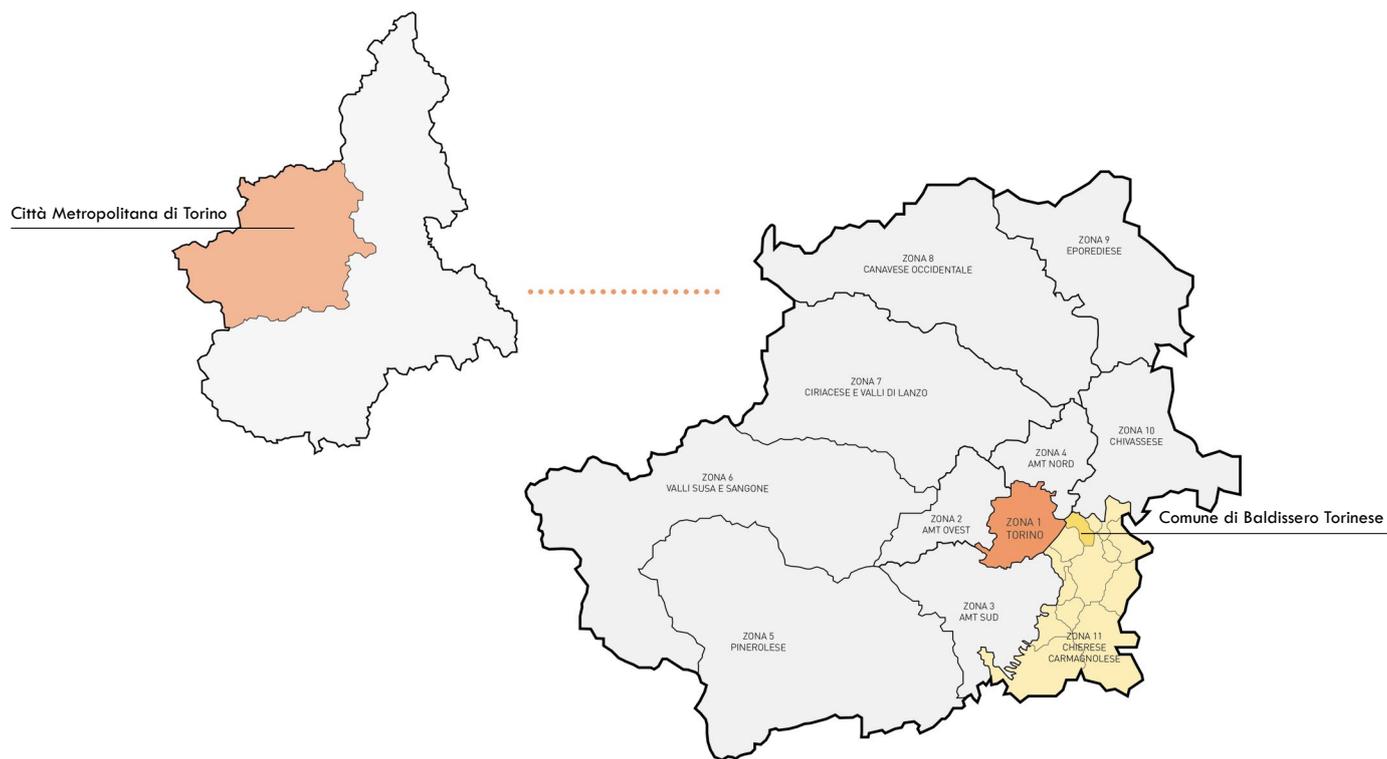


Immagine 6.2 - Stralcio di territorio della provincia Torinese attorno a Baldissero e evidenziazione dei principali collegamenti

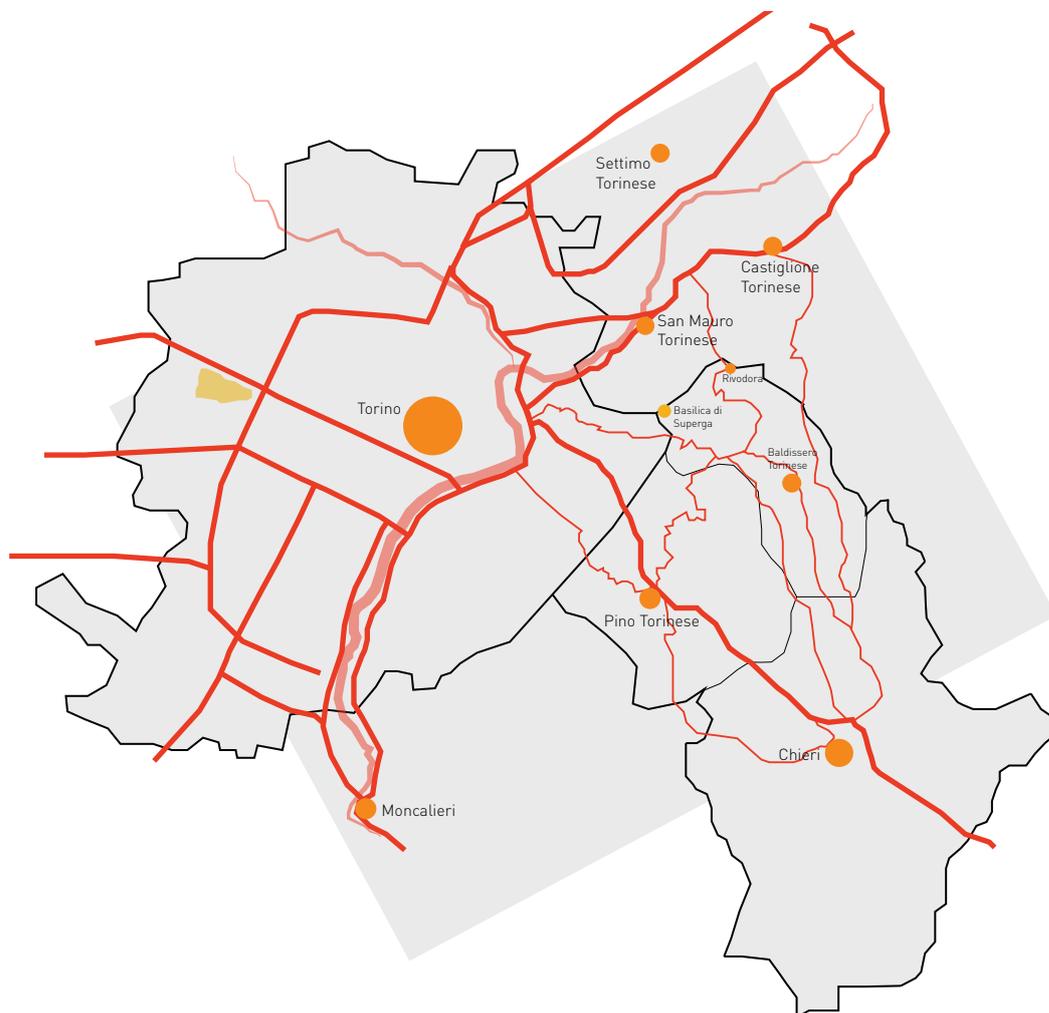


Immagine 6.3 - Estratto di carta rappresentante area collinare di Torino con focus sull'area di Baldissero Torinese - scala 1:50.000

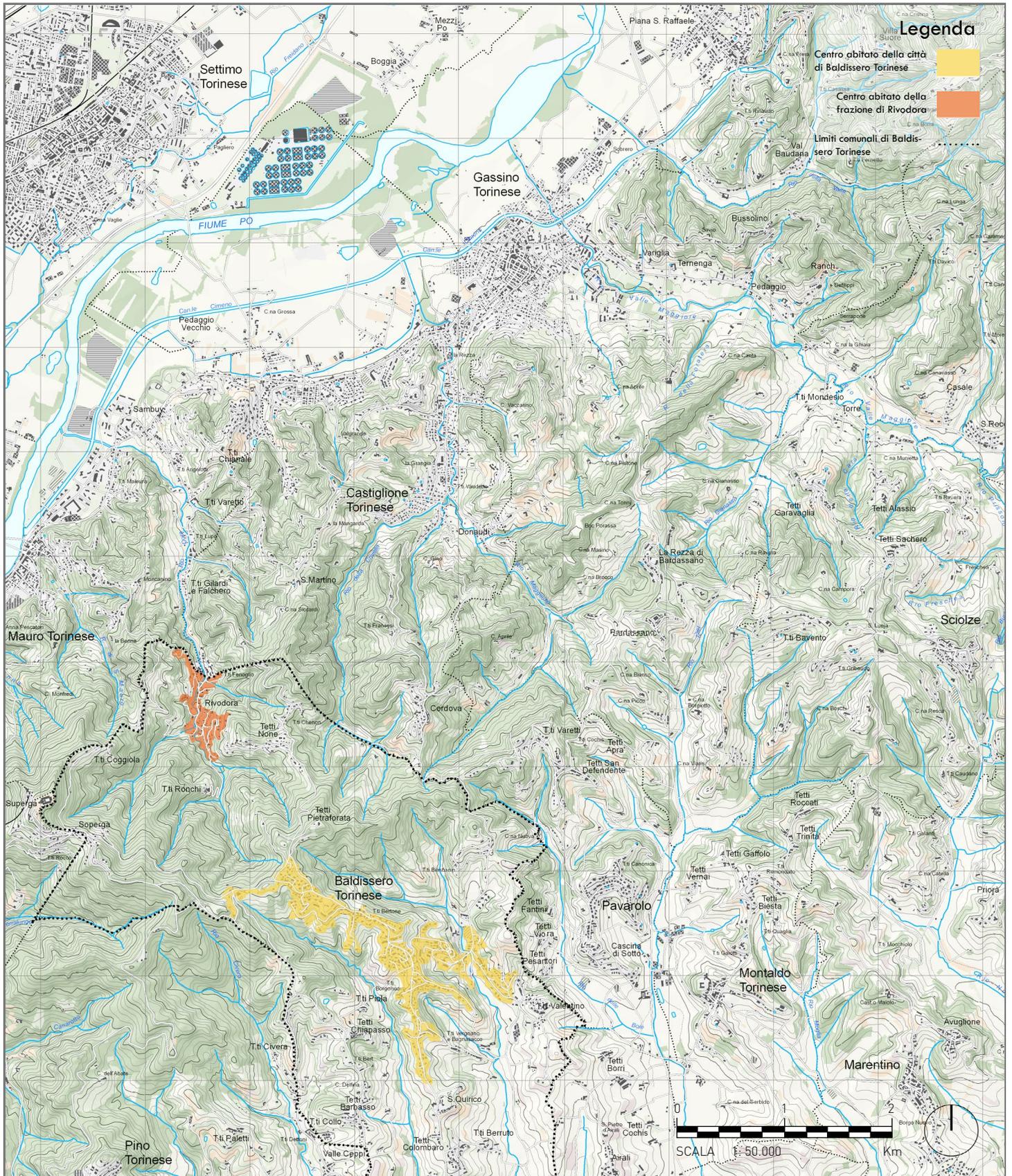


Immagine 6.4 - Diagramma rappresentativo della posizione di Rivodora, sito di progetto, rispetto ai punti di interesse del territorio

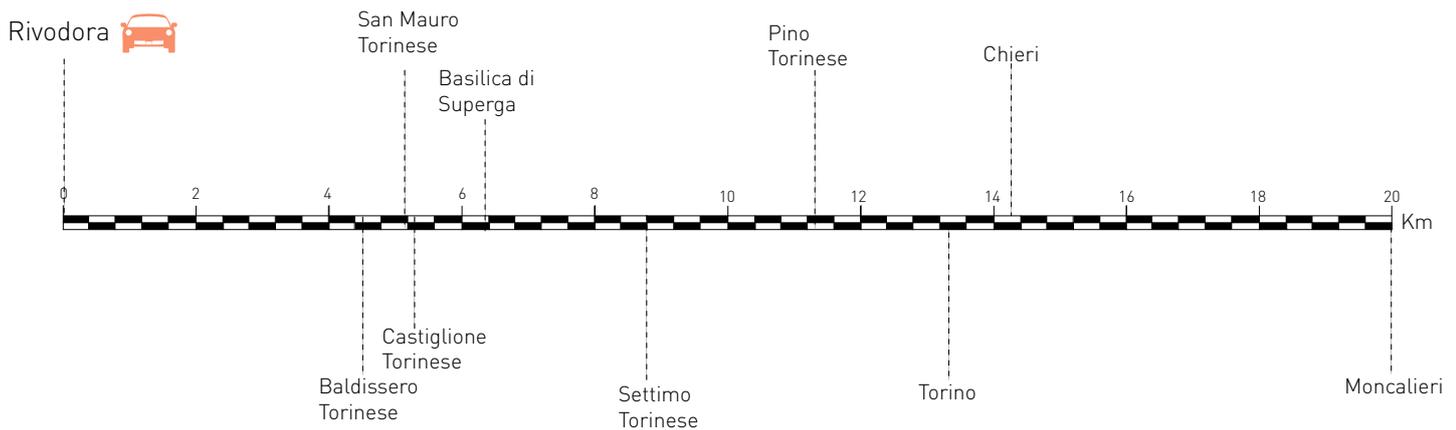
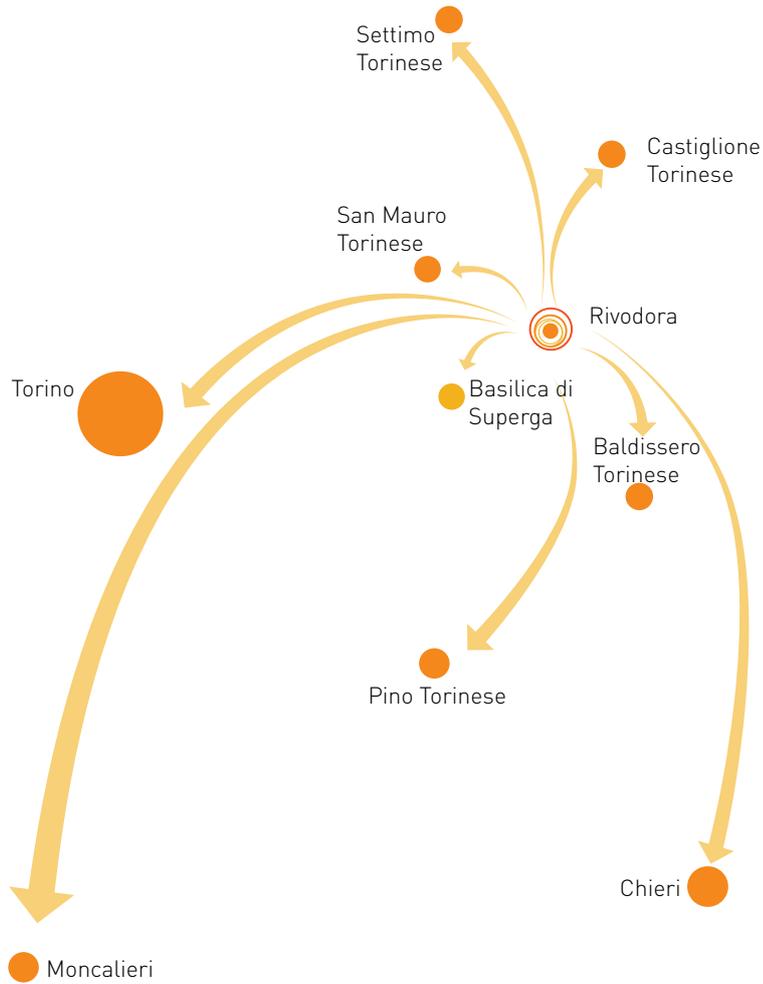
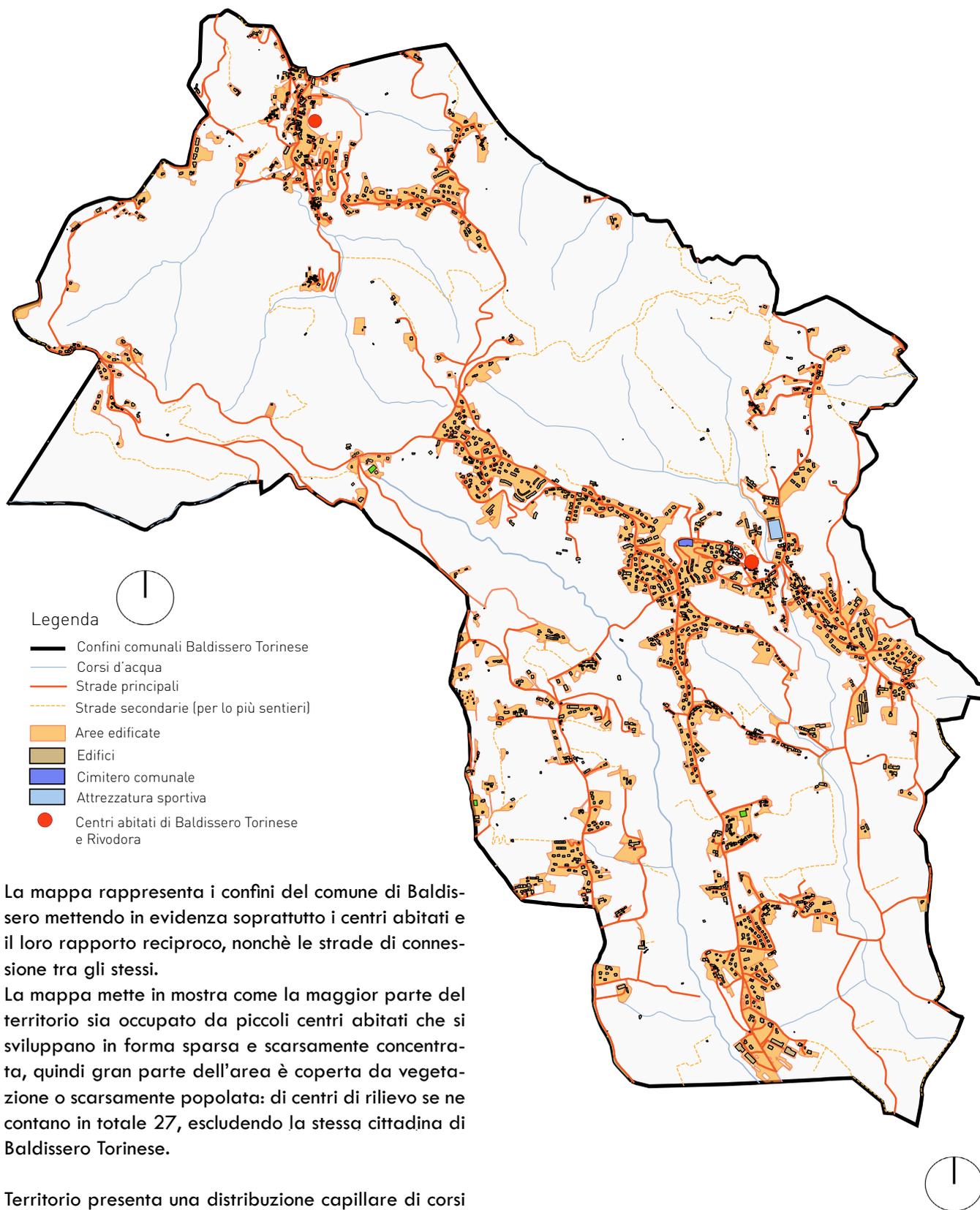


Immagine 6.6 - Mappa di inquadramento del Territorio Comunale di Baldissero Torinese e delle sue caratteristiche principali

Mappa del Comune di Baldissero Torinese da Geoportale del Piemonte - scala 1:15.000



La mappa rappresenta i confini del comune di Baldissero mettendo in evidenza soprattutto i centri abitati e il loro rapporto reciproco, nonché le strade di connessione tra gli stessi.

La mappa mette in mostra come la maggior parte del territorio sia occupato da piccoli centri abitati che si sviluppano in forma sparsa e scarsamente concentrata, quindi gran parte dell'area è coperta da vegetazione o scarsamente popolata: di centri di rilievo se ne contano in totale 27, escludendo la stessa cittadina di Baldissero Torinese.

Territorio presenta una distribuzione capillare di corsi d'acqua ma nessuno di primaria importanza.

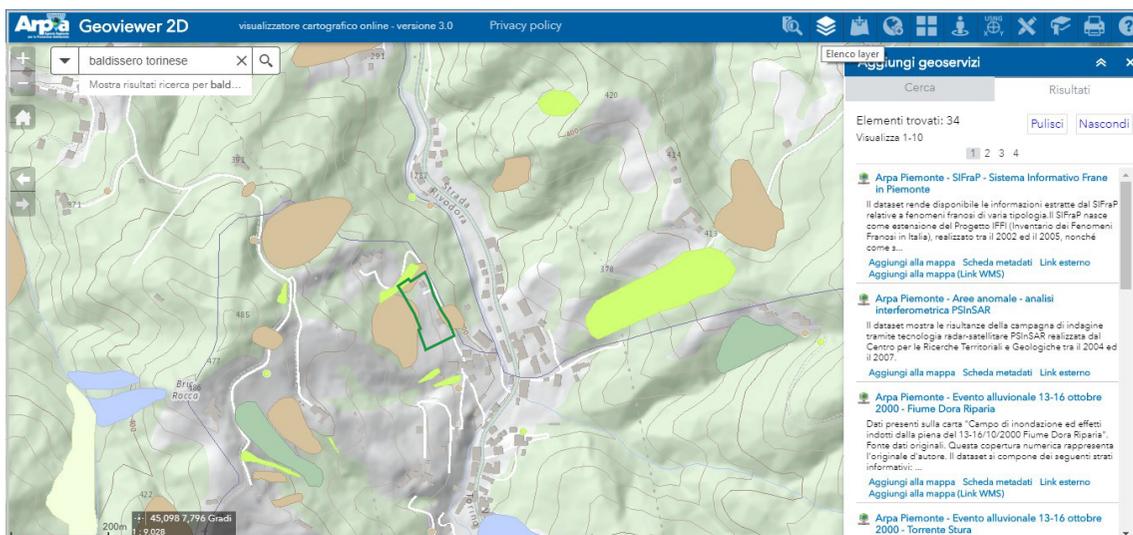
6.2 Caratteristiche geomorfologiche del terreno

Per quanto riguarda le considerazioni geomorfologiche del terreno, si può evincere dalla banca dati regionale IFFI/SIFRAP – Sistema Informativo dei Fenomeni Franosì in Piemonte, che una porzione più vasta dell'area in esame è interessata da dissesti riconducibili a frane quiescenti, ovvero frane inattive che possono essere riattivate dalle loro cause originarie, ma considerando unicamente il perimetro del lotto di progetto non sussistono fenomeni di dissesto.

La conformazione dell'area progettuale è descrivibile come un tratto di versante inserito al piede della pendice collinare incisa dal corso d'acqua locale Rio Dora fino al confine con il lato di monte della strada Viale. Questo asse viario si diparte dal concentrico della frazione Rivodora in direzione di un nucleo urbano presente sul fianco orografico sinistro del Rio, e lungo il suo corso si sono manifestati in passato alcuni fenomeni localizzati di dissesto, prevalentemente in corrispondenza del ciglio stradale, ma esterni comunque al perimetro del sito in esame.

Riferendosi poi al D.M. 17 Gennaio 2017, "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni", a seguito di analisi condotte su territorio, si può inquadrare la stratigrafia componente il terreno del lotto come "categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione di tipo B", ovvero composto da "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori ai 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità".

Immagine 6.7 - Estratto da Atlante IFFI - SIFRAP della Regione Piemonte



6.3 Vincoli idrogeologici

L'area in cui è situata la frazione Rivodora non è inoltre sottoposta a vincolo idrogeologico di cui alla L.R. 45 del 9/8/1989. Tale legge definisce le norme e le prescrizioni per regolare gli interventi in quelle zone in cui, a causa di movimenti quali disboscamenti o movimenti di terreno, si corra il rischio di far perdere instabilità al territorio o turbare il regime delle acque. La tutela del vincolo idrogeologico esiste in tutta la Regione Piemonte ed è particolarmente diffusa in aree montane e collinari, per questo prima di effettuare un intervento in una zona come quella presa in esame è opportuno verificare l'esistenza o meno di tale vincolo.

L'assenza del vincolo nell'area interessata si può evincere consultando il Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI), dove si vede chiaramente che non esistono segnalazioni di frane attive o perimetrazioni nell'area di progetto. Il vincolo idrogeologico prevede generalmente che le opere realizzate in una zona sottoposta a tali restrizioni distino almeno 150 metri da ciascun lato degli argini di un corso d'acqua, cosa che nel caso del terreno studiato è già vera.

Immagine 6.8 - Estratto da Geoportale del Piemonte - Aree Soggette a Vincolo Idrogeologico

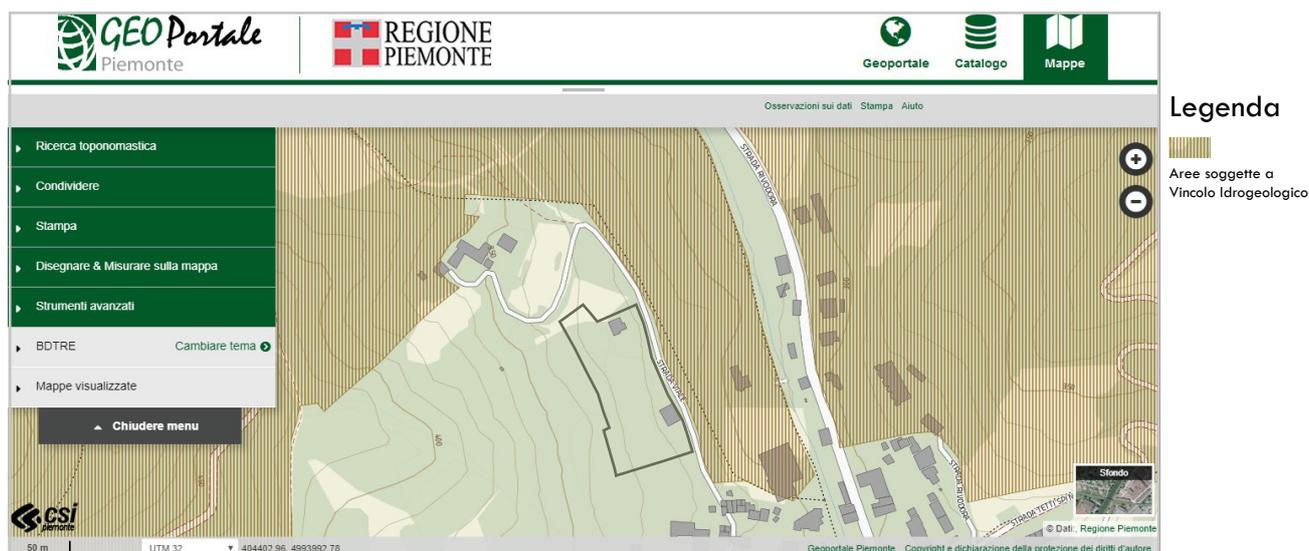
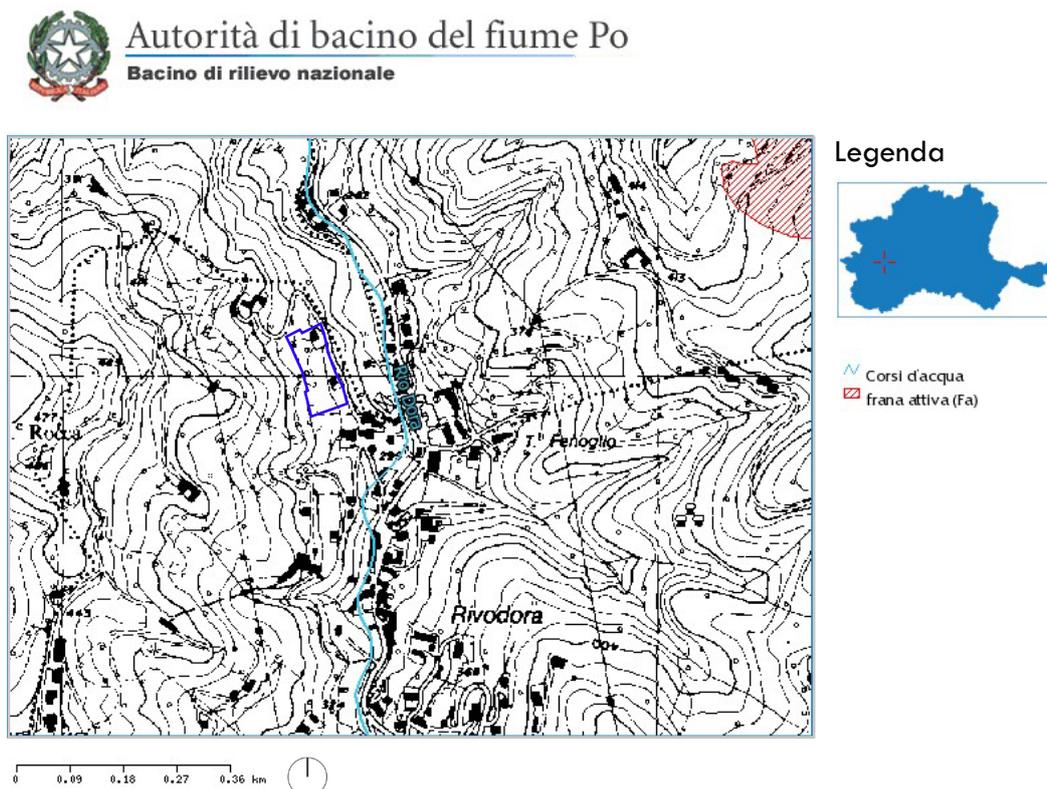
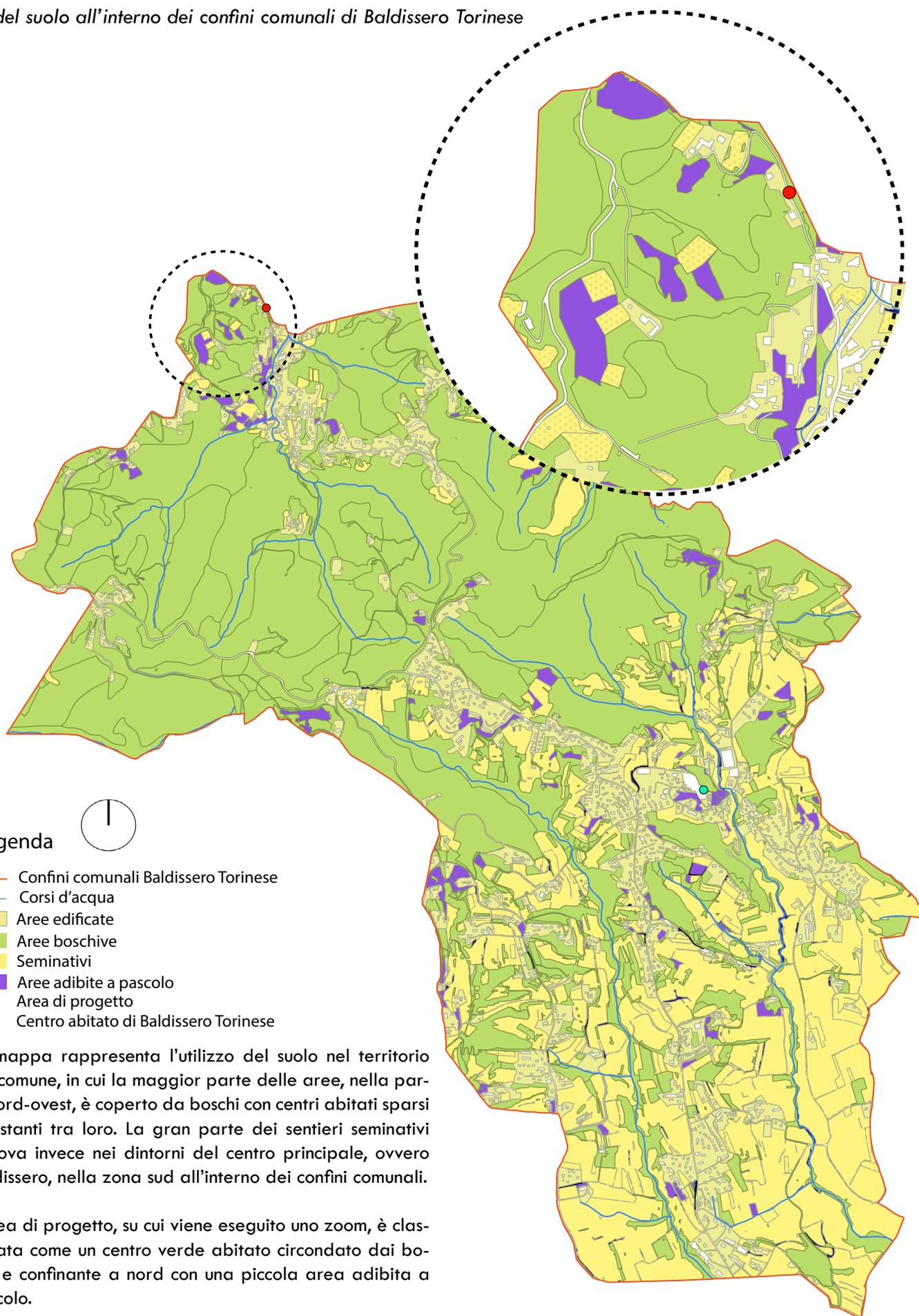


Immagine 6.9 - Estratto mappa da Atlante dei Dissesti PAI



Uso del suolo all'interno dei confini comunali di Baldissero Torinese



Legenda

- Confini comunali Baldissero Torinese
- Corsi d'acqua
- Aree edificate
- Aree boschive
- Seminativi
- Aree adibite a pascolo
- Area di progetto
- Centro abitato di Baldissero Torinese

La mappa rappresenta l'utilizzo del suolo nel territorio del comune, in cui la maggior parte delle aree, nella parte nord-ovest, è coperto da boschi con centri abitati sparsi e distanti tra loro. La gran parte dei sentieri seminativi si trova invece nei dintorni del centro principale, ovvero Baldissero, nella zona sud all'interno dei confini comunali.

L'area di progetto, su cui viene eseguito uno zoom, è classificata come un centro verde abitato circondato dai boschi e confinante a nord con una piccola area adibita a pascolo.

Immagine 5.10 - Mappa dell'uso del suolo - scala 1:15.000 - Geoportale di Torino

6.4 Pianificazione del territorio

Per quanto riguarda le prospettive di gestione paesaggistica, consultando le tavole del PPR – Piano Paesaggistico Regionale della Regione Piemonte approvato nel 2017, ovvero il documento che, attraverso le Norme di Attuazione, disciplina la pianificazione del Paesaggio Regionale e definisce gli indirizzi strategici per lo sviluppo sostenibile del territorio piemontese, si possono evincere una serie di classificazioni e piani per il territorio interessato.

Il sito di progetto si trova all'interno di un'area tutelata a livello ambientale, e quindi sottoposta a vincolo paesaggistico, secondo le prescrizioni della *Legge 431/85*, anche nota come *Legge Galasso*. Ciò comporta la presenza di regole e restrizioni da rispettare nella progettazione e insediamento di edifici di nuova costruzione: questa norma si occupa di individuare le cosiddette aree "Galassine", ovvero zone di notevole interesse pubblico dei comuni della regione sottoposte a vincoli paesaggistici, al fine di tutelare il patrimonio ambientale entro i limiti regionali. Tra i territori classificati dalla Legge Galasso vi è naturalmente anche il Parco della Collina di Torino, considerato di interesse storico ambientale anche grazie alla presenza della Basilica di Superga.

6.4.1 Le tavole del Piano Paesaggistico Regionale del Piemonte

Vengono di seguito mostrate nel dettaglio le tavole del PPR e le loro prescrizioni per la tutela del paesaggio regionale.

Nella pagina seguente viene prima presentato un inquadramento generale delle aree verdi del territorio torinese, con mappatura delle aree protette: la zona interessata si estende dall'area metropolitana adiacente al fiume Po della città di Torino fino al territorio collinare d'oltrepo, con una particolare attenzione per la zona che comprende il comune di Baldissero Torinese. Da questa prima carta si evince che il territorio oggetto delle nostre analisi comprende una porzione abbondante del Parco della Collina Torinese: esso è composto da due diverse aree protette, ovvero la Riserva Naturale Speciale del Bosco del Vaj e il Parco Naturale della Collina di Superga. L'intera area fu costituita nel 1991 per la tutela e valorizzazione di un territorio di notevole interesse naturalistico, architettonico e paesaggistico ancora ben conservato. Il parco si estende per circa 750 ettari sui territori di Baldissero, Pino Torinese, Torino e San Mauro Torinese.

La notevole vicinanza alla celebre Basilica fa della nostra area un centro di interesse paesaggistico di notevole importanza, punto di forza da tenere in considerazione anche sotto il profilo progettuale.

Inquadramento delle Aree naturali protette nella zona collinare torinese e nel territorio baldisserese

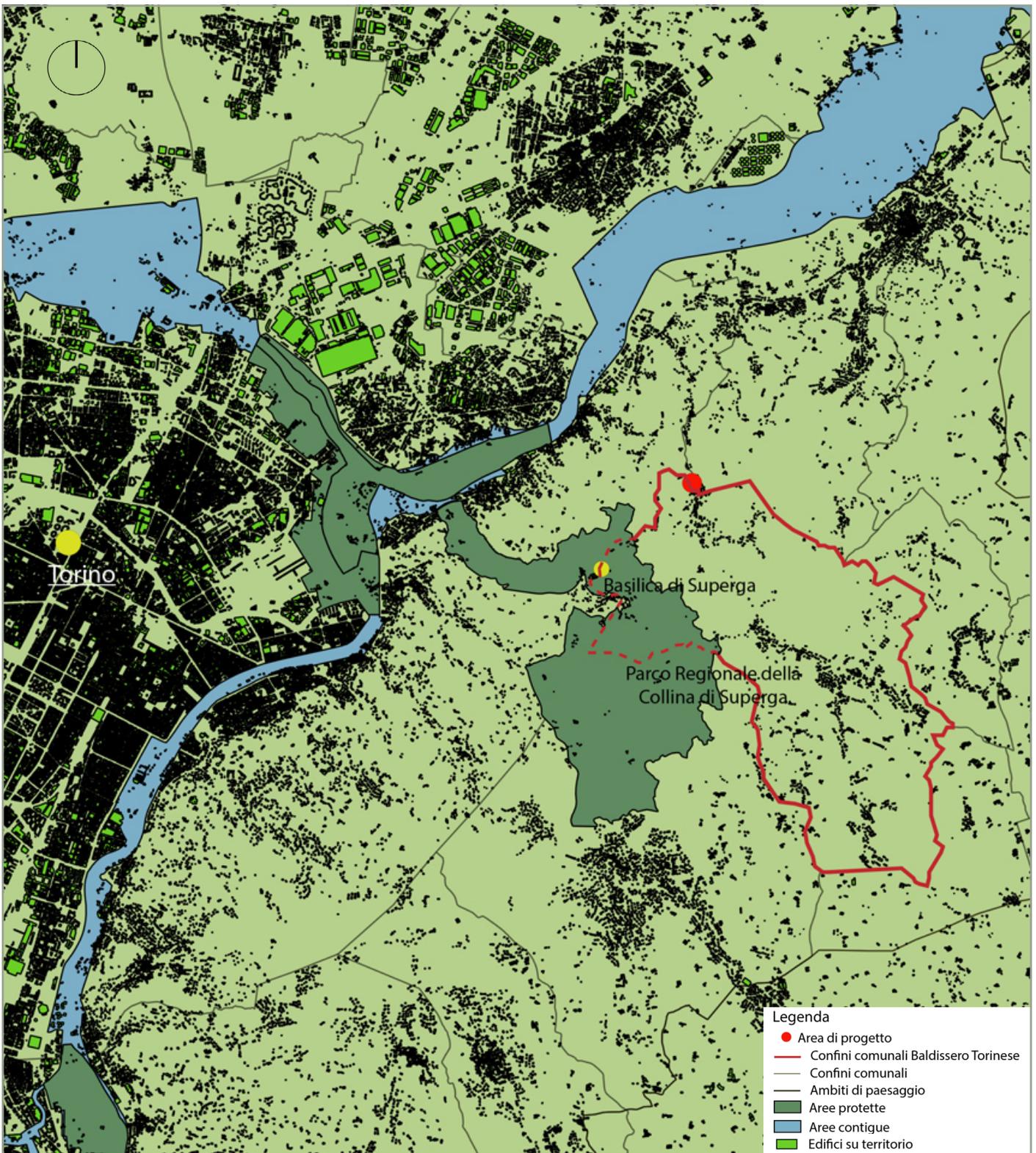


Immagine 6.11 - Estratto carta regionale delle Aree Naturali protette - scala 1:100.000 - Geoportale del Piemonte

Tavola P1 - Quadro d'insieme

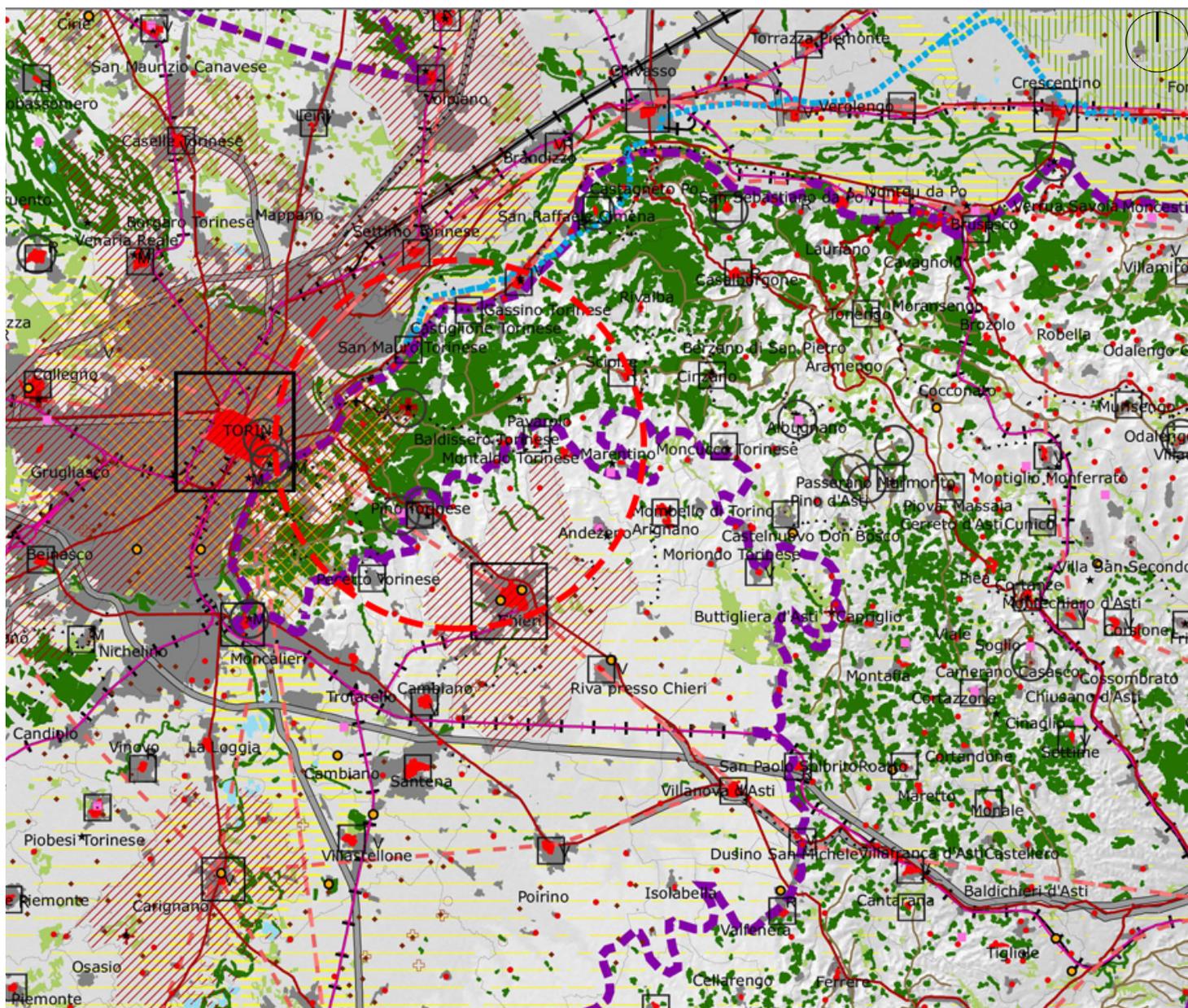


Immagine 6.12 - Estratto Tavola P1 del PPR - scala 1:100.000 - Geoportale del Piemonte

Fattori naturalistico-ambientali

- | | | | |
|---|---|---|---|
|  | Boschi seminaturali o con variabile antropizzazione storicamente stabili e permanenti connotanti il territorio con diverse fasce altimetriche |  | Delimitazione area di progetto |
|  | Praterie rupicole |  | Morene |
|  | Prati stabili |  | Conoidi |
|  | Crinali montani e pedemontani principali |  | Orli di terrazzo |
|  | Crinali montani e pedemontani secondari |  | Laghi |
|  | Crinali collinari principali |  | Rete idrografica |
|  | Crinali collinari secondari |  | Area di prima classe capacità d'uso del suolo |
| | |  | Area di seconda classe capacità d'uso del suolo |

L'area di Baldissero Torinese, evidenziata dall'ellisse con i contorni tratteggiati in rosso, risulta principalmente popolata da boschi seminaturali o con variabile grado di antropizzazione, storicamente stabili e permanenti connotanti il territorio con diverse fasce altimetriche. Viene inoltre evidenziata nell'area limitrofa al sito la presenza di crinali collinari principali e secondari.



Tavola P2 - Beni Paesaggistici

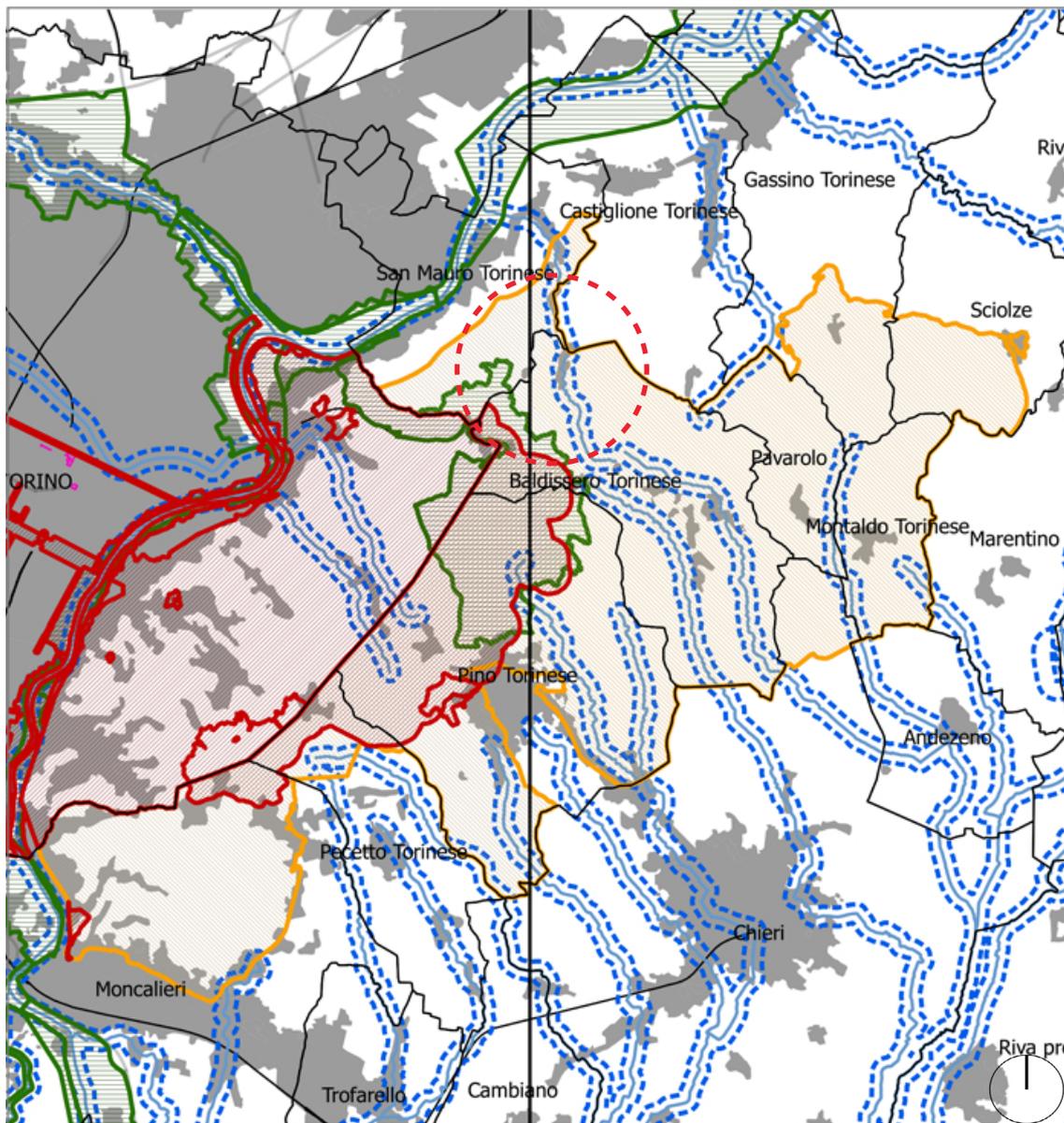


Immagine 6.13 - Estratto Tavola P2 del PPR - scala 1:100.000 - Geoportale del Piemonte

Legenda

- griglia_scala100
- comuni
- Bene ex L. 1497.39 - confini
- Bene ex L. 1497.39 - aree
- Bene ex DDMM 1.8.1985 - Legge Galasso
- Bene ex dlgs 42.2004 - art 138-141
- lettera f - parchi
- lettera c - corpi idrici
- lettera c - fasce fluviali
- linee ferroviarie
- strade principali
- Delimitazione area di progetto

Il sito si trova all'interno di una fascia fluviale e in prossimità di una delle reti sentieristiche oggetto di valorizzazione della zona.

Le aree classificate come "Bene ex DDMM 1.8.1985" sono le zone cosiddette "Galassine", vincolate poichè considerate di notevole interesse pubblico riguardanti i diversi comuni, e soggette a vincolo paesaggistico e tutela ambientale.

Il territorio baldissereese risulta dalla tavola interamente sottoposto a vincolo paesaggistico.

Tavola P3 - Ambiti di Paesaggio

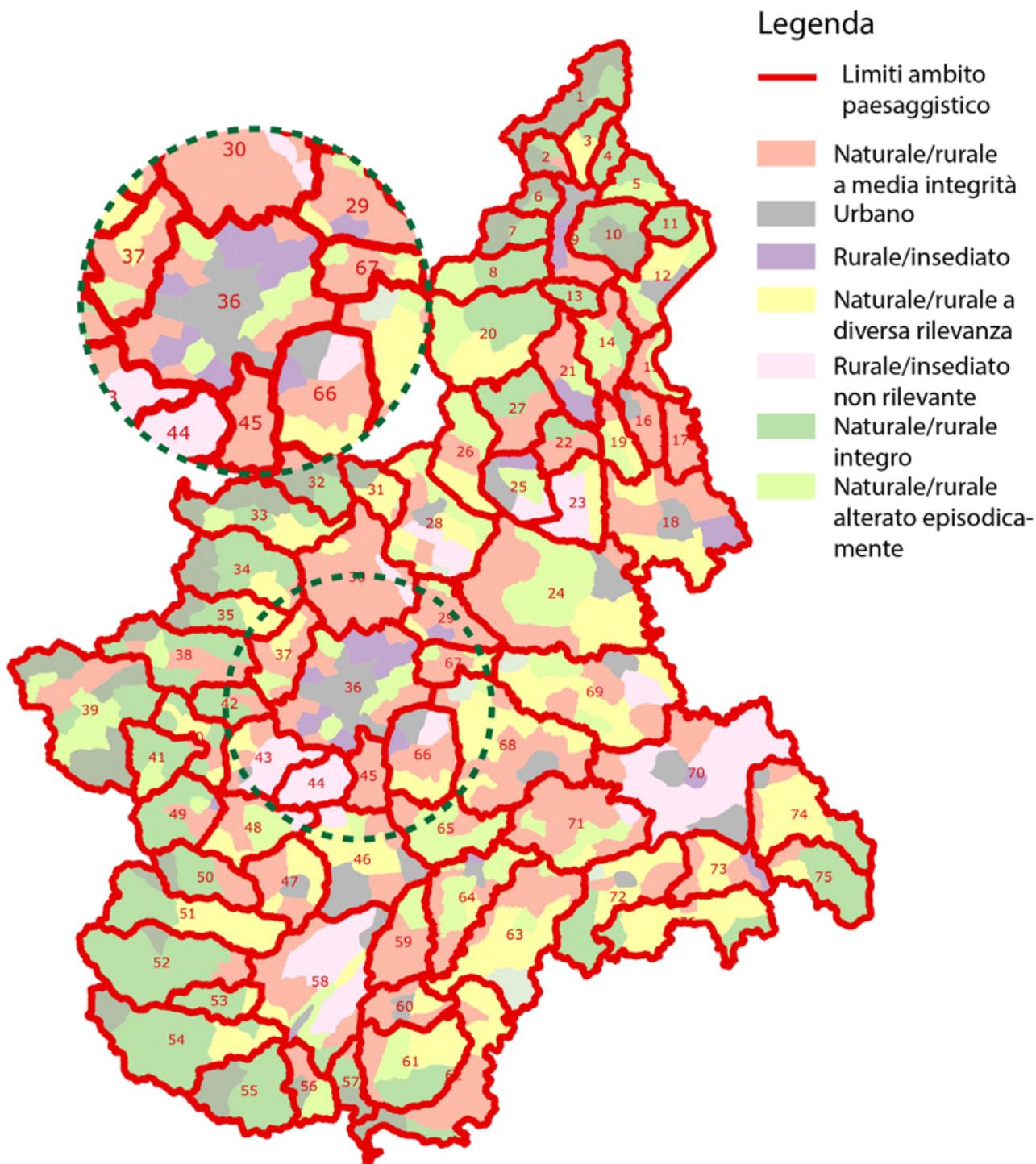


Immagine 6.14 - Estratto tavola P3 del PPR - scala originale 1:250.000 - Geoportale del Piemonte

La tavola suddivide la Regione Piemonte in diversi Ambiti Paesaggistici, a ognuno dei quali corrisponde una tipologia normativa UP diversa. L'area di Baldissero si trova all'interno dell'Ambito 36, denominato "Torinese", e il suo microambito normativo è classificato come "naturale/rurale a media rilevanza o integrità".

La tipologia UP indica l'Unità di Paesaggio a cui corrisponde ciascun territorio e le politiche delineate per la promozione, tutela e valorizzazione dello stesso.

Tavola P4 del PPR

La tavola rappresenta l'insieme delle componenti paesaggistiche suddivise negli aspetti naturalistico-ambientali, storico-culturali, percettivo-identitari e morfologico-insediativi. Essa costituisce il principale elaborato di riferimento per l'attuazione del Piano nella fase di adeguamento della pianificazione provinciale, locale e settoriale al PPR.

Iniziando ad analizzare la copertura vegetativa, la tavola mostra come la zona circostante la nostra area di riferimento ha la caratteristica di essere prevalentemente ricoperta da boschi, con una parziale presenza di praterie, prato-pascoli e cespuglieti, tutti dati rielaborati dalla Land Cover Ipla del 2003. Inoltre è presente una zona fluviale interna, dato areale che suddivide queste zone in fasce A e B del PAI - Piano per l'Assetto Idrogeologico, e dalle sponde o piedi degli argini per una fascia di 150 metri ciascuna di fiumi, torrenti, corsi d'acqua iscritti negli elenchi previsti dal R.D.n 1775 1933.

Il PAI definisce anche i corpi idrici sotto la lettera c come: un corso d'acqua a corrente perenne che scorre prevalentemente in superficie ma che può essere parzialmente sotterraneo; un corso d'acqua temporaneo o intermittente o effimero soggetto a periodi di asciutta totale o di tratti dell'alveo; un corpo idrico caratterizzato semplicemente dallo scorrere delle acque in movimento, le cui acque fluenti sono di minore portata.

La mappa riporta inoltre la presenza di criticità lineari, come ad esempio infrastrutture aeree o infrastrutture a terra (ferrovie, grandi strade, altre attrezzature). Le criticità di questo specifico caso sono rappresentate dall'autostrada che collega Baldissero con altri centri abitati.

A livello turistico è segnalata la presenza di poli di religiosità e di percorsi panoramici, ed entrambi i dati sono legati alle strutture della Basilica di Superga, per la quale è stata elaborata una rete sentieristica di notevole sviluppo nell'area limitrofa della struttura architettonica.

Nel territorio analizzato ritroviamo anche la simbologia che indica elementi strutturanti insediamento e sistemi di testimonianze di territorio rurale: la prima tipologia di dati individua gli elementi lineari che concorrono a strutturare gli insediamenti, specialmente quelli di origine geografica, mentre il secondo dato comprende le permanenze di centuriazione e organizzazione produttiva di età romana, le permanenze di colonizzazione rurale medievale religiosa o insediamento rurale disperso con presenza di castelli agricoli, le aree con nuclei rurali esito di riorganizzazione di età moderna, le aree di rilevante valenza storico-ambientale territoriale caratterizzate da colture e nuclei rurali esito di riorganizzazione di età contemporanea.

Una parte del territorio analizzato rientra anche all'interno della classificazione di aree rurali di specifico interesse paesaggistico, un dato che rappresenta i sistemi paesistici rurali di significativa varietà e specificità, con la presenza di radi insediamenti tradizionali integri o di tracce di sistemazioni agrarie e delle relative infrastrutture storiche.

Tavola P5 del PPR

Dall'elaborato possiamo osservare che la nostra area di interesse si trova all'interno di un'AREA TAMPONE, comprendente fasce di buona connessione da mantenere e potenziare e le buffer zones, ovvero zone ubicate attorno ad alcuni nodi, e che vengono identificate al fine di ridurre gli interventi antropici permettendo una migliore e più sicura conservazione delle aree classificate come "ad elevata naturalità".

Tavola P4 - Componenti Paesaggistiche

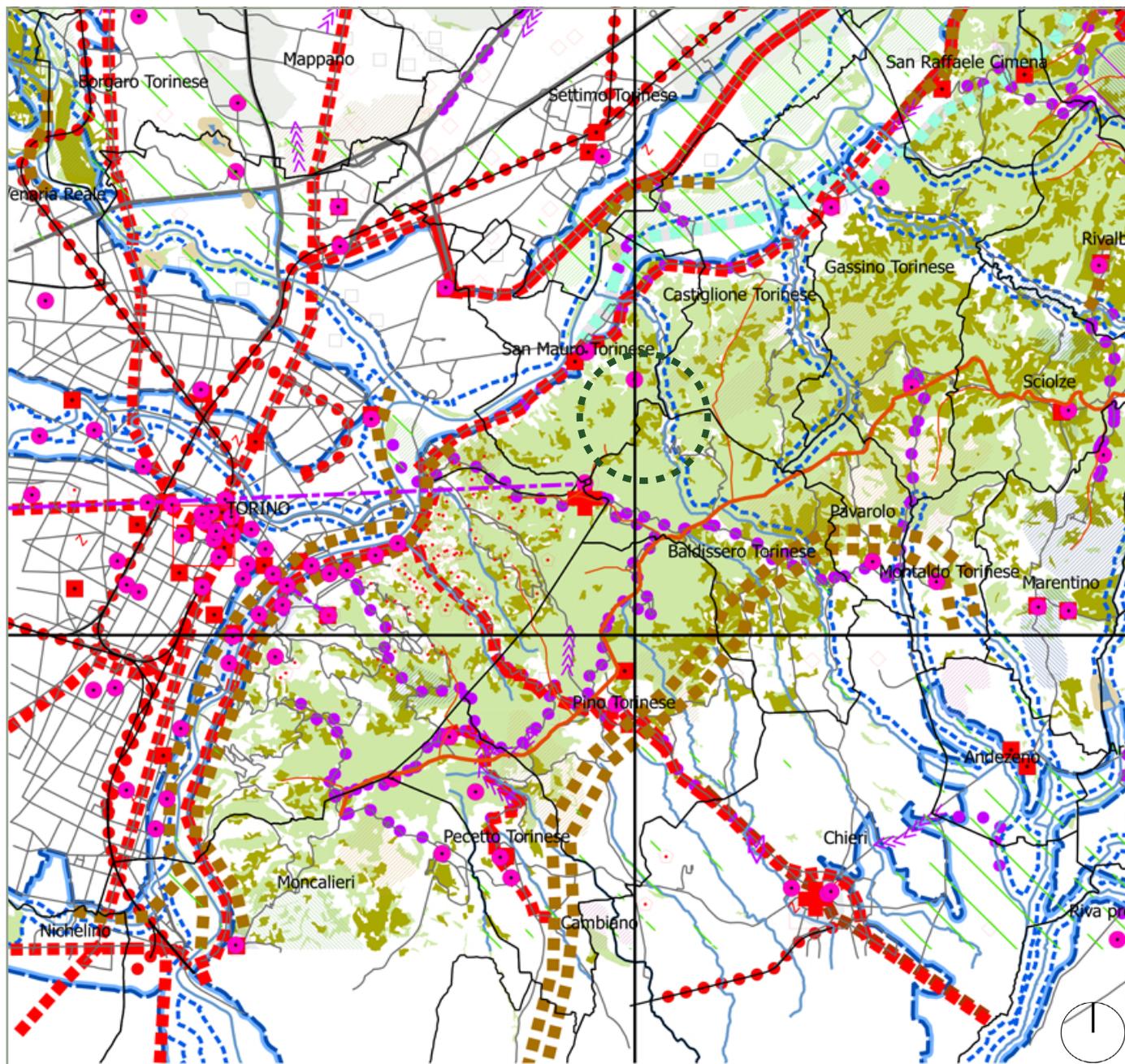


Immagine 6.15 - Estratto tavola P4 del PPR - scala originale 1:100.000 - Geoportale del Piemonte

Legenda

<ul style="list-style-type: none"> ■ Delimitazione area di progetto ○ fulcri_costruito ● sistemi_ville_parchi_giardini ● elem_rilevanza_paesistica ● profili_paesaggistici ● fulcri_naturali_areali ● assi_prospettici ■ elementi_strutturanti_insedimento ■ struttura_insediativa_storica ■ sistemi_testimonianze_territorio_rural ▲ aree_produz_industr_storica 	<ul style="list-style-type: none"> ■ poli_religiosita ● sistemi_fortificazioni — ferrovie — lettera_c_corpi_idrici — grafo_viabilita — A — P — R — S ● percorsi_panoramici 	<ul style="list-style-type: none"> ■ specificita_paes_sv1 ■ specificita_paes_sv2 ■ specificita_paes_sv3 ■ specificita_paes_sv4 ■ specificita_paes_sv5 ■ specificita_paes_sv6 ■ aree_non_montane_siepi_filari ■ critica_puntuali ■ critica_lineari ■ Praterie_prato-pascoli_cespuglieti 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Praterie_rupicole ■ territori_prevalente_copertura_boscata edifici ■ residenziale ■ produttivo_commerciale ■ Morfologia_insediativa_15 ■ Laghi ■ zona_fluviale_allargata ■ fascia_allargata_buffer ■ zona_fluviale_interna
--	--	--	---

Tavola P5 - Rete di Connessione Paesaggistica

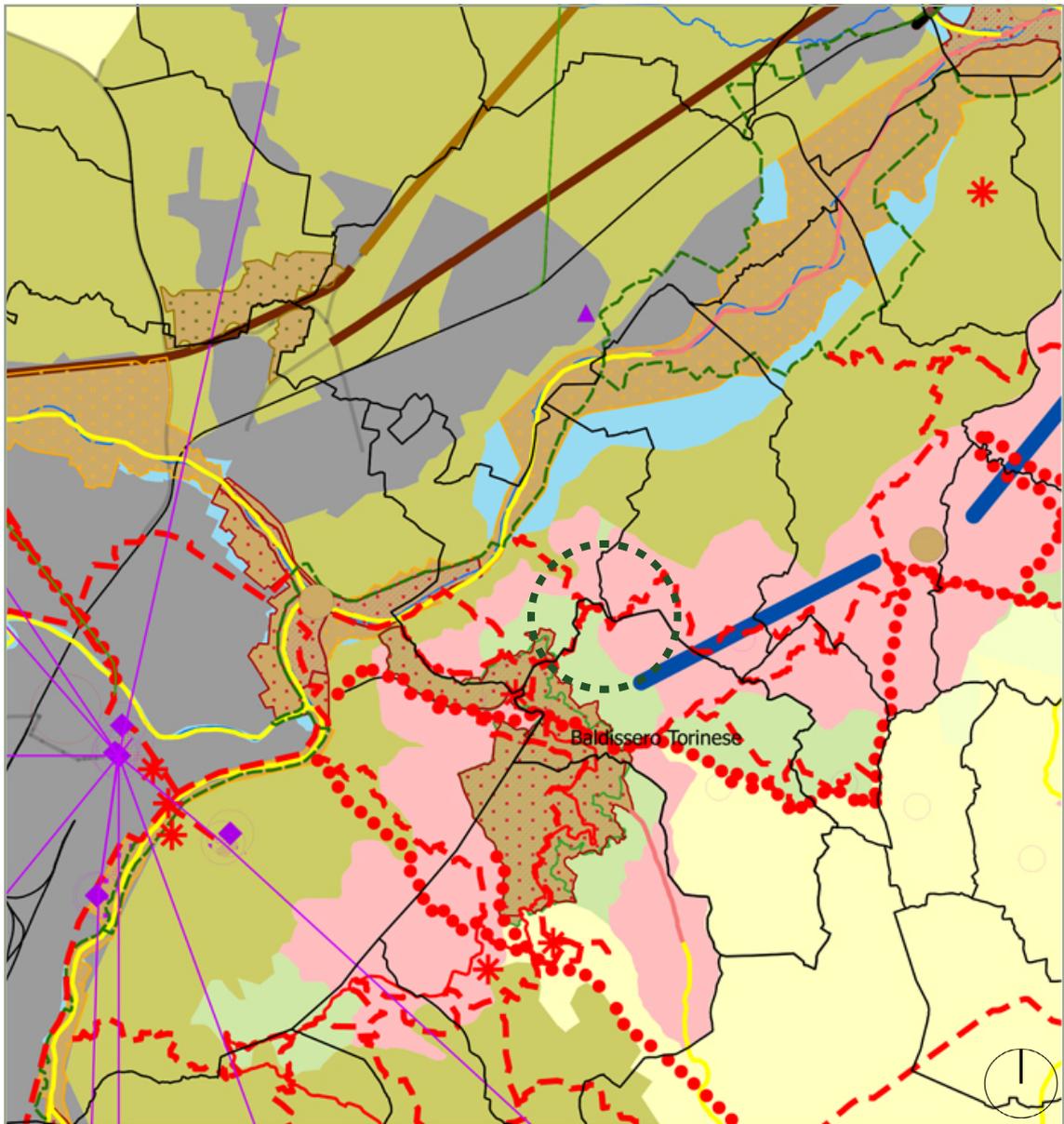


Immagine 6.16 - Estratto tavola P5 del PPR - scala originale 1:100.000 - Geoportale del Piemonte

Legenda

<ul style="list-style-type: none"> --- Delimitazione area di progetto ○ Mete regionali □ comuni ▲ sistema ecomusei ○ sistema valorizzaz patrimonio culturale ○ TORINO ● Nodi secondari * punti panoramici — ferrovie verdi - - - rete sentieristica — circuiti interesse fruitivo — percorsi ciclo pedonali ●●● greenways regionali 	<ul style="list-style-type: none"> — varchi ambientali — rotte ▨ buffer zone ■ core zone — corridoio ecologico da mantenere — corridoio ecologico da ricostruire ▨ contesti periurbani di rilevanza locale — corridoio su rete idrografica da mantenere — corridoio su rete idrografica da potenziare — corridoio su rete idrografica da ricostruire ▨ aree protette ▨ zone naturali di salvaguardia ▨ aree contigue ▨ altri siti int. naturali 	<ul style="list-style-type: none"> — tratti autostrade panoramiche — tratti da riqualificare ▨ fasce di buona connessione ▨ mantenere e potenziare ▨ aree tampone Fasce di connessione sovregionale ▨ montana ▨ fluviale ▨ contesti_nodi ▨ contesti_fluviali ▨ contesti periurbani di rilevanza regionale ▨ aree urbanizzate ▨ aree agricole connettività diffusa ▨ laghi
--	---	---

Tavola P6 - Strategie e Politiche per il Paesaggio

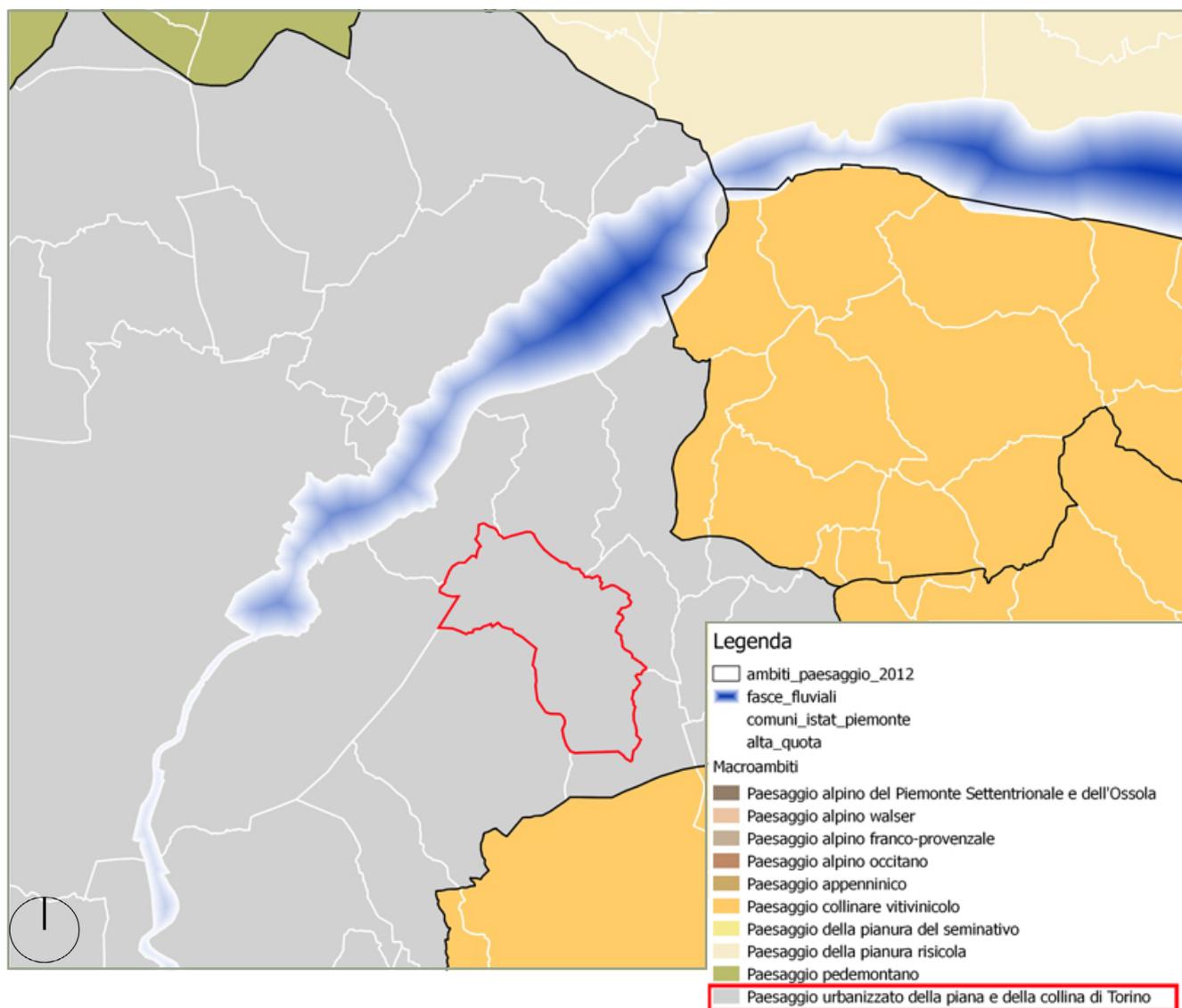


Immagine 6.17 - Estratto tavola P6 del PPR - scala originale 1:100.000 - Geoportale del Piemonte

La tavola P6 del Piano Paesaggistico Regionale propone una classificazione dei paesaggi presenti all'interno del territorio regionale: in particolare viene proposta un'aggregazione, sulla base degli Ambiti di paesaggio del PPR, in Macroambiti. Essi suddividono il Piemonte, non soltanto in ragione delle caratteristiche geografiche, ma anche alla luce delle componenti percettive che permettono l'individuazione di veri e propri paesaggi dotati di identità propria. Questi Macroambiti comprendono il paesaggio alpino del Piemonte Settentrionale e dell'Ossola, il paesaggio alpino walser, il paesaggio alpino franco-provenzale, il paesaggio alpino occitano, il paesaggio appenninico, il paesaggio collinare, il paesaggio della pianura del seminativo, il paesaggio della pianura risicola, il paesaggio pedemontano e il paesaggio urbanizzato della piana e della collina di Torino, che, unitamente ai dataset paesaggio alpino d'alta quota e paesaggio fluviale e lacuale, formano i 12 Macroambiti totali del Piemonte. La zona in cui si situa l'area di progetto, evidenziata dai confini in rosso, è descritta come Paesaggio urbanizzato della piana e della collina di Torino, quindi una sorta di fascia intermedia che precede il paesaggio collinare di particolare interesse agricolo.

6.4.2 La Carta Tecnica Regionale

Uno degli strumenti che abbiamo per la lettura simbolica, ma realistica, del territorio è la CTR - Carta Tecnica Regionale, in questo caso quella piemontese. Si tratta di un documento prodotto in ogni Regione, una carta topografica chiamata tecnica appunto perchè rappresenta gli elementi del territorio senza modificarne le dimensioni e la posizione, ma mostrandone l'effettiva posizione. Le scale standard di questo tipo di documento sono 1:5.000 e 1:10.000, che rappresentano una grandezza ideale per apprezzare i dettagli di un territorio ma anche a contestualizzarlo a sufficienza. La CTR del Piemonte è nella scala 1:10.000 e risale al 2014, qui ne rappresentiamo uno stralcio.

La programmazione urbanistica ed edilizia di Baldissero e delle sue frazioni è invece regolata dal PRGC del 1997 del comune di Baldissero Torinese, integrato dalle Norme Tecniche di Attuazione dello stesso piano. Il Regolamento Edilizio invece, che regola le singole azioni sulle costruzioni e sistemazioni territoriali, è molto più recente, approvato nel 2018. Di essi però parleremo più nel dettaglio nel capitolo successivo andando ad analizzare un'area di territorio più circoscritta, comprendente l'area appena circostante il sito di progetto.

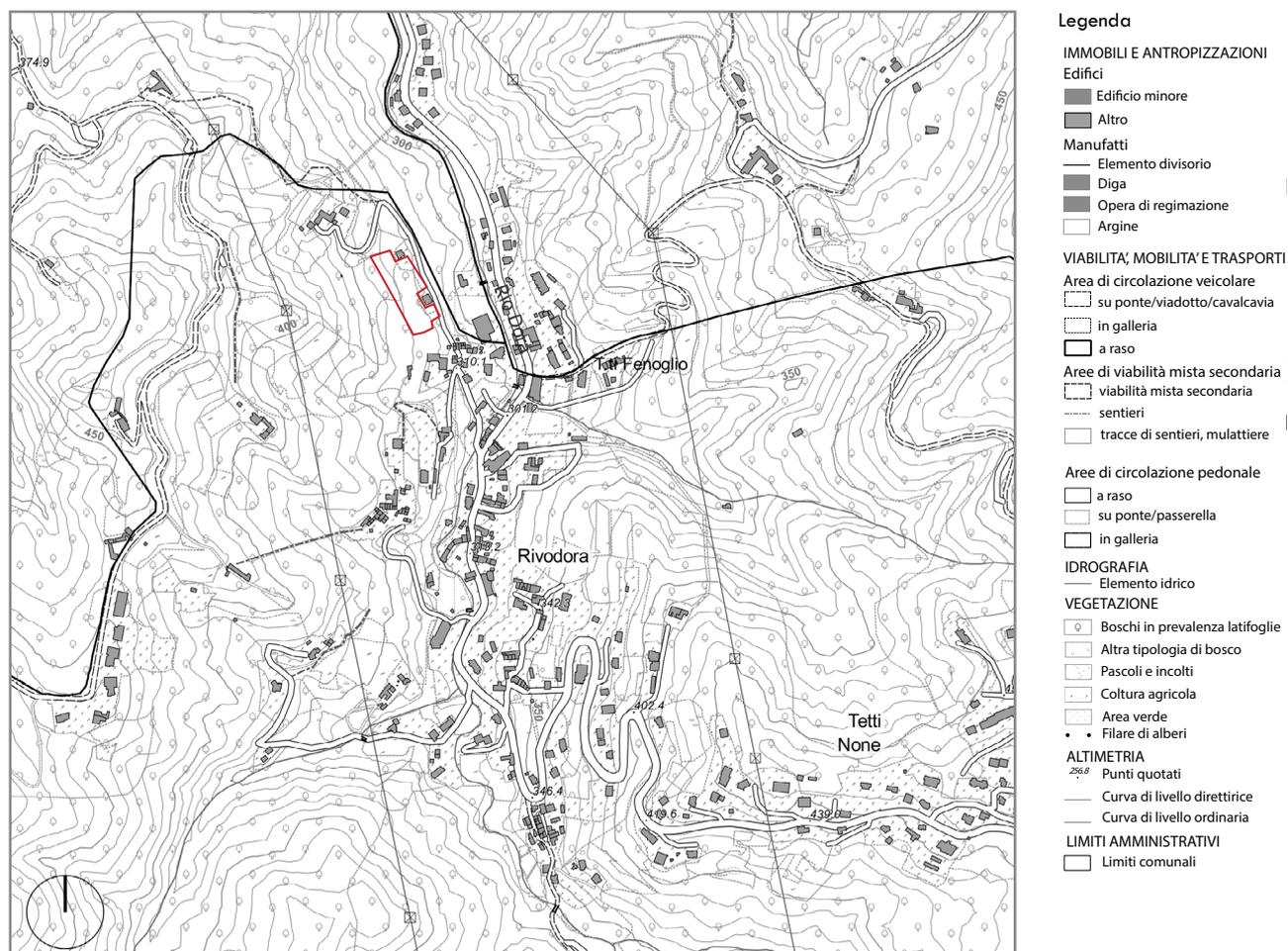


Immagine 6.18 - Estratto foglio 156100 del CTR del Piemonte - scala 1:10.000 - Geoportale del Piemonte

In questa immagine è rappresentato uno stralcio del foglio 156100 del CTR della regione Piemonte, in un focus che mostra l'area della abitata e gli immediati dintorni della frazione Rivodora, classificandone principalmente l'uso del territorio e le caratteristiche della viabilità. In particolare, il terreno su cui sorge la maggior parte degli edifici della frazione è classificato come area verde, mentre l'area in cui viene ipotizzato il progetto dell'oggetto della tesi è descritta come coperta di boschi in prevalenza latifoglie. Viene poi rappresentata la viabilità principale e le curve di livello che rappresentano l'andamento del territorio.



7

IL SITO

Dopo aver analizzato a una scala più ampia il territorio in cui si inserirà il progetto che andremo a trattare, la seconda azione da fare è quella di scendere a un livello maggiormente particolareggiato, in cui si considerano da vicino le caratteristiche di un'area più circoscritta, in modo tale da comprendere la morfologia del luogo e di conseguenza le ripercussioni a livello microclimatico che potrebbero agire sul progetto.

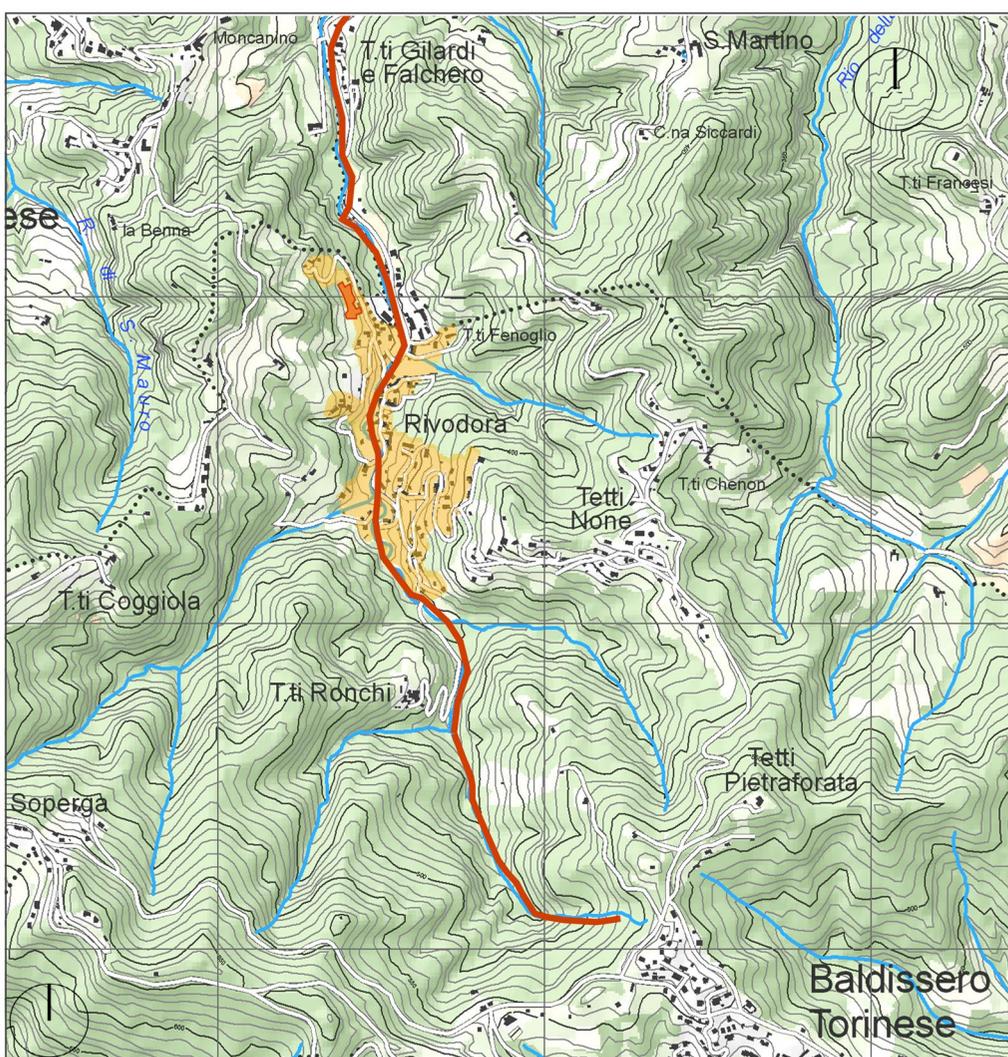
7.1 Analisi territoriale e climatica

7.1.2 Orientamento ed esposizione del sito

Il sito in cui si installerà il progetto di questa tesi è situato all'interno della frazione Rivodora, la più importante del territorio comunale di Baldissero Torinese, che si trova all'interno della valle solcata dal corso d'acqua Rio Dora.

Per analizzare le caratteristiche microclimatiche del sito di progetto è necessario occuparsi del contesto geo-morfologico e climatico più ampio in cui ci si trova, e per farlo si è dovuto partire dalla conformazione orografica e dall'orientamento della valle, che ha permesso di comprendere l'esposizione ai venti e l'andamento del percorso solare, dedotto grazie a una carta in cui si possono leggere le esposizioni dei versanti collinari.

Inquadramento della valle del Rio Dora



Legenda

- Area frazione Rivodora
- Area sito di progetto
- Andamento della valle

Osservando la carta a sinistra, si può notare come la valle del Rio Dora sia orientata secondo un'asse NS. Facendo riferimento a quanto detto nel secondo capitolo, questo ha un certo tipo di effetto sull'andamento dei venti nel corso di una giornata tipo nella valle. Secondo gli studi bioclimatici infatti, l'orientamento NS delle valli montane/collinari è interessato principalmente da venti ascendenti di valle e venti trasversali che si alternano nel corso della giornata ai venti ascendenti e discendenti di pendio.

Per determinare un quadro più preciso dei flussi d'aria che caratterizzano la valle, è necessario individuare prima di tutto la direzione dei venti prevalenti del luogo. Tale operazione è stata eseguita tramite l'uso del software Climate Consultant, che contiene i principali dati climatici di diverse località del mondo e esegue un'analisi oraria dei flussi di vento.

Immagine 7.1 - Estratto mappa del territorio di Baldissero Torinese - scala 1:20.000 - Geoportale del Piemonte

I dati di Climate Consultant

Climate Consultant è un software basato sulla rappresentazione dei dati in forma di grafici, che permette ad architetti, progettisti, tecnici e studenti di avere un quadro completo delle caratteristiche climatiche della propria località. I dati climatici sono basati su 8760 ore nel corso dell'anno e utilizzati in formato EPW: essi vengono forniti gratuitamente dal Dipartimento di Energia per migliaia di località in tutto il mondo e successivamente tradotti in forma di grafici dal programma.

I dati climatici vengono elaborati utilizzando il modello del California Energy Code Comfort Model, che stabilisce degli standard mondiali di efficienza energetica sia per spazi residenziali che per quelli non residenziali.

Di seguito verrà illustrato il processo con cui sono stati ottenuti i dati sui venti prevalenti in località Torinese e quali fattori e parametri sono stati considerati per determinare i flussi da considerare, ovvero principalmente: velocità e estensione oraria nel corso della giornata.

Interfaccia della schermata iniziale di Climate Consultant

Immagine 7.2 - Riassunto dei dati climatici di Torino secondo Climate Consultant.

WEATHER DATA SUMMARY													LOCATION: TORINO, -, ITA	
													Latitude/Longitude: 45.22° North, 7.65° East, Time Zone from Greenwich 1	
													Data Source: IWEC Data 160590 WMO Station Number, Elevation 287 m	
MONTHLY MEANS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC		
Global Horiz Radiation (Avg Hourly)	147	218	259	310	352	382	428	398	302	221	163	129	Wh/sq.m	
Direct Normal Radiation (Avg Hourly)	167	194	211	214	235	269	355	314	243	195	175	135	Wh/sq.m	
Diffuse Radiation (Avg Hourly)	90	130	141	173	182	181	165	177	153	127	96	87	Wh/sq.m	
Global Horiz Radiation (Max Hourly)	400	520	718	875	925	948	919	878	780	618	451	318	Wh/sq.m	
Direct Normal Radiation (Max Hourly)	703	655	784	862	844	878	880	864	815	723	693	517	Wh/sq.m	
Diffuse Radiation (Max Hourly)	219	273	419	429	474	463	503	420	377	321	216	184	Wh/sq.m	
Global Horiz Radiation (Avg Daily Total)	1328	2203	3043	4130	5180	5885	6430	5520	3738	2363	1533	1115	Wh/sq.m	
Direct Normal Radiation (Avg Daily Total)	1507	1963	2456	2825	3450	4139	5335	4361	3014	2069	1656	1166	Wh/sq.m	
Diffuse Radiation (Avg Daily Total)	809	1314	1670	2310	2685	2791	2484	2458	1894	1364	898	752	Wh/sq.m	
Global Horiz Illumination (Avg Hourly)	15899	23557	28430	34250	39069	42424	47441	44091	33389	24373	17694	14002	lux	
Direct Normal Illumination (Avg Hourly)	14797	18359	20285	20920	22817	25840	34041	29706	22899	17856	15759	11587	lux	
Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)	1	3	8	11	16	19	23	21	18	12	6	2	degrees C	
Dew Point Temperature (Avg Monthly)	-3	-1	3	5	11	14	18	16	14	10	1	-1	degrees C	
Relative Humidity (Avg Monthly)	72	73	77	66	74	74	76	75	81	88	72	73	percent	
Wind Direction (Monthly Mode)	0	0	0	310	110	0	0	0	0	0	0	0	degrees	
Wind Speed (Avg Monthly)	1	0	0	1	1	2	0	0	0	0	1	1	m/s	
Ground Temperature (Avg Monthly of 3 Depths)	4	5	7	9	14	17	18	18	16	12	8	6	degrees C	

Dopo aver scelto la località interessata, in questo caso utilizzando i dati EPW su Torino presenti nel database già esistente, il programma presenta prima di tutto una tabella riassuntiva dei dati climatici del sito prescelto, che successivamente vengono elaborati sotto forma grafica.

Per l'analisi eseguita sul nostro sito era necessario sia disporre di una carta solare del luogo che di una ruota dei venti, ma si è scelto di estrapolare i dati solari attraverso una rappresentazione in forma polare della carta solare, poichè Climate consultant utilizzava una forma rappresentativa non adatta alle analisi che si sarebbero successivamente compiute riguardo al percorso solare sulla valle.

Si è proceduto quindi a consultare la Wind Wheel (Ruota del vento in italiano) sia per individuare i venti prevalenti del periodo invernale che quelli del periodo estivo.

Venti prevalenti invernali

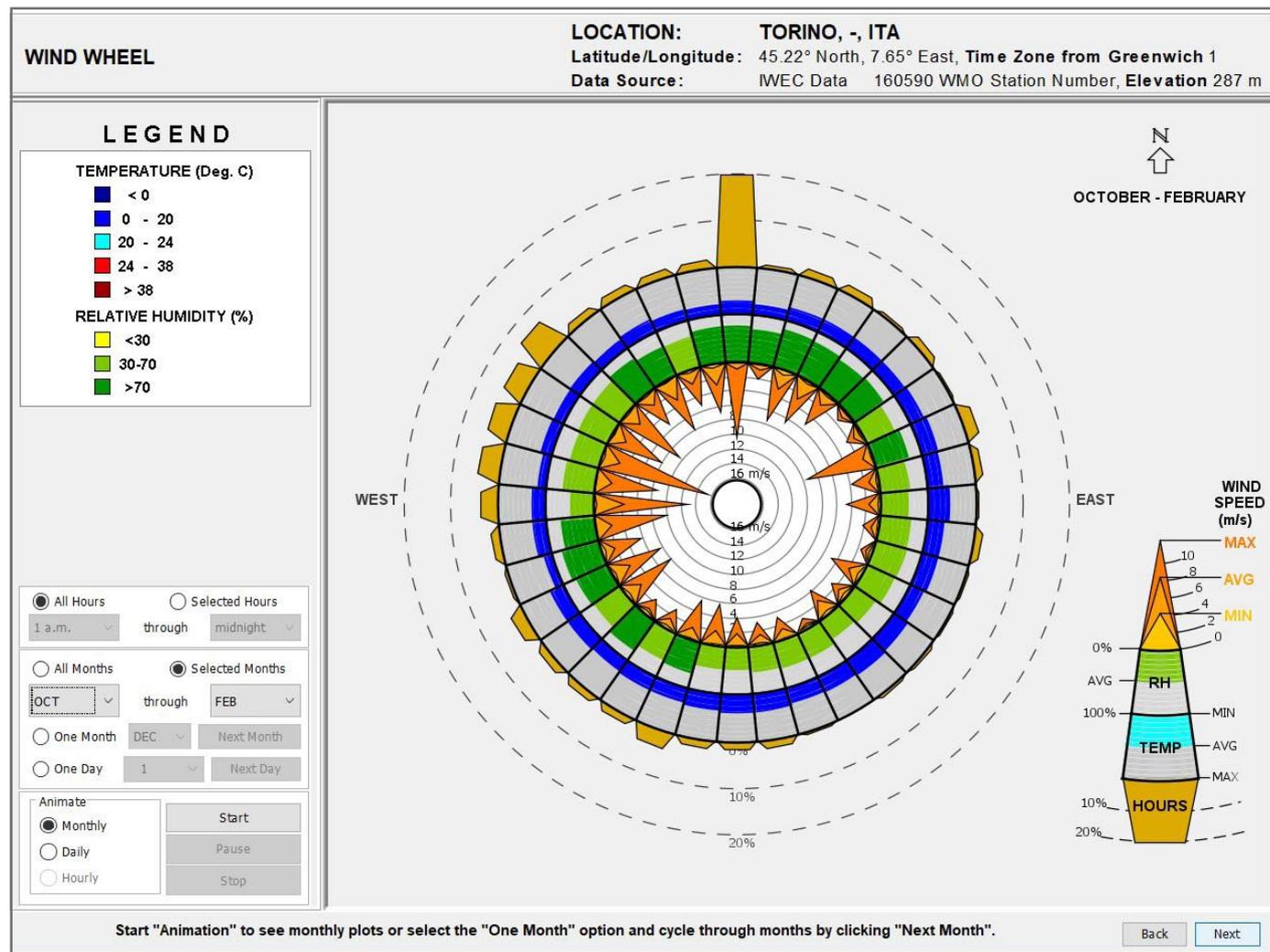


Immagine 7.3 - Wind Wheel elaborata da Climate Consultant.

Dopo aver scelto il periodo in cui si è interessati a conoscere l'andamento dei venti nella zona torinese, in questo caso quello che va da Ottobre a Febbraio, cioè la fascia temporale invernale, il programma elabora la ruota del vento con i dati climatici per ogni mese di tale luogo. Alla fine del processo di elaborazione si ottiene un grafico circolare rappresentante i quattro punti cardinali e l'intensità dei venti in ciascuna direzione: in ogni punto della ruota viene infatti considerata la velocità minima e massima dei flussi, la loro persistenza oraria (cioè per quante ore in una giornata soffia il vento in quella direzione), la temperatura e l'umidità relativa determinate dalla presenza di tale corrente.

Osservando la Ruota dei venti così ottenuta, si conclude che la direzione del vento prevalente a livello di velocità per il periodo invernale nel sito considerato è quella NO, mentre è persistente a livello orario una corrente ventosa proveniente da Nord.

Venti prevalenti estivi

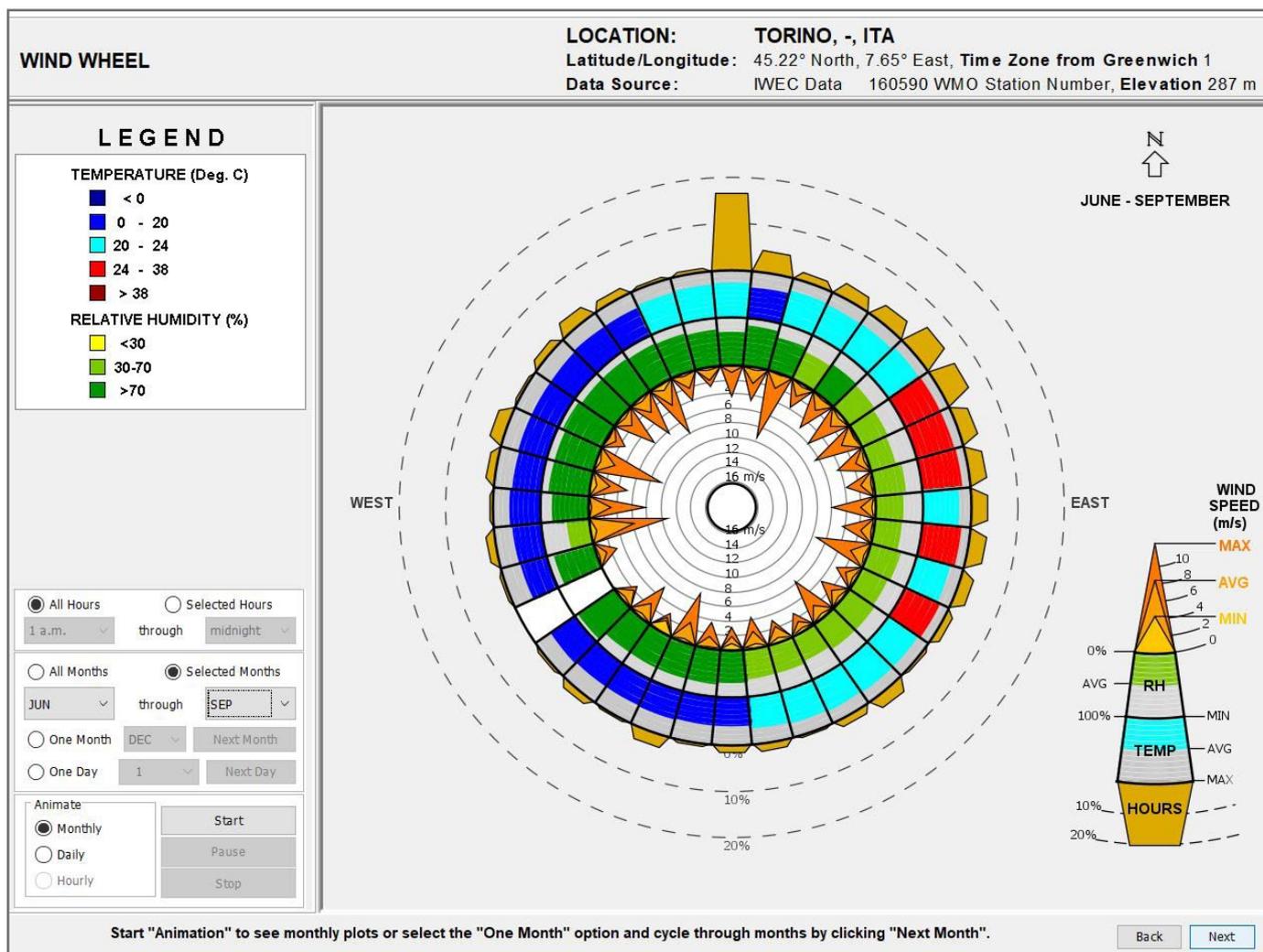


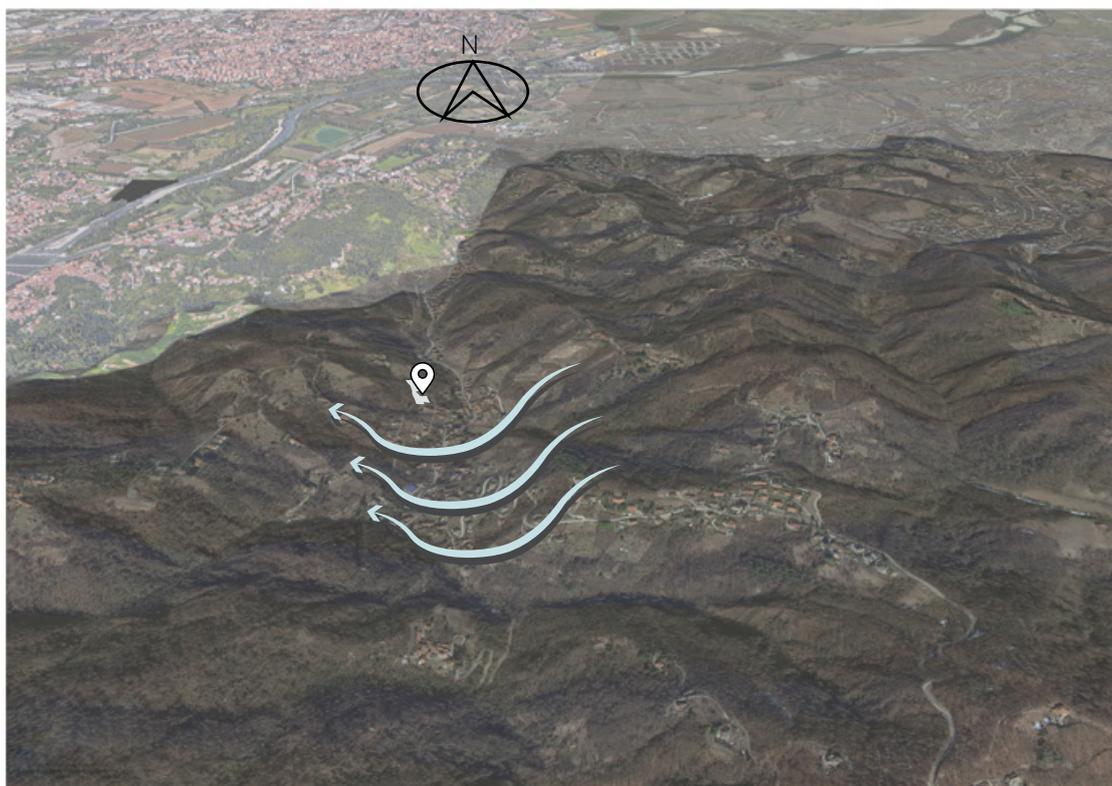
Immagine 7.4 - Wind Wheel elaborata da Climate Consultant.

L'immagine soprastante rappresenta invece la Ruota dei venti calcolata per la località di Torino in un periodo che va da Giugno a Settembre, considerato il periodo estivo dell'arco annuale.

Dall'osservazione di tale Ruota dei venti estiva, si evince che la direzione del vento prevalente a livello di velocità nel sito considerato è quella di NE, mentre è persistente a livello orario una corrente ventosa proveniente da Nord, esattamente come evidenziato dalla Ruota dei venti rappresentativa del periodo invernale.

Rappresentazione dei venti presenti nella valle nei vari momenti della giornata

Venti mattutini



Legenda

-  Sito di progetto
-  Venti trasversali di pendio orientali

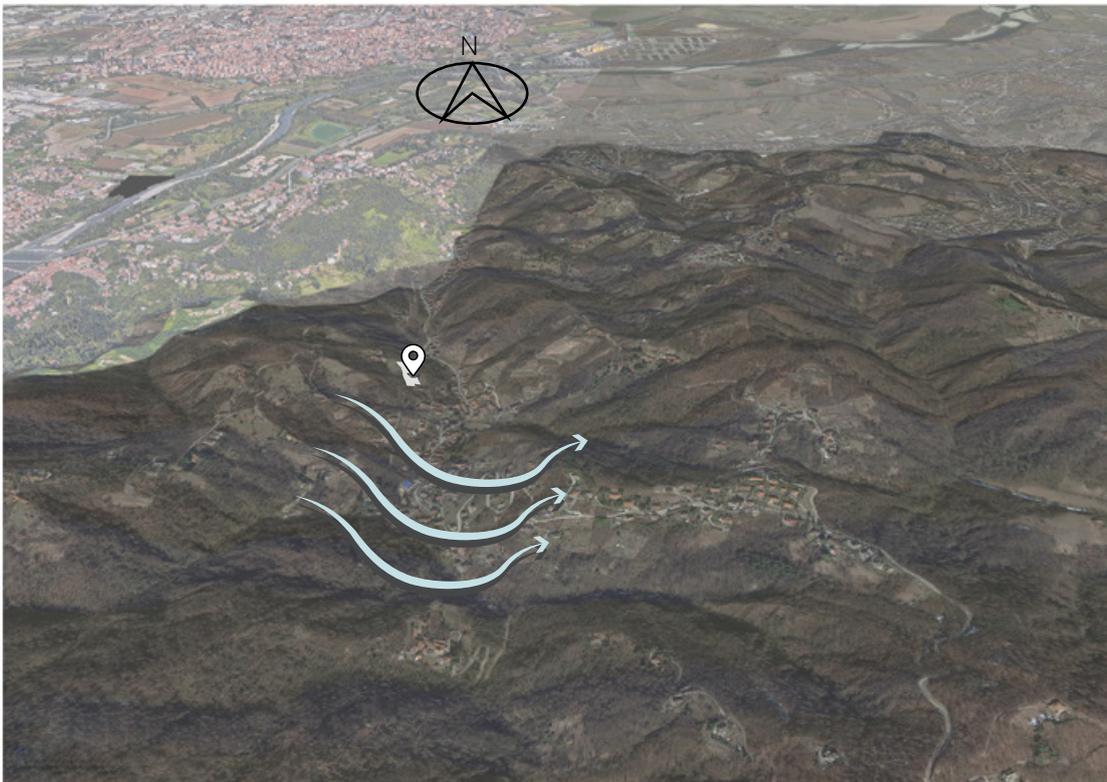
Venti di mezzogiorno



Legenda

-  Sito di progetto
-  Venti ascendenti di valle

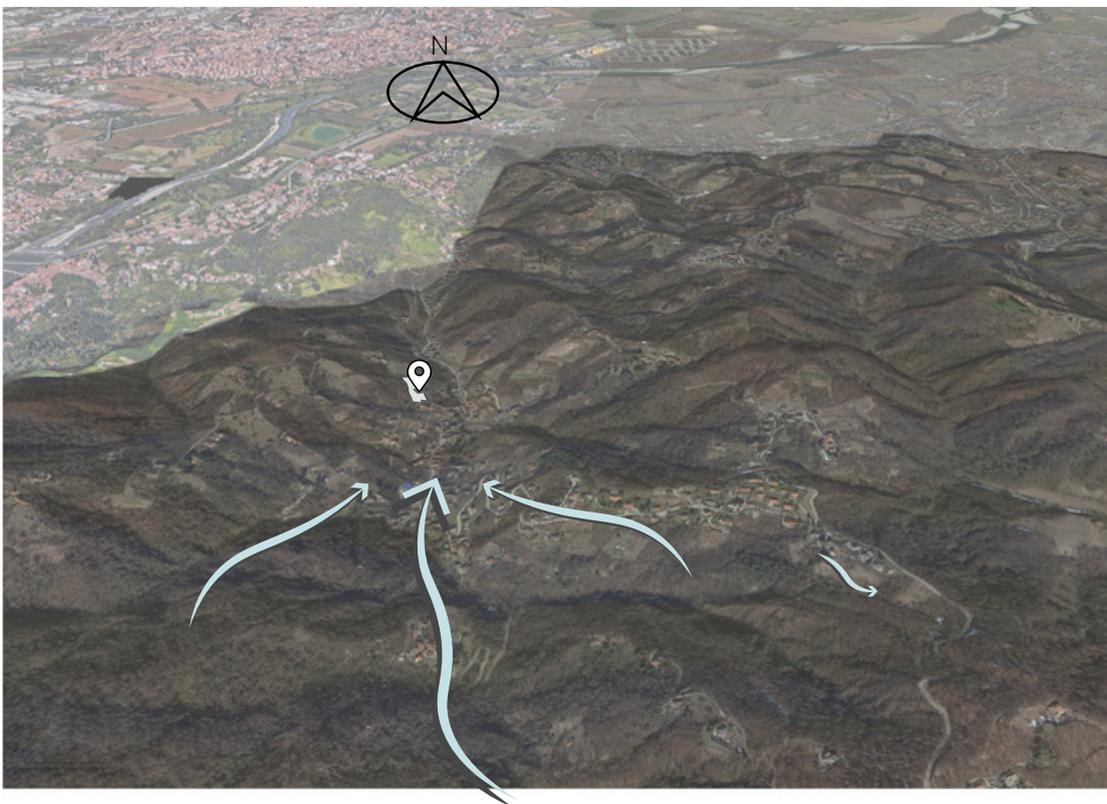
Venti pomeridiani



Legenda

-  Sito di progetto
-  Venti trasversali di pendio occidentali

Venti serali e notturni



Legenda

-  Sito di progetto
-  Venti discendenti i valle

L'esposizione solare del sito

L'analisi delle esposizioni solari viene eseguita sia basandosi sui dati del percorso solare della carta solare del sito, sia sfruttando le informazioni di una carta delle esposizioni dei versanti della valle del Rio Dora, fornita dal Geoportale del Piemonte e rielaborata tramite il software ArcGIS.

Nel caso in questione è stata utilizzata una Carta Solare ottenuta inserendo i dati specifici del luogo oggetto di analisi, tramite il sito *Sunearthtools.com*. In alternativa può essere però utilizzata una carta solare generica corrispondente alla latitudine del luogo analizzato.

Carta solare di Rivodora - Baldissero Torinese

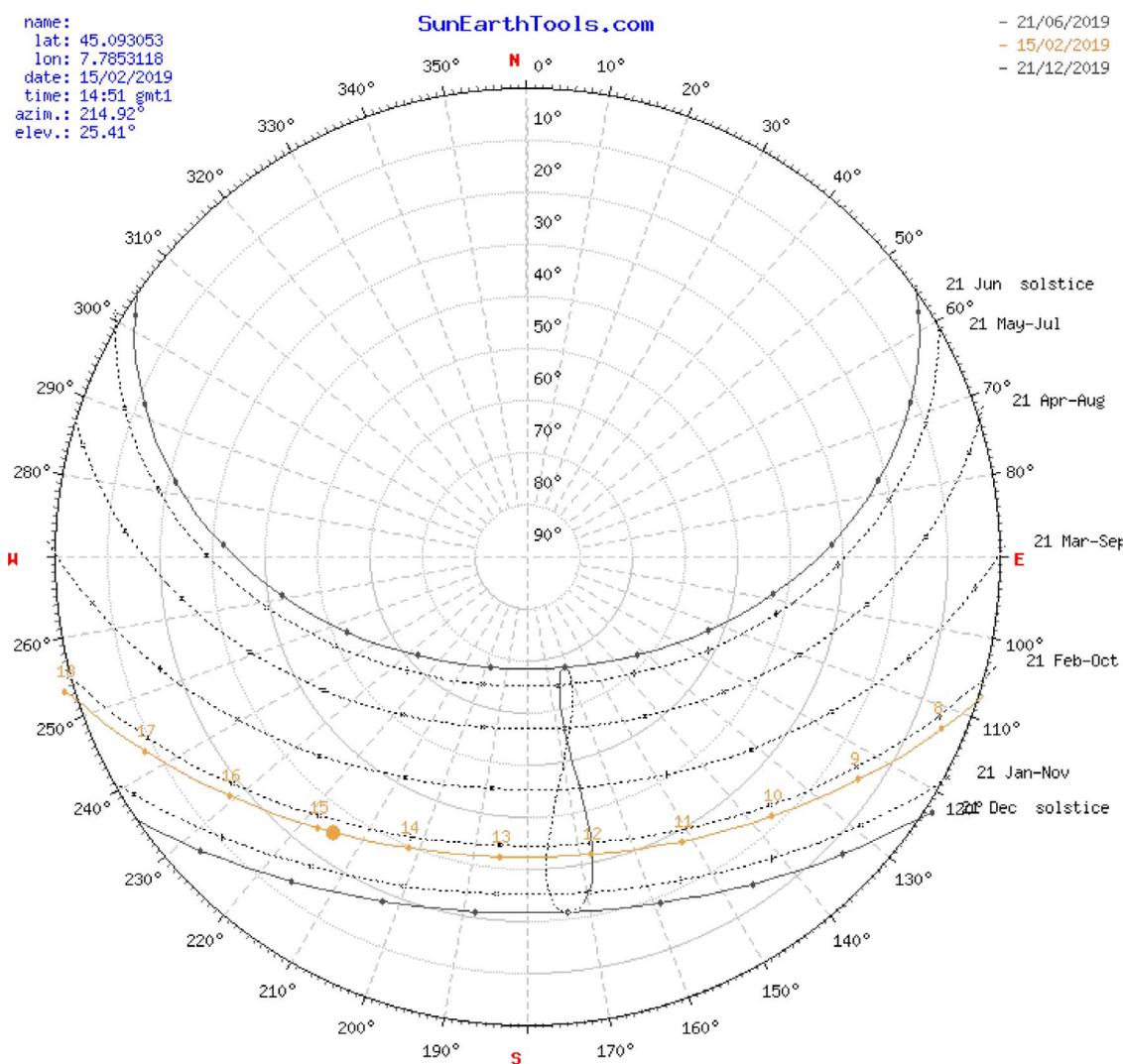


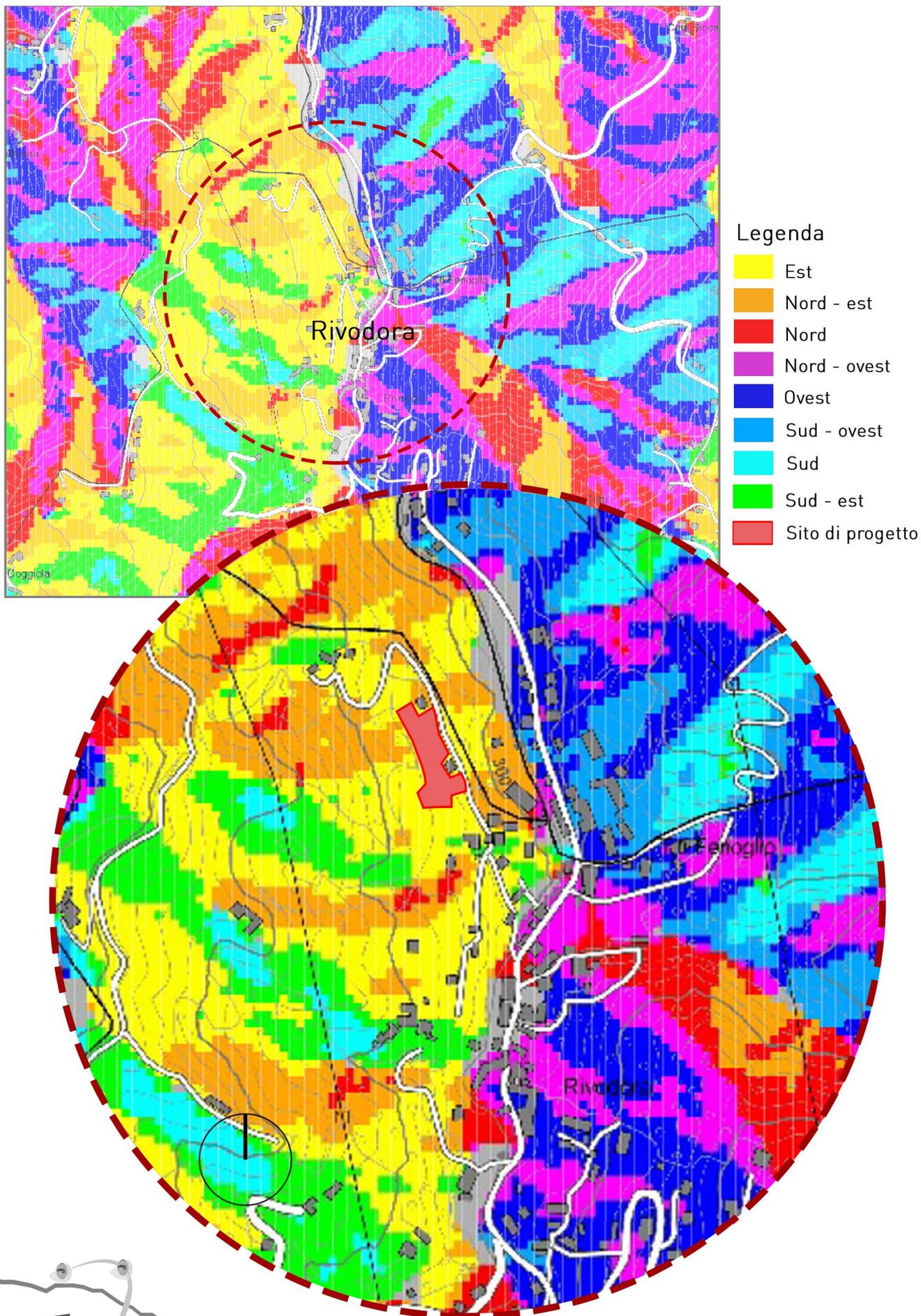
Immagine 7.5 - Carta solare di sito determinata tramite SunEarth Tools.

La carta solare in questione è stata ottenuta utilizzando il sito *SunEarthTools.com*, precedentemente citato, che ha come principale vantaggio quello di determinare l'andamento solare orario specifico della giornata in cui si sta consultando il software, oltre al percorso solare di alcuni giorni rappresentativi del ciclo climatico annuale, presente di default in qualsiasi carta solare.

Per ottenere la carta solare del sito di progetto sono stati quindi inseriti i dati di latitudine e longitudine del luogo, estrapolati attraverso una mappa interattiva messa a disposizione dal software stesso: in questo modo si riduce drasticamente il margine di errore che si avrebbe utilizzando coordinate più generiche.

Inquadramento dell'esposizione solare dei versanti della valle

Immagine 7.6 - Estratto carta Esposizione dei versanti - scala 1:10.000 - Geoportale del Piemonte



Determinazione della dinamica soleggiamento-ombreggiamento: il metodo diacronico

Dopo aver visto la rappresentazione dell'andamento solare a scala territoriale rappresentata sia dalla Carta Solare che da quella delle esposizioni, si procede alla determinazione della maschera d'ombra di sito, elaborata tramite un metodo manuale chiamato *Metodo diacronico*.

L'effettiva intensità radiativa, ovvero l'irraggiamento solare su unità di superficie, di un sito, considerando lo stesso valore di latitudine e il medesimo intervallo temporale, cambia in relazione a caratteristiche che dipendono da due livelli morfologici: per le zone montane si considera la configurazione geometrica del contesto a scala territoriale; le aree pianeggianti sono invece analizzate a scala locale e vengono maggiormente influenzate dai singoli ostacoli circostanti il sito.

Trovandoci in una zona collinare/montana, è importante, per determinare le interazioni tra irraggiamento solare e sito, analizzare le caratteristiche geometriche del contesto. Si possono utilizzare sia strumenti di calcolo e rappresentazione computerizzati, sia, più semplicemente, due metodi principali di rappresentazione grafica:

- *Metodo Sincronico*: determinazione del campo d'ombra proiettato su un sito da un ostacolo, considerando un'ora del giorno-tipo per i vari mesi dell'anno;
- *Metodo Diacronico*: scelto per la nostra analisi, consente la determinazione dell'arco orario in cui un punto del sito è soleggiato nei giorni-tipo per ogni mese dell'anno, ovvero la determinazione dell'*eliofania* e del relativo *indice di soleggiamento*.

L'*eliofania* è definita come una grandezza meteorologica che misura la durata del soleggiamento in una data località, mentre l'*indice di soleggiamento* è dato dal rapporto, per ogni mese, tra il periodo orario soleggiato e la durata del giorno a orizzonte libero.

Per l'analisi solare del sito di progetto si è scelto di utilizzare il secondo metodo, eseguito a scala territoriale individuando prima un punto O del sito di progetto, in questo caso il punto centrale, il quale sarà rappresentativo per determinare la fascia oraria di soleggiamento, e una serie di punti circostanti il sito, significativi per la rappresentazione della linea di cresta delimitante lo skyline dell'intorno del sito. Per ogni punto considerato viene poi calcolata la distanza rispetto al punto O , e le coordinate angolari di altezza α , e azimuth β : queste coordinate vengono poi ritrovate su diagramma polare.

Le fasi finali per la determinazione dell'*eliofania* sono quindi le seguenti:

- elaborazione, su diagramma polare, della maschera d'ombra di sito;
- sovrapposizione della maschera d'ombra così ottenuta alla carta solare di sito;
- determinazione, per il giorno tipo di ogni mese, di *eliofania* e *indice di soleggiamento* (non considerato nel nostro caso).

Nelle pagine seguenti viene illustrato il procedimento di determinazione dell'*eliofania* applicato sul sito di progetto.

Individuazione dei punti significativi nell'intorno del sito

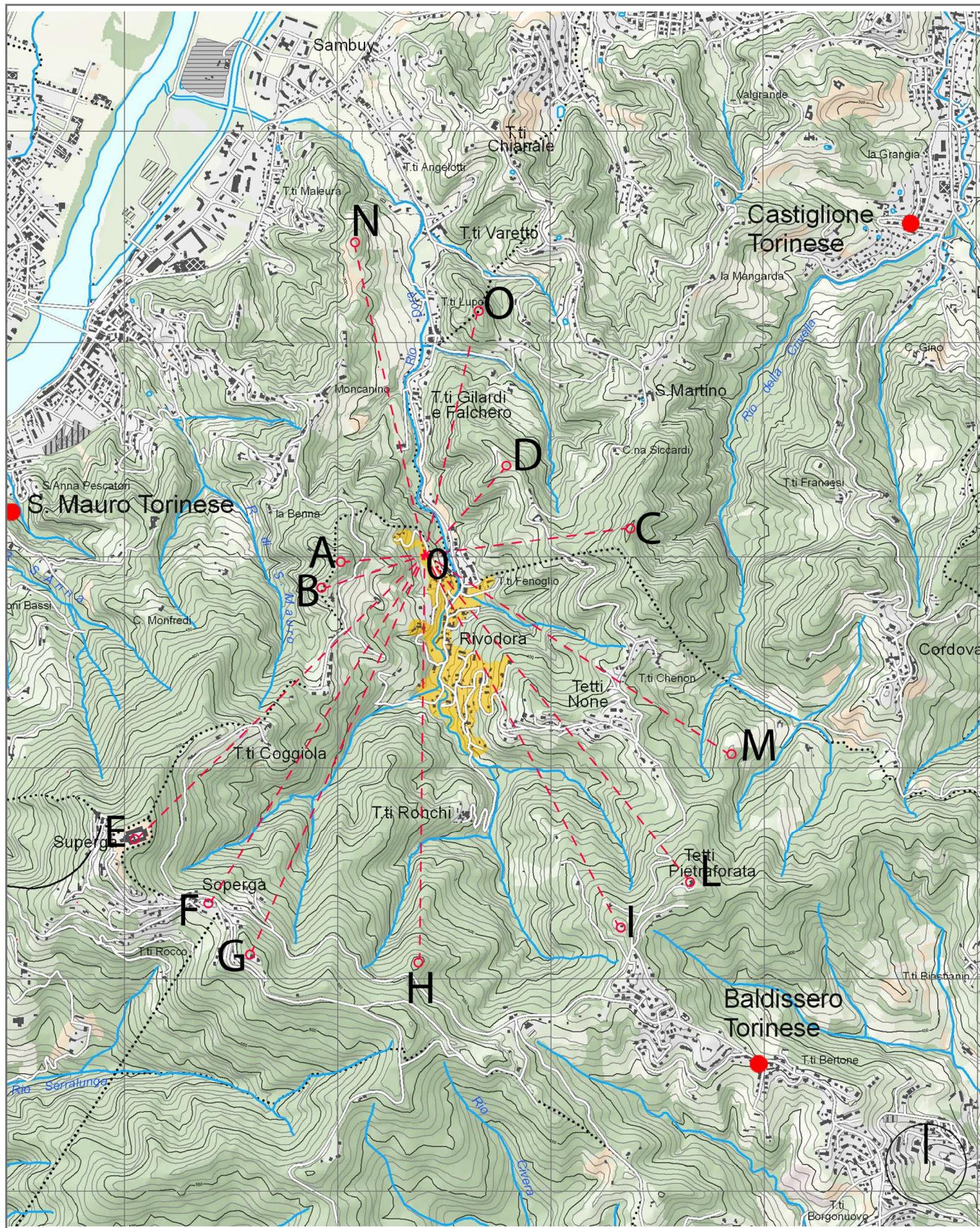
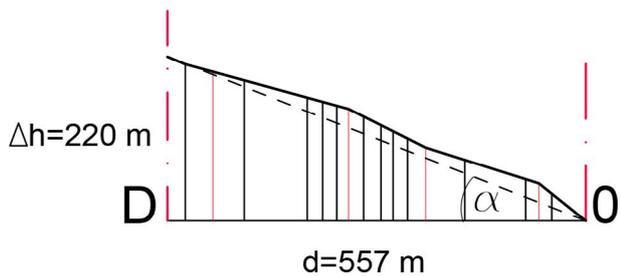
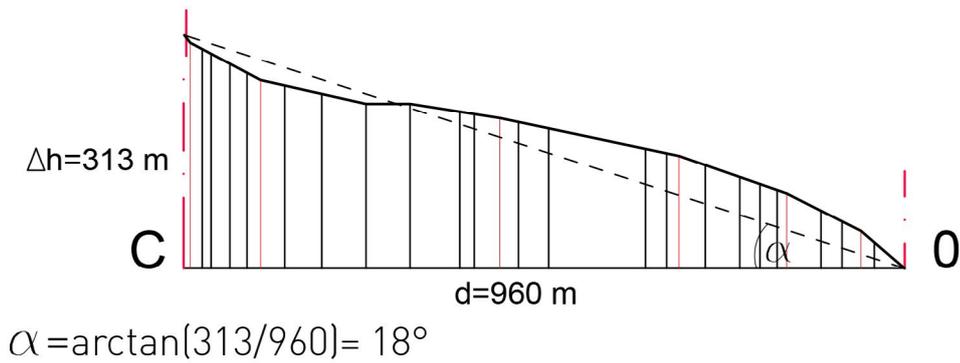
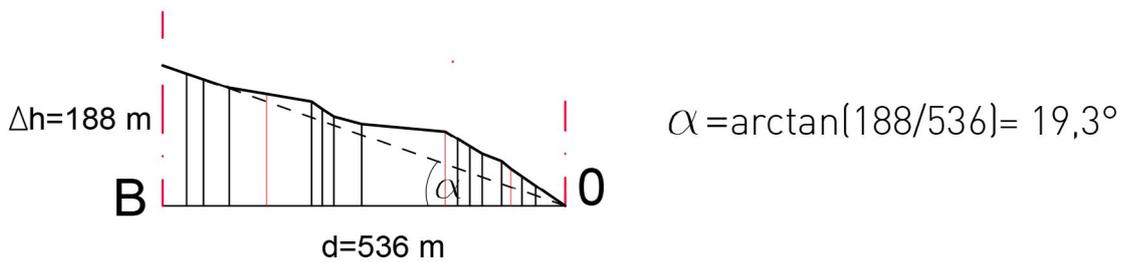
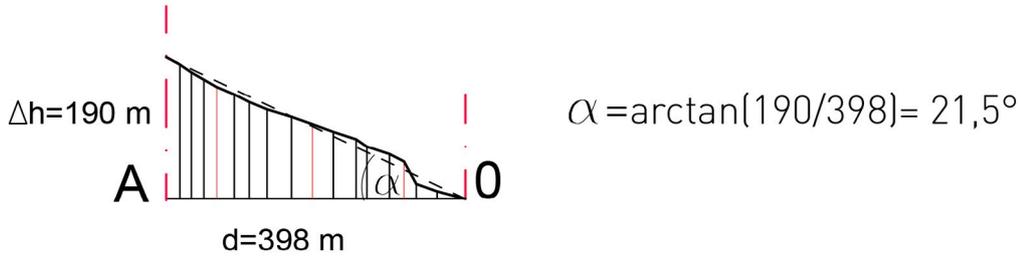


Immagine 7.7 - Carta solare di sito determinata tramite SunEarth Tools.

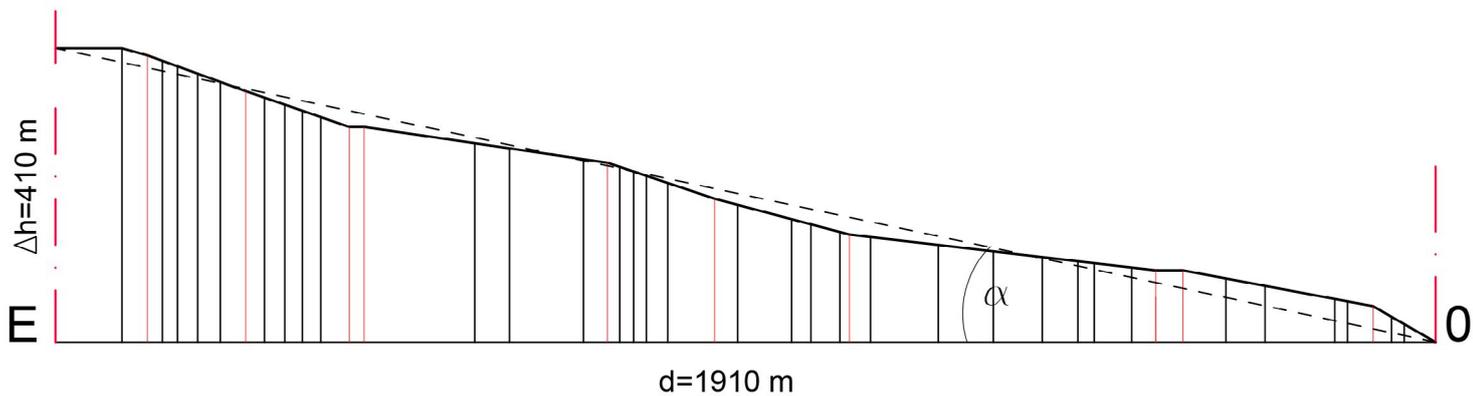
Determinazione delle coordinate angolari dei punti

Calcolo dell'altezza α per ogni punto.

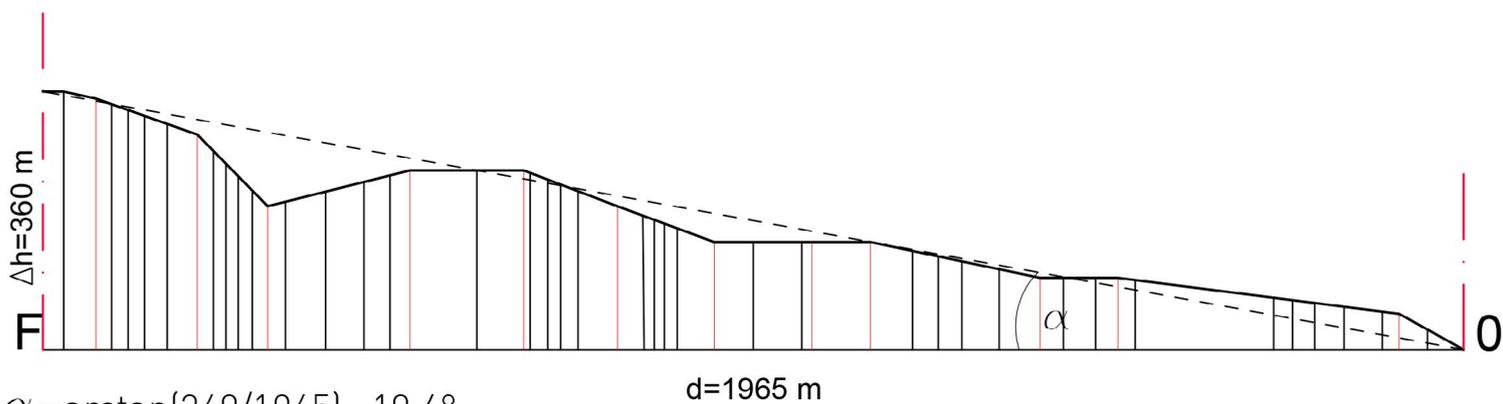
Sezioni in scala 1:10.000



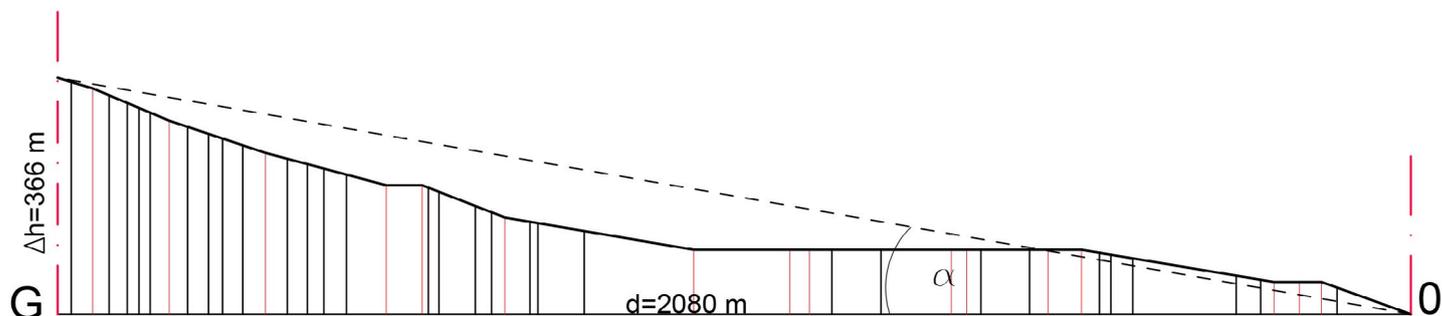
$\alpha = \arctan(220/557) = 21,5^\circ$



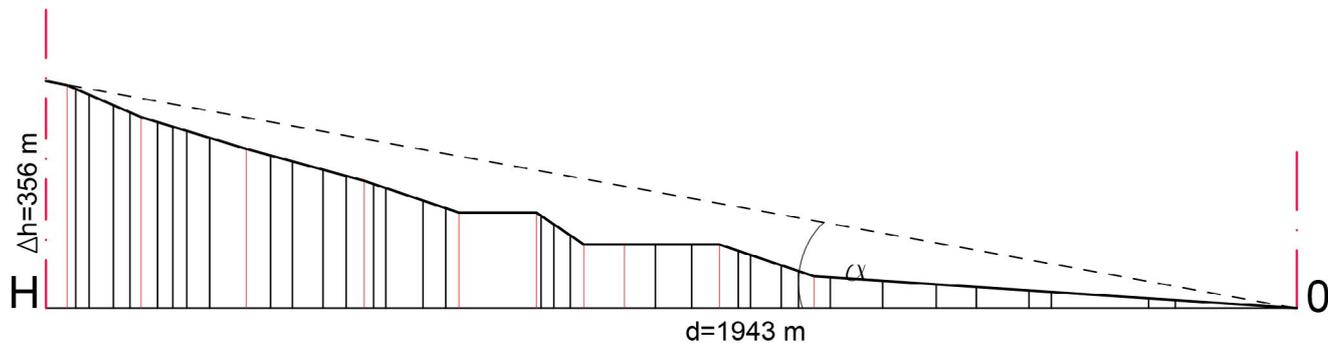
$$\alpha = \arctan(410/1912) = 12^\circ$$



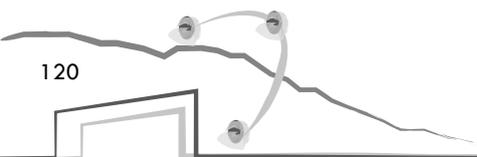
$$\alpha = \arctan(360/1965) = 10,4^\circ$$

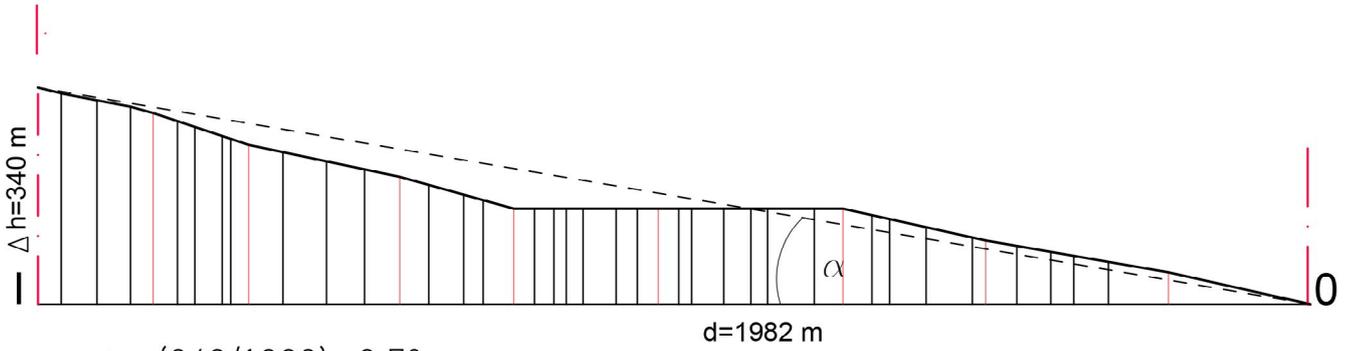


$$\alpha = \arctan(366/2080) = 10^\circ$$

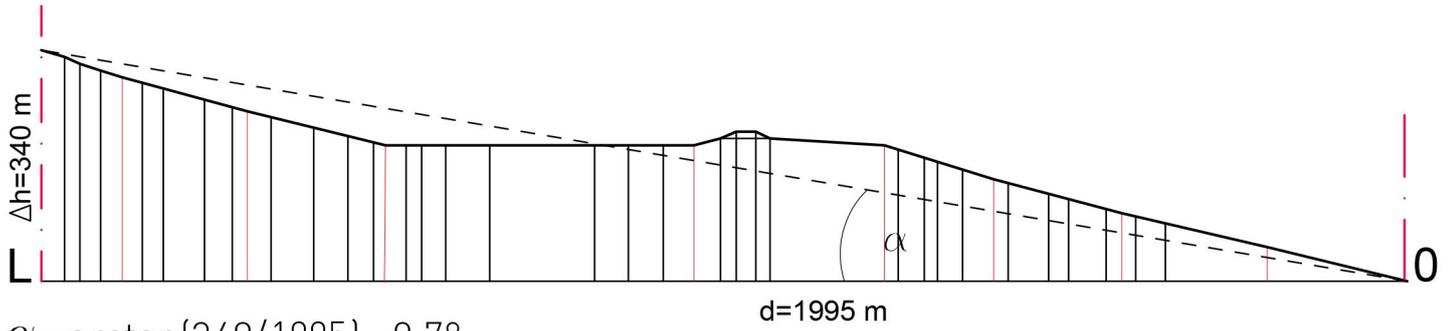


$$\alpha = \arctan(356/1943) = 10^\circ$$

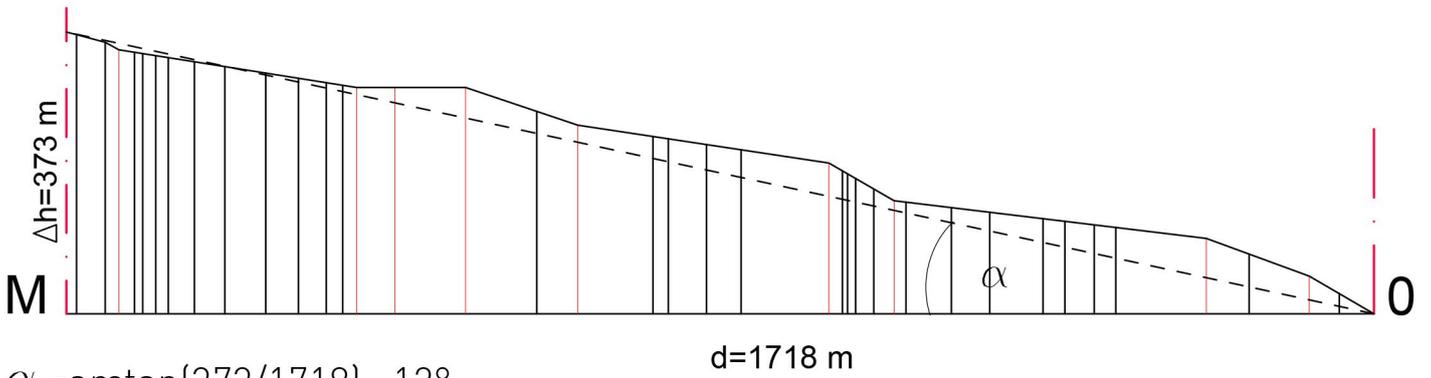




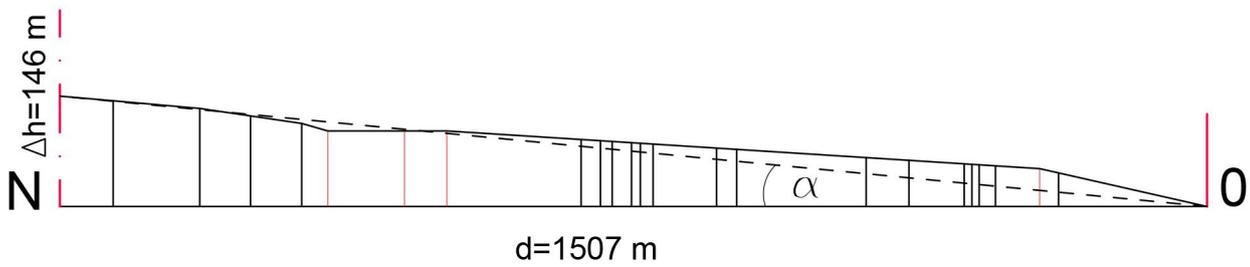
$\alpha = \arctan(340/1982) = 9,7^\circ$



$\alpha = \arctan(340/1995) = 9,7^\circ$

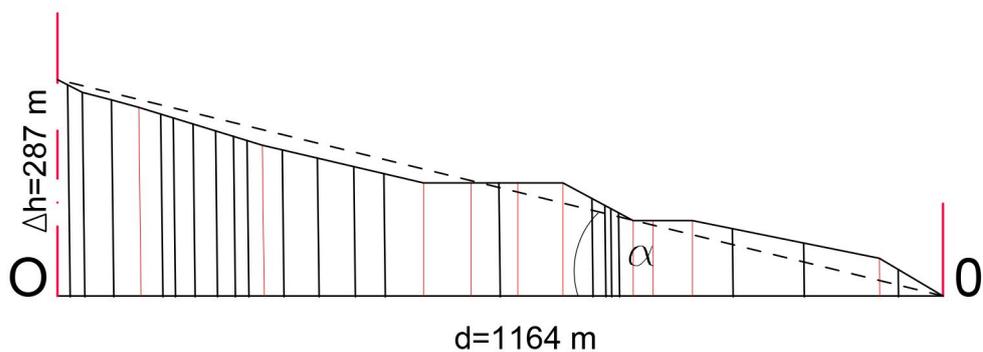


$\alpha = \arctan(373/1718) = 12^\circ$



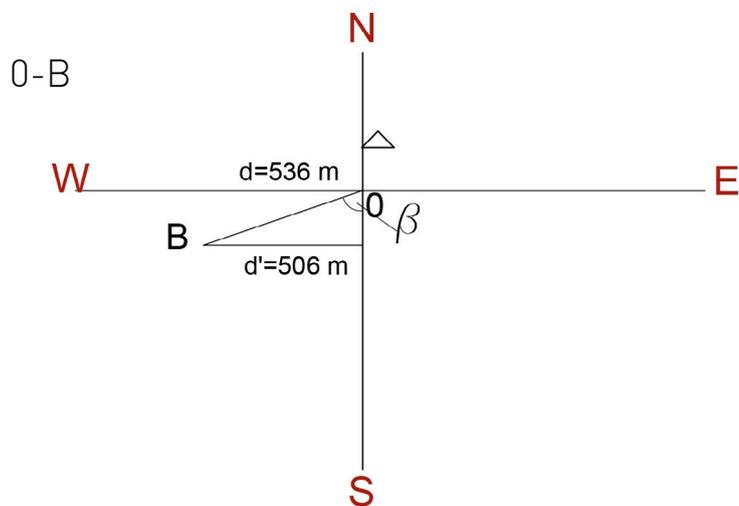
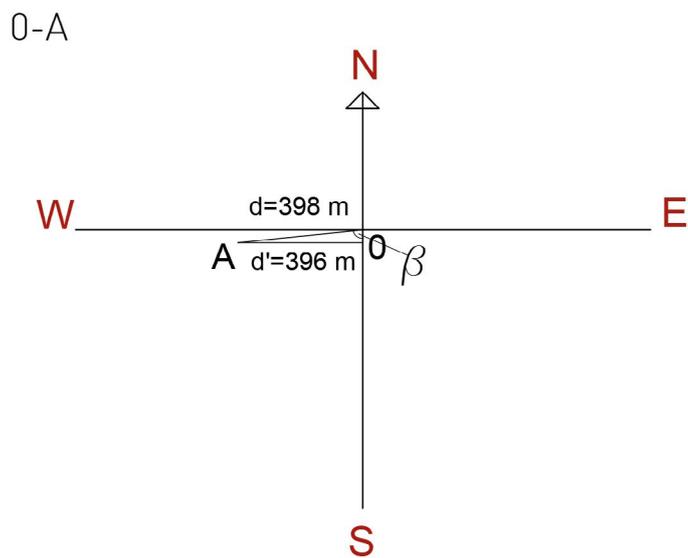
$\alpha = \arctan(146/1508) = 6^\circ$

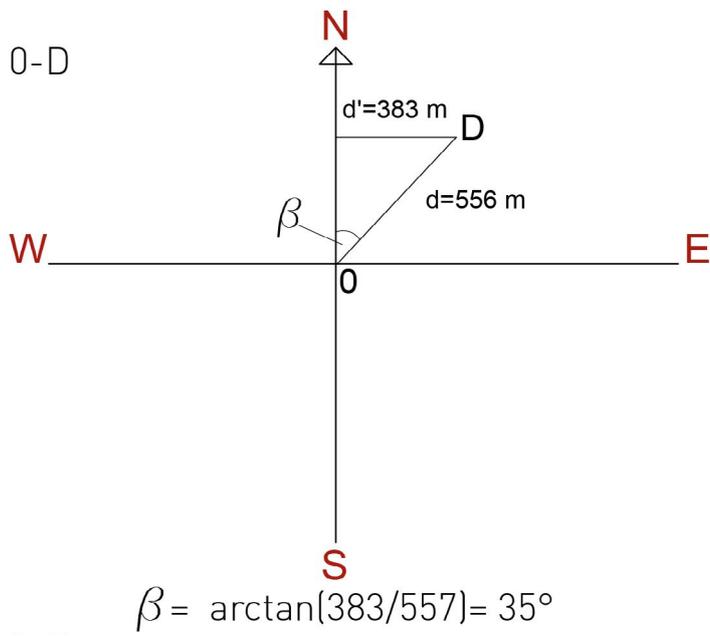
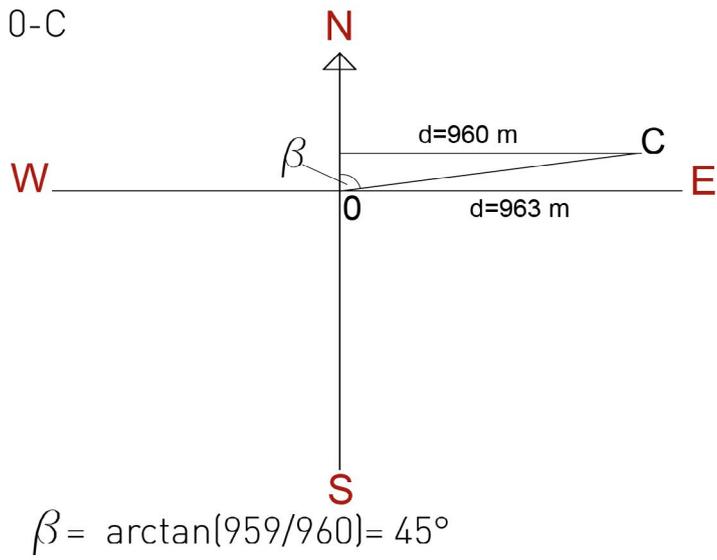


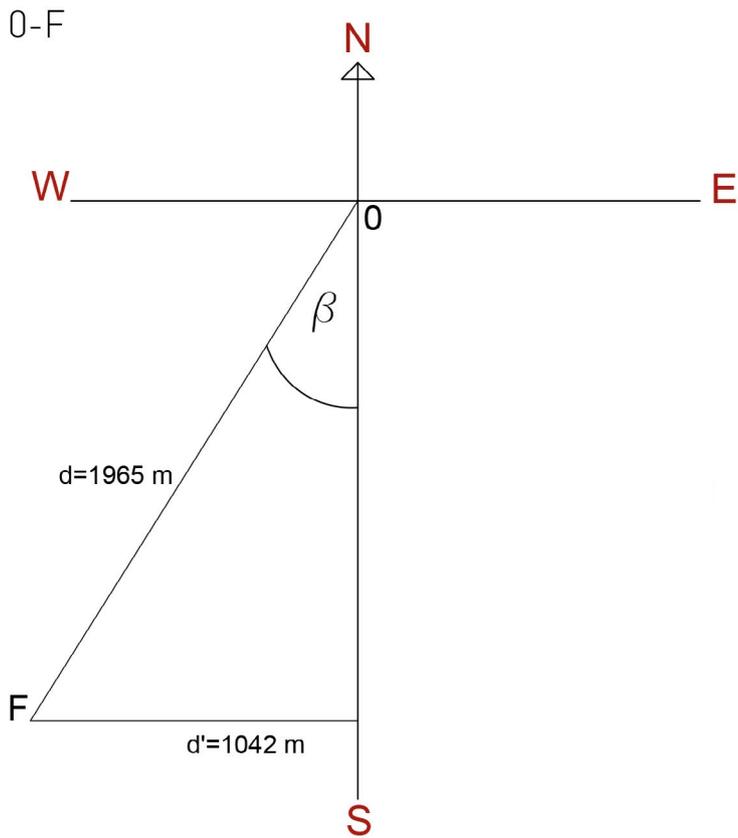
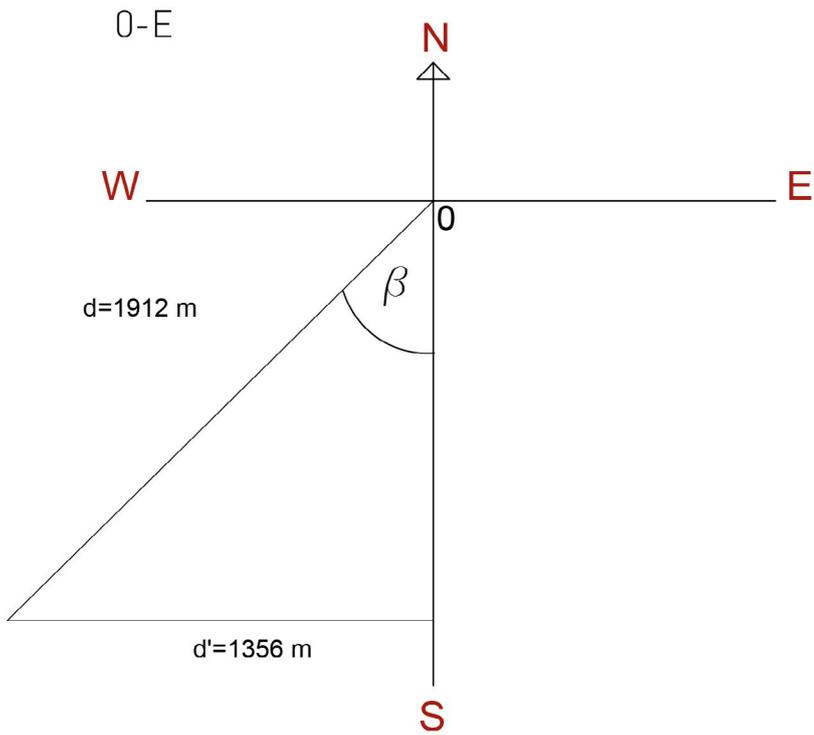


$$\alpha = \arctan\{287/1164\} = 14^\circ$$

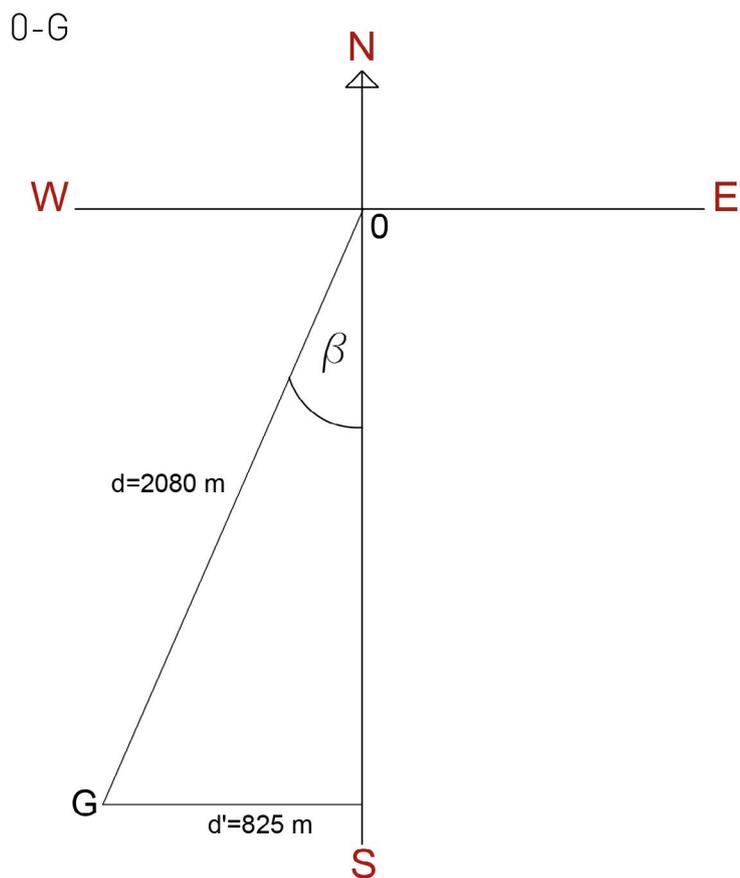
Calcolo dell'azimuth β per ogni punto.



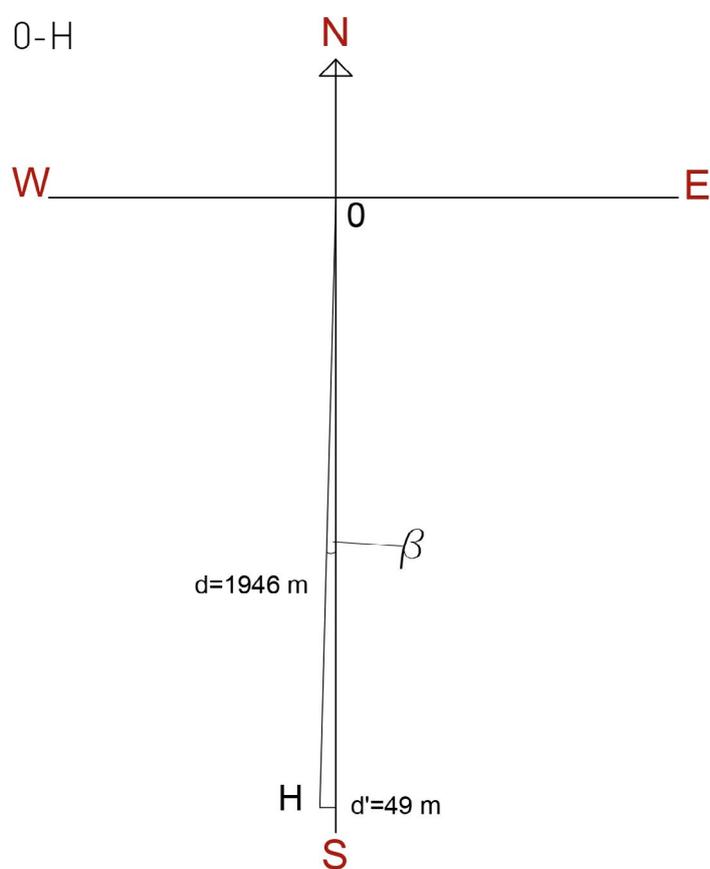




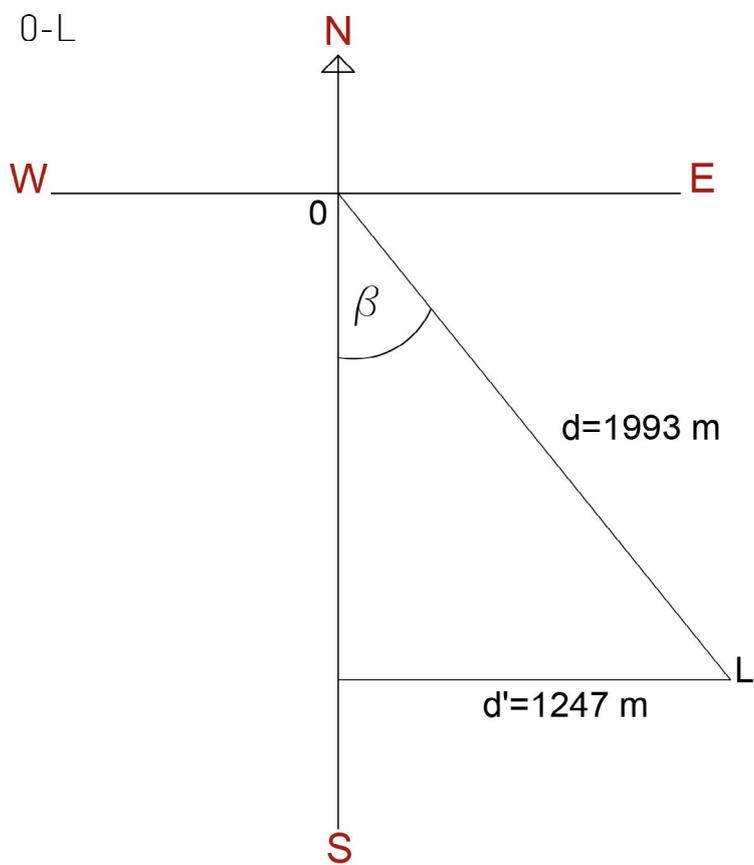
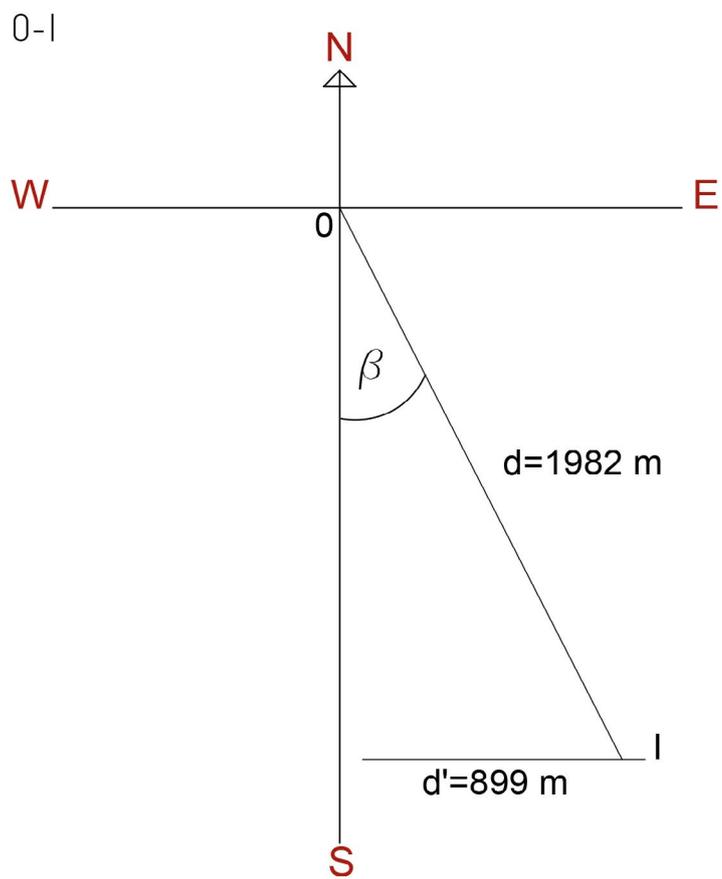
$$\beta = \arctan(1042/1965) = 35^\circ$$



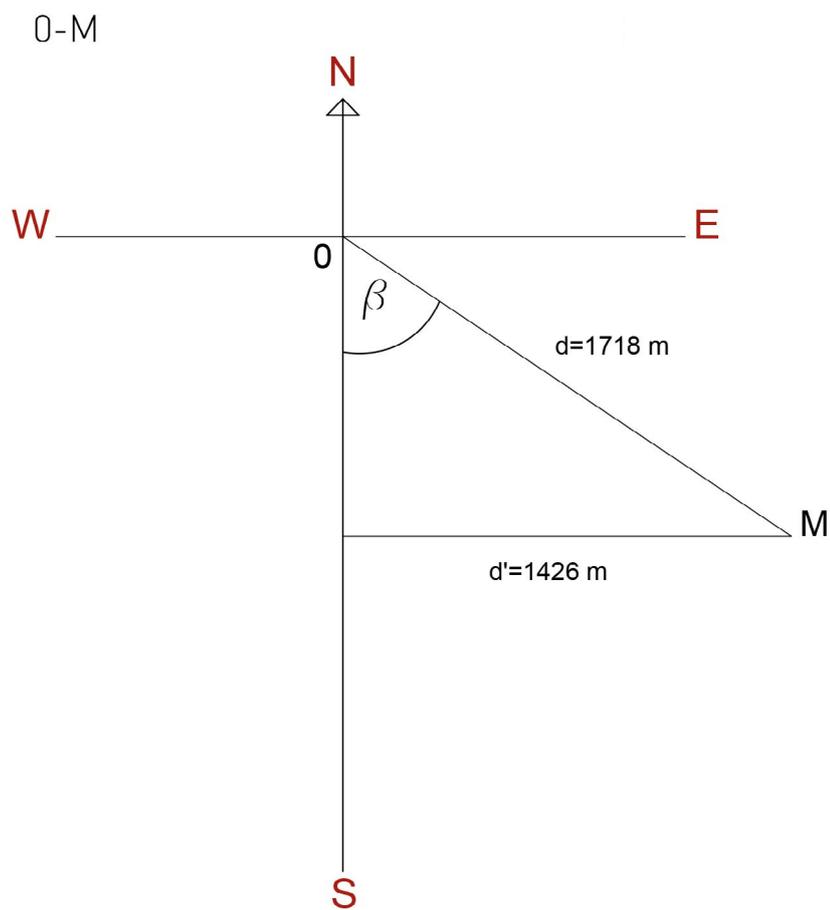
$$\beta = \arctan(825/2080) = 22^\circ$$



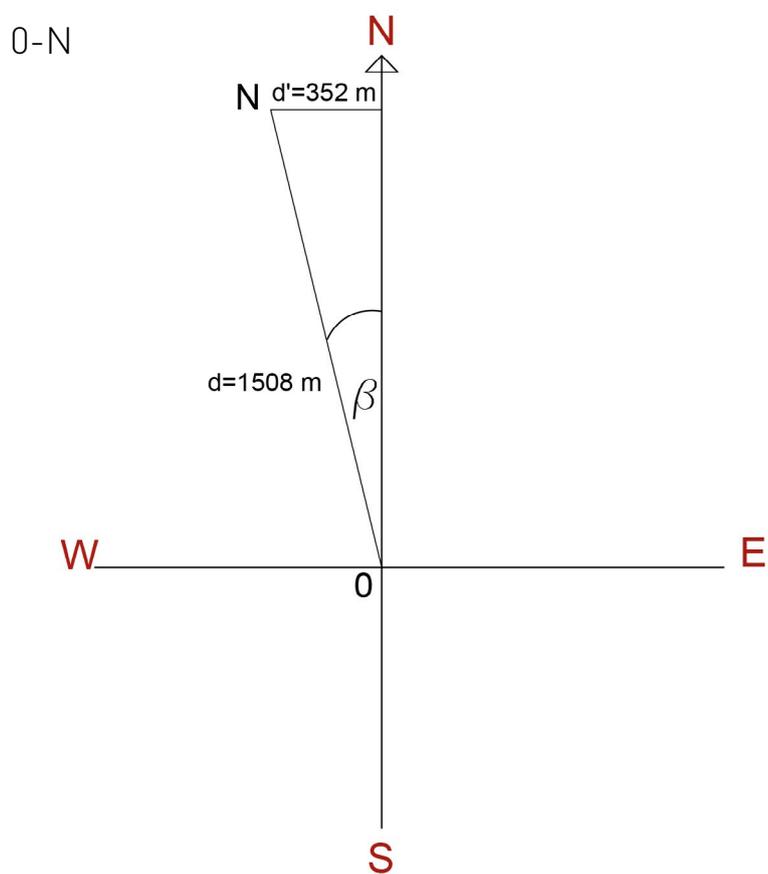
$$\beta = \arctan(49/1943) = 14^\circ$$



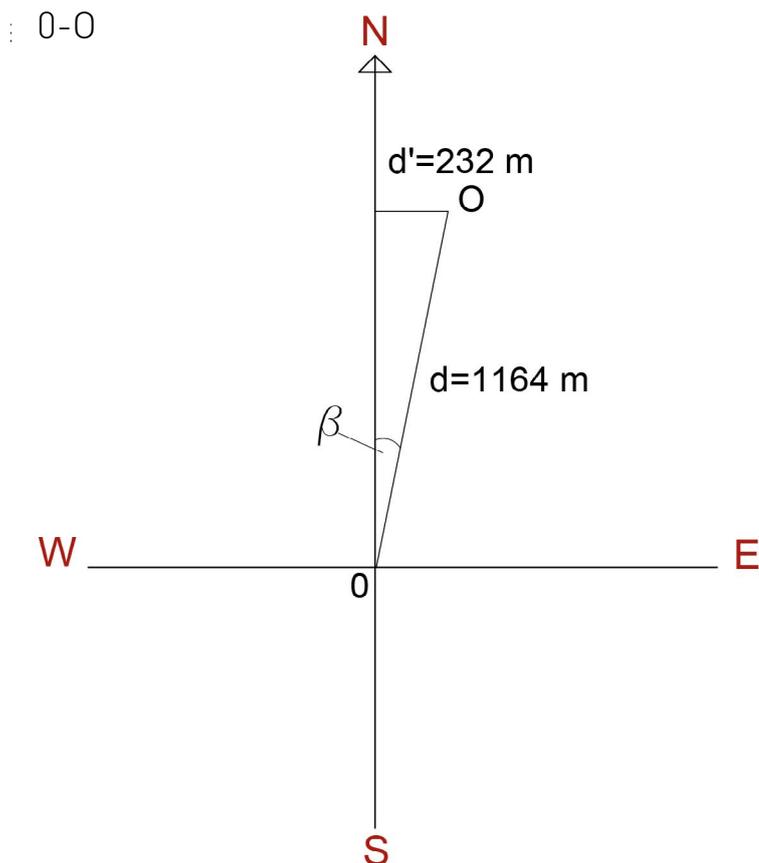
$$\beta = \arctan(899/1995) = 14^\circ$$



$$\beta = \arctan(1426/1718) = 40^\circ$$



$$\beta = \arctan(352/1508) = 13^\circ$$

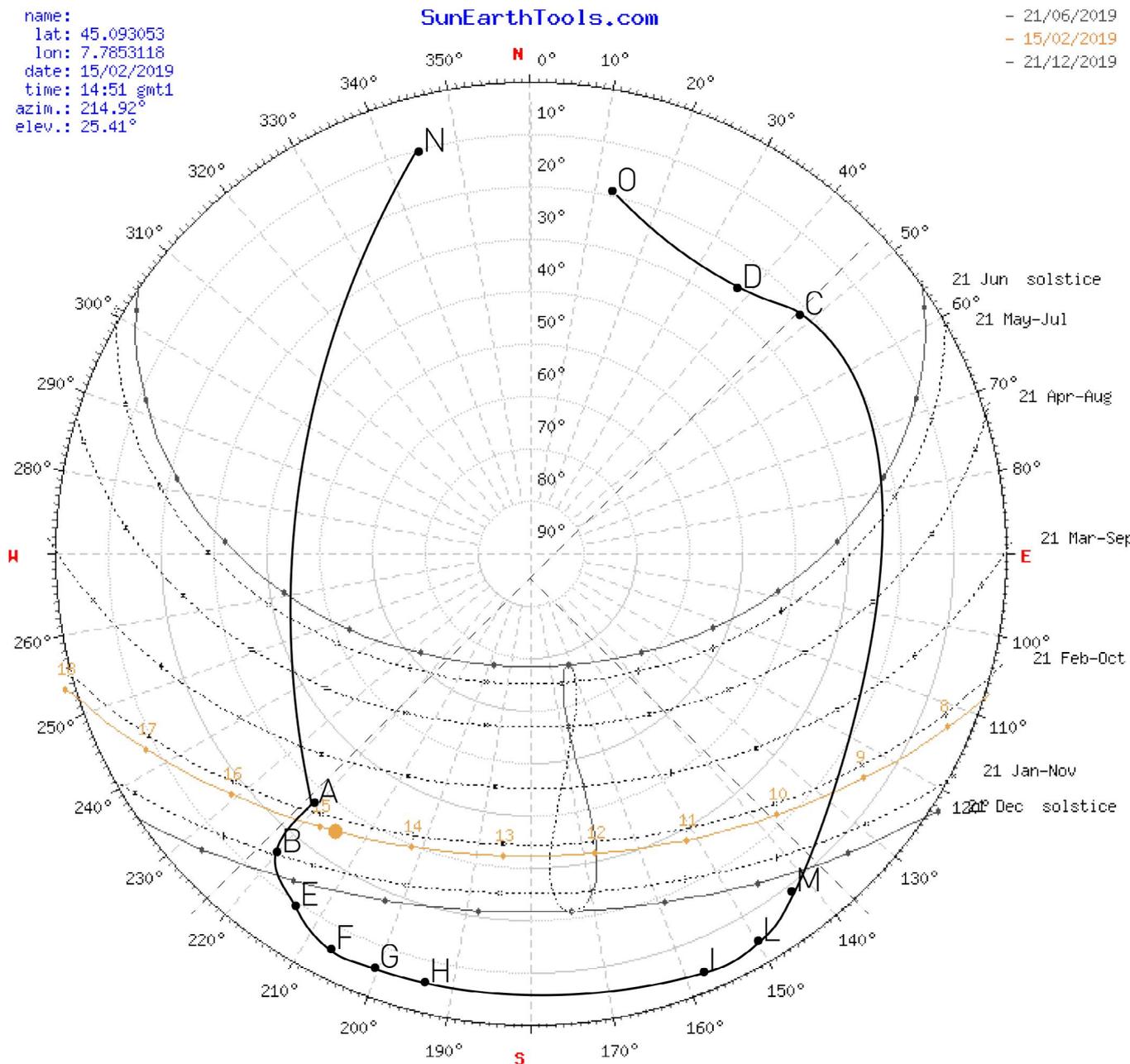


Dopo aver determinato le coordinate angolari per ciascun punto tra quelli scelti, si procede alla determinazione dell'eliofanìa, prima trovando le coordinate dei punti su diagramma polare, poi sovrapponendo il risultato alla carta solare del luogo per ottenere la maschera oraria di soleggiamento del sito. Di seguito il riassunto delle coordinate angolari di riferimento per l'ottenimento della maschera d'ombra di sito.

Coordinate angolari di riferimento per ogni punto individuato sulla mappa del territorio:

- A. $\alpha = 25,5^\circ$ $\beta = 44^\circ$
- B. $\alpha = 19,3^\circ$ $\beta = 43^\circ$
- C. $\alpha = 18^\circ$ $\beta = 45^\circ$
- D. $\alpha = 21,5^\circ$ $\beta = 35^\circ$
- E. $\alpha = 12^\circ$ $\beta = 35^\circ$
- F. $\alpha = 10,4^\circ$ $\beta = 28^\circ$
- G. $\alpha = 10^\circ$ $\beta = 22^\circ$
- H. $\alpha = 10^\circ$ $\beta = 14^\circ$
- I. $\alpha = 9,7^\circ$ $\beta = 24^\circ$
- L. $\alpha = 9,7^\circ$ $\beta = 32^\circ$
- M. $\alpha = 12^\circ$ $\beta = 40^\circ$
- N. $\alpha = 6^\circ$ $\beta = 13^\circ$
- O. $\alpha = 14^\circ$ $\beta = 11^\circ$

Determinazione dell'eliofania sulla carta solare del sito



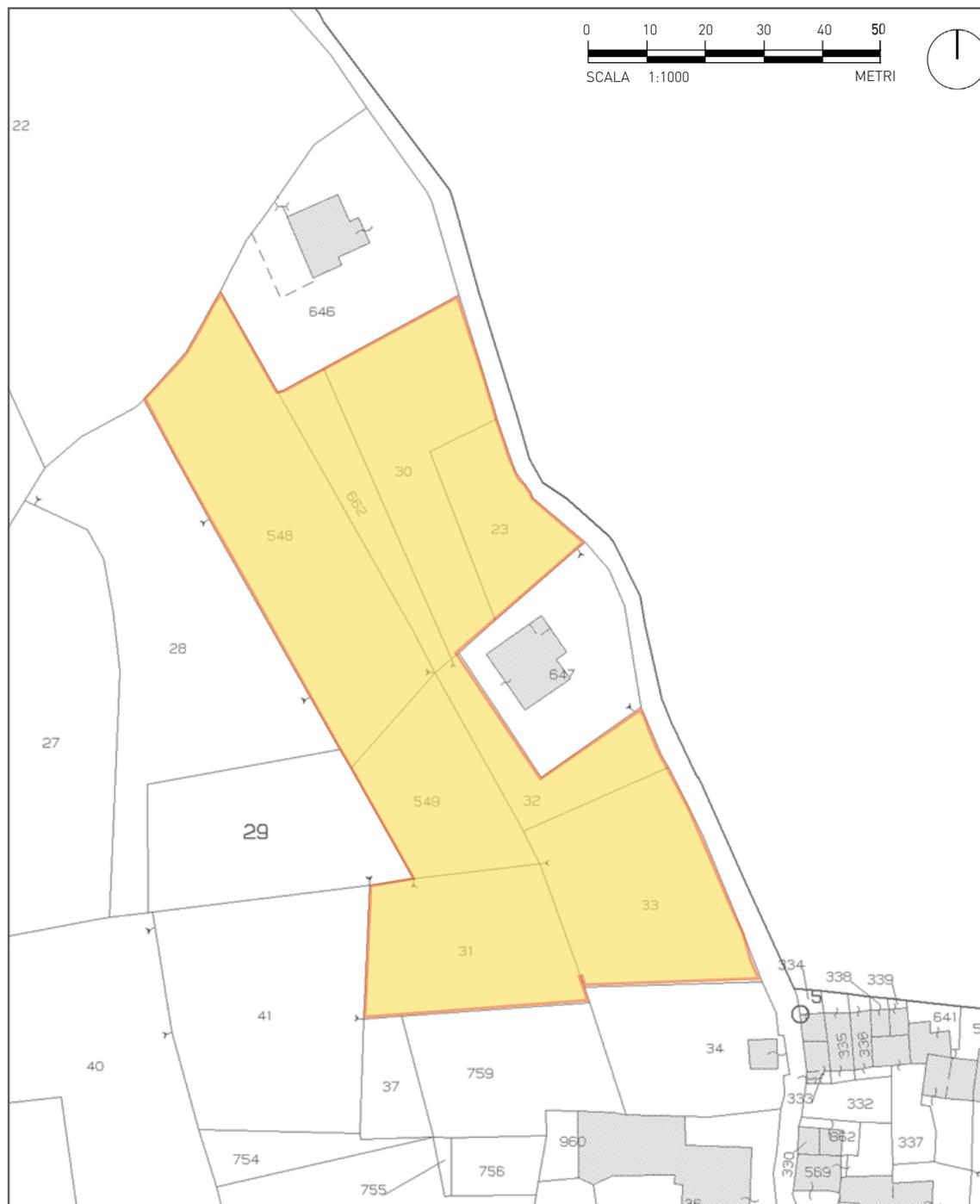
La maschera d'ombra ottenuta dalla sovrapposizione delle coordinate sulla carta solare evidenzia come l'esposizione diurna del sito sia ottima fino alle prime ore pomeridiane, mentre nelle ore serali e nelle prime ore del mattino i punti prescelti proiettano ombra sulla valle.

Con questo ultimo passaggio si conclude l'analisi a scala territoriale dell'area e inizia quella microclimatica che si concentra principalmente sulla parte di territorio oggetto di modifiche progettuali.

7.2 Analisi microclimatica

Dopo aver analizzato le caratteristiche climatiche a scala territoriale - 1.25.000 - si procede all'analisi delle caratteristiche microclimatiche di sito, utilizzando le informazioni su vento, percorso solare, orientamento di sito e presenza di vegetazione e/o edifici preesistenti nell'area limitrofa al sito. In primo luogo, vengono delimitati i confini dell'area del sito che saranno oggetto di determinazione della matrice microclimatica di sito allo stato di fatto.

Per ottenere una maggiore esattezza nella scelta dei confini, delimitiamo l'area da analizzare dalla carta catastale del sito.



L'area evidenziata con il colore arancione corrisponde ai confini effettivi del sito di progetto, in base alla mappa catastale. In particolare, i lotti interessati dal progetto sono i numeri 23, 30, 31, 32, 33, 548 e 662.

A partire da questo documento, si andrà a elaborare la matrice microclimatica di sito, preliminare al progetto e che anzi servirà da strumento stesso per le scelte progettuali. Per la matrice microclimatica però è necessario analizzare più nel dettaglio cosa succede a livello microclimatico nell'immediato intorno del sito: con l'aiuto dell'ortofoto raffigurante la zona di Baldissero Torinese, presente sul Geoportale del Piemonte, si andrà a evidenziare delineare lo stato di fatto del sito di progetto, con gli elementi fisici di interesse per la creazione della matrice caratteristica del sito.

Immagine 7.8 - Estratto mappa catastale F1 - Ufficio Provinciale di Torino - Territorio Servizi catastali

Osservazione dello stato di fatto

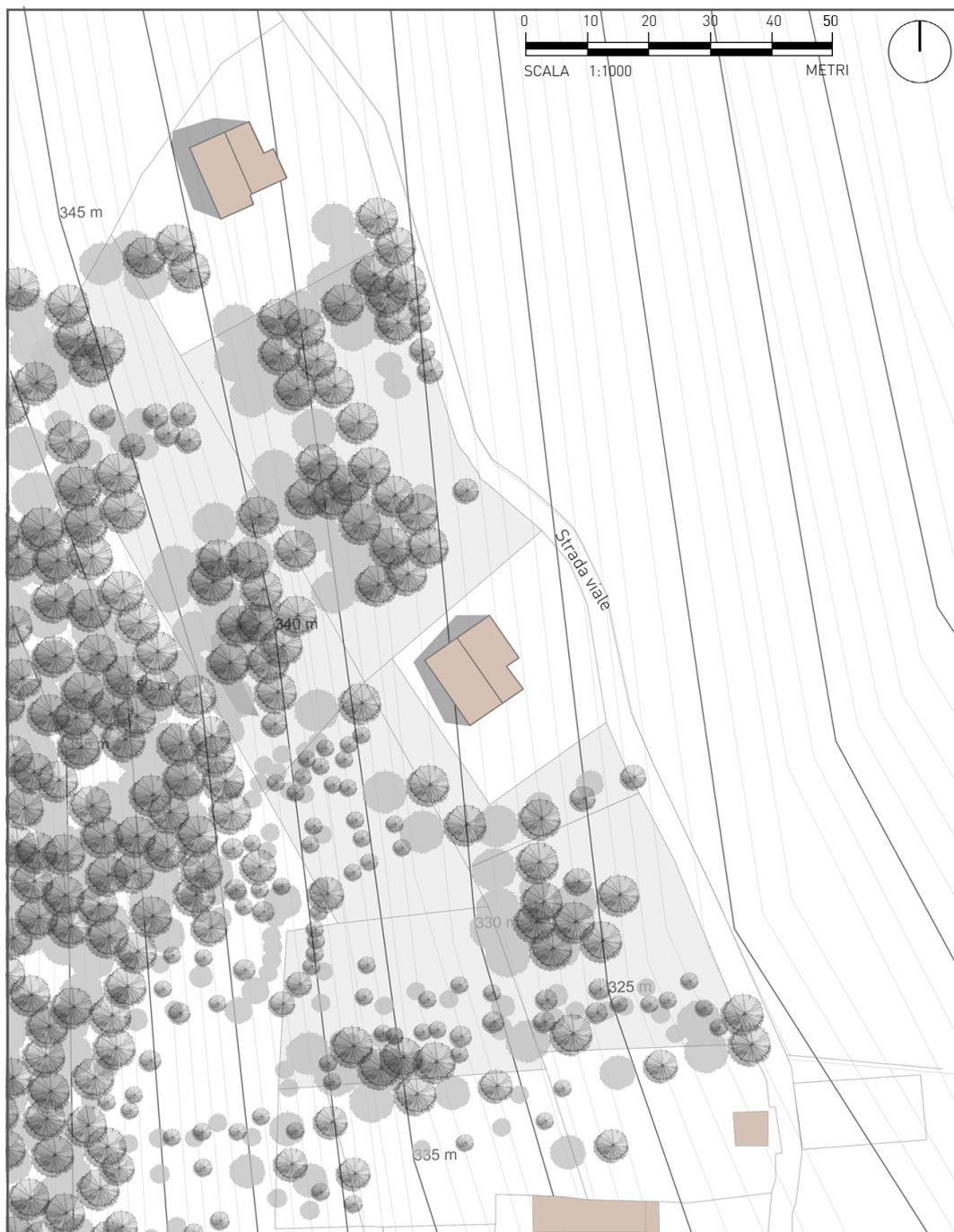
Dall'ortofoto si può osservare nel dettaglio la presenza di vegetazione, in particolare gli attuali alberi/ar-busti presenti nei terreni del lotto: l'individuazione della posizione di tali elementi è molto importante per lo studio del microclima interno al sito, in quanto essi hanno una notevole influenza sul microclima dell'area. Di fatto, qualsiasi ostacolo presente su un territorio ha effetti di modificazione, come abbiamo visto nel capitolo 2, sui fattori naturali del clima.

Dopo aver osservato la conformazione fisica del territorio, si elaborano graficamente le informazioni ottenute.

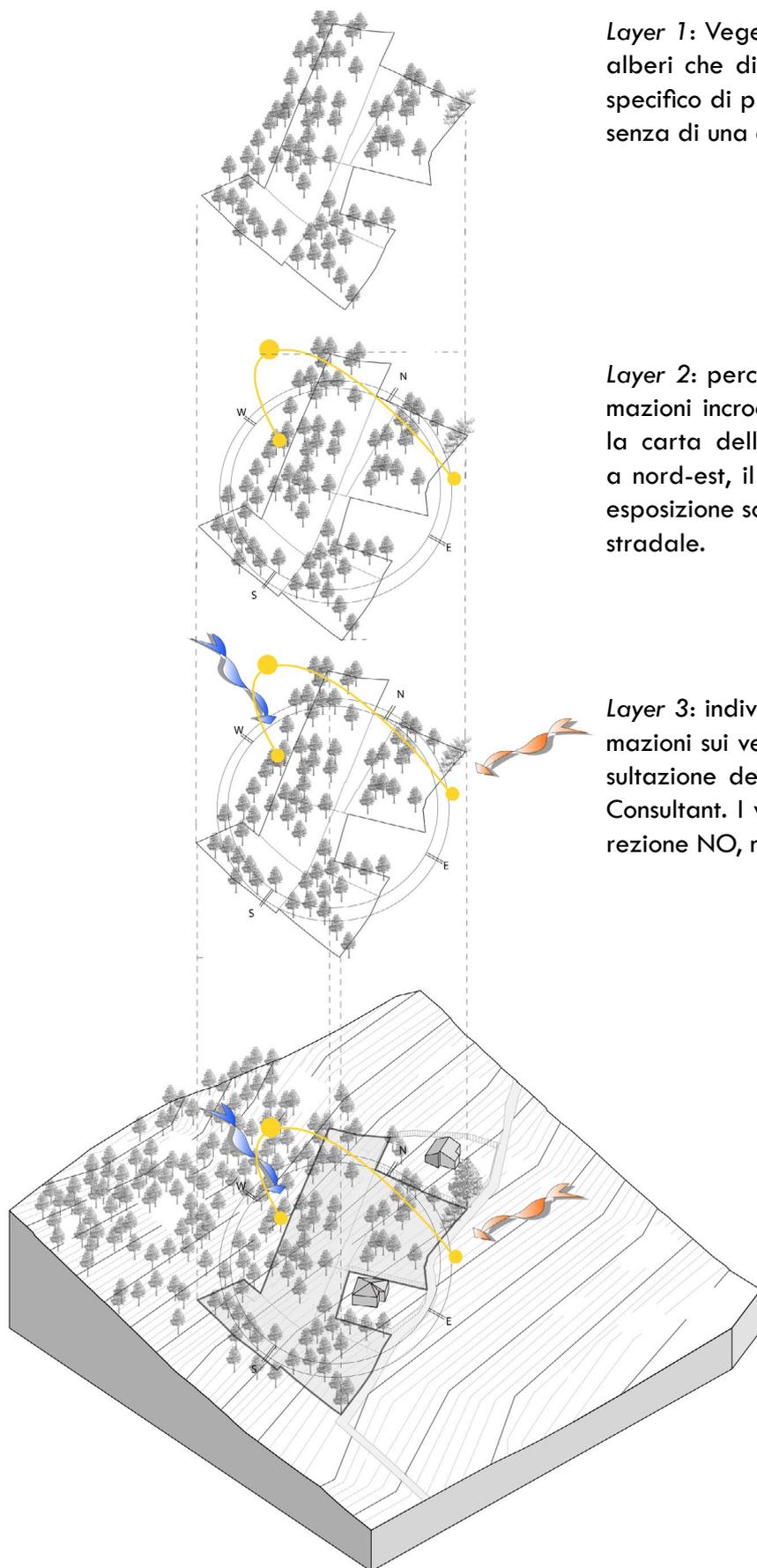


Immagine 7.9 - Estratto ortofoto area di Baldissero Torinese - foglio 156100 - Geoportale del Piemonte

Elaborazione grafica dello stato di fatto



Elaborazione grafica tridimensionale assonometrica dello stato di fatto



Layer 1: Vegetazione presente su sito, sia a livello di alberi che di arbusti, nei territori retrostanti il lotto specifico di progetto, è segnalata addirittura la presenza di una copertura boschiva.

Layer 2: percorso solare, ricavato in base alle informazioni incrociate della carta solare del sito e della carta delle esposizioni. Essendo il lotto esposto a nord-est, il percorso solare suggerisce una buona esposizione solare del lato più vicino al collegamento stradale.

Layer 3: individuazione dei venti prevalenti. Le informazioni sui venti sono state ricavate grazie alla consultazione della Wind Wheel del software Climate Consultant. I venti prevalenti invernali soffiano in direzione NO, mentre quelli estivi NE.

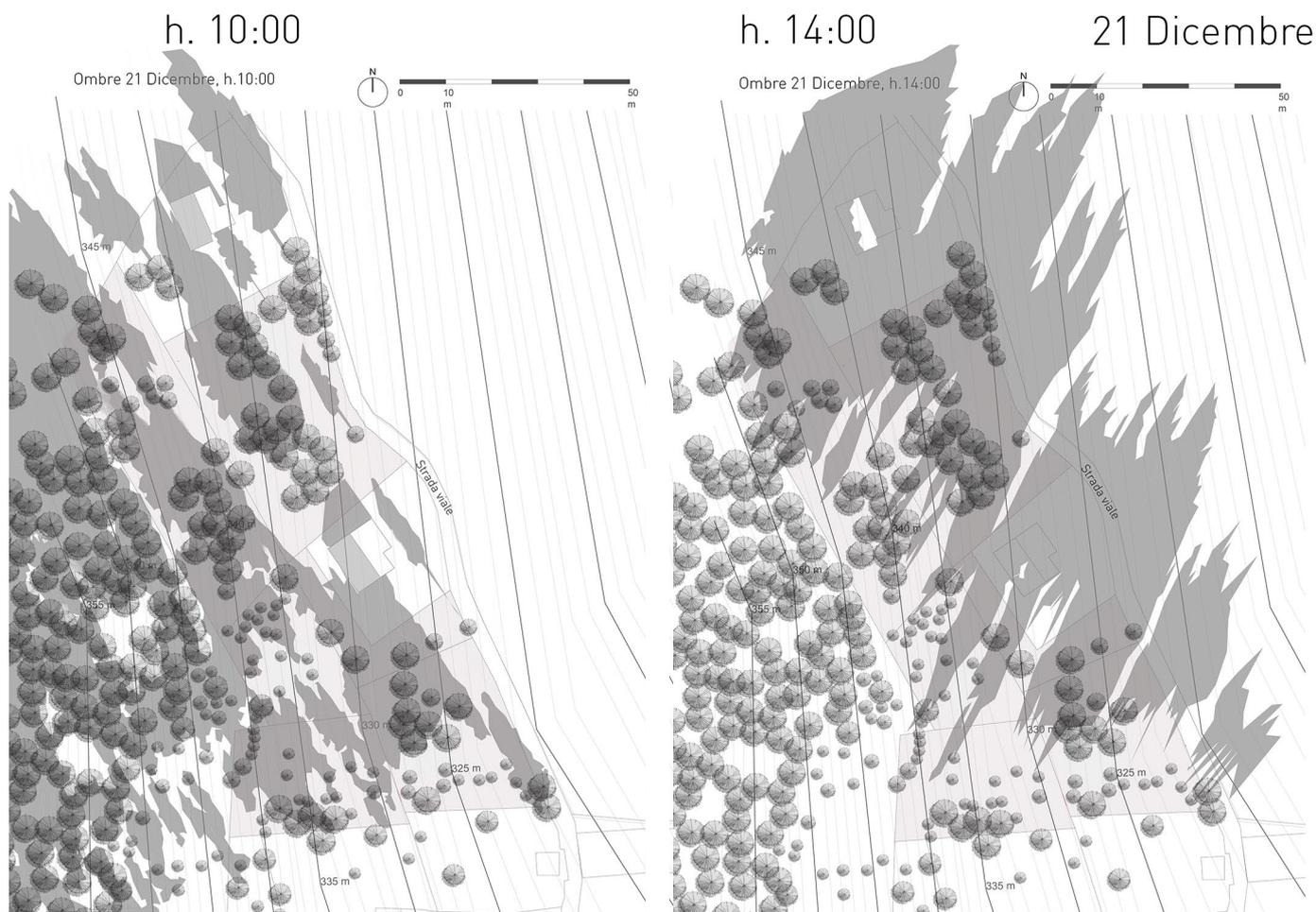
Le informazioni ottenute con l'analisi climatica vengono quindi riassunte in uno schema che servirà da guida per l'elaborazione della matrice microclimatica di sito. Nel caso della copertura vegetativa, così come delle architetture preesistenti, è importante non considerare unicamente ciò che si trova all'interno dei confini del lotto ma anche quella che interessa i territori direttamente limitrofi, poiché essa andrà a influenzare il clima interno all'area.

7.2.1 Elaborazione della matrice microclimatica di sito preliminare al progetto

Partendo dallo schema riassuntivo dei dati raccolti sulle caratteristiche climatiche di sito, si procede all'elaborazione della matrice microclimatica di studio del lotto.

Verranno elaborate in tutto quattro matrici microclimatiche di sito, corrispondenti alle date del 21 Dicembre e del 21 Giugno, rispettivamente il solstizio d'inverno e quello d'estate, nelle ore mattutine e pomeridiane di tale giornata tipo. Lo studio delle ombre può essere condotto con qualsiasi software di modellazione 3D: nel caso presente è stato utilizzato Sketch Up, in quanto esso è in grado di creare una simulazione delle ombre esatte partendo dalla geolocalizzazione del modello tramite Google Earth.

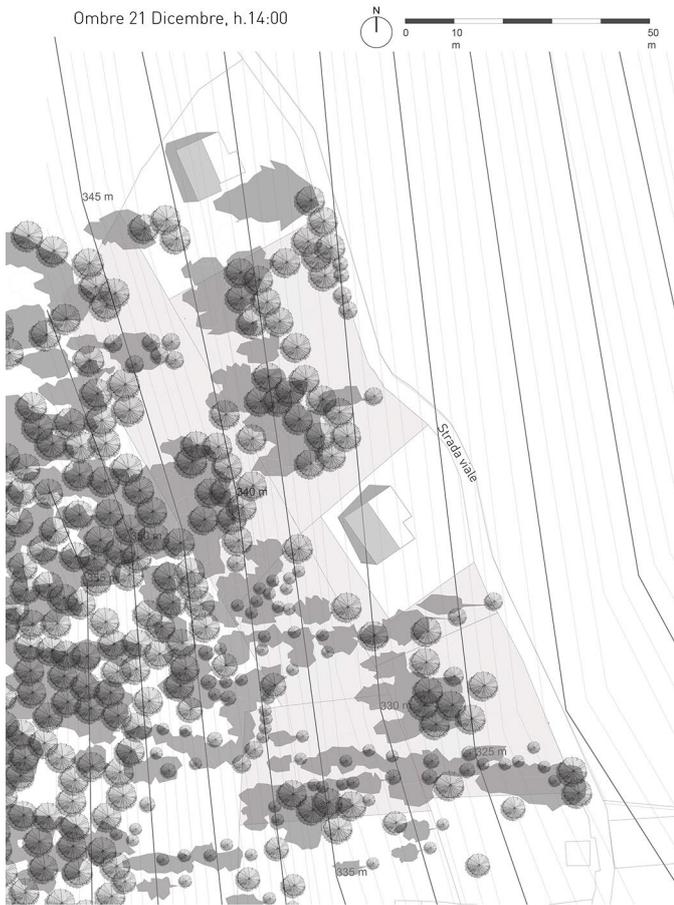
Determinazione dell'ombreggiatura nello stato di fatto



h. 08:00

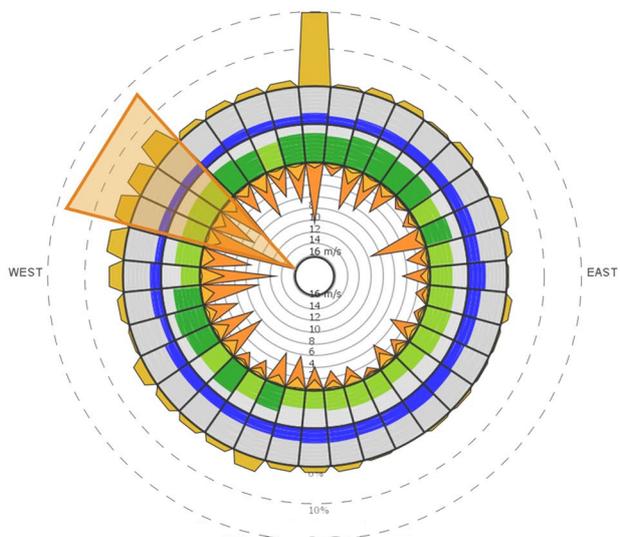
h. 16:00

21 Giugno

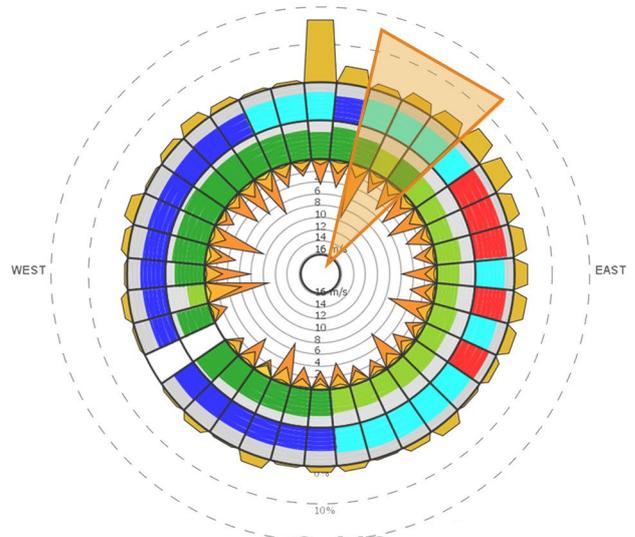


Determinazione venti prevalenti in base alle informazioni della Ruota dei venti

Ruota dei venti invernale



Ruota dei venti estiva



Determinazione della zona di calma del vento di sito

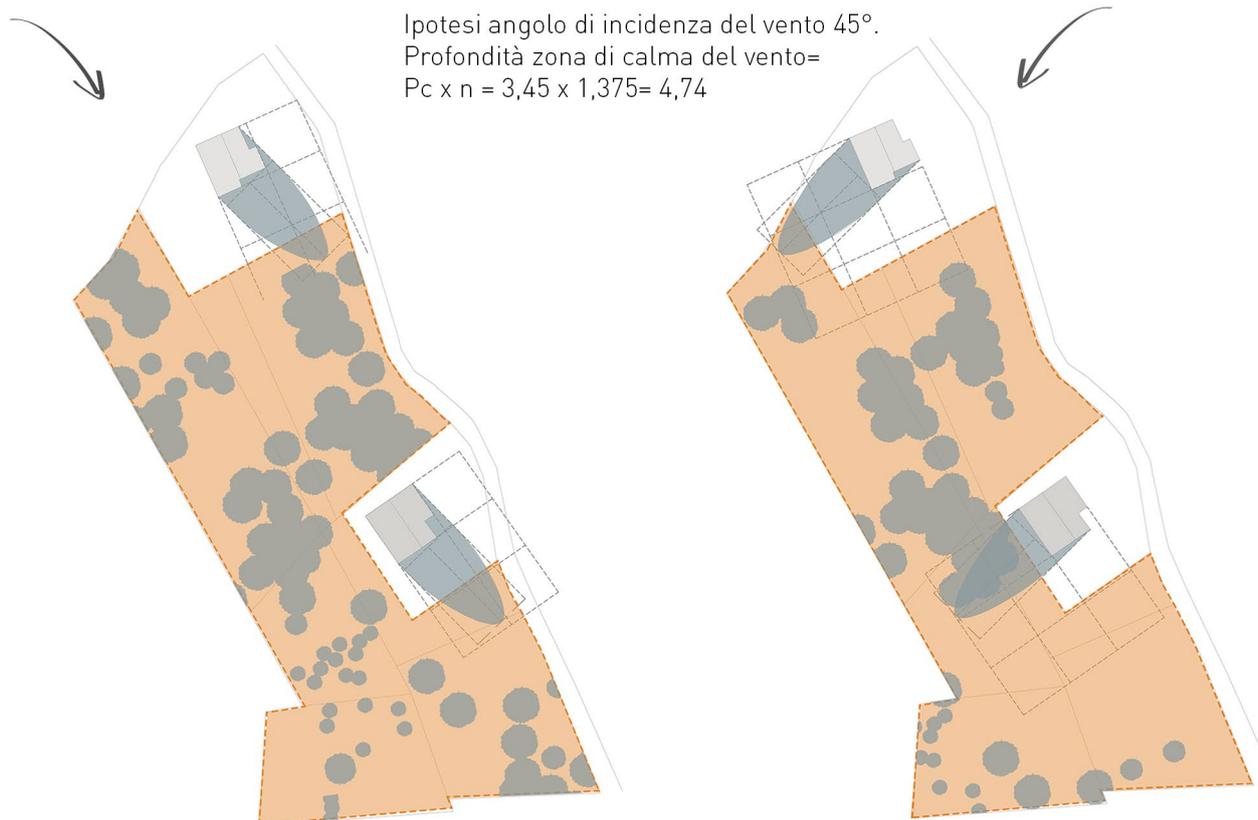
Come anticipato nel capitolo 2, la zona di calma del vento per un ostacolo è quell'area in cui la velocità e la pressione del flusso di vento che colpiscono tale ostacolo risultano considerevolmente ridotte.

Per individuare la profondità fisica della zona di calma di vento esiste un metodo grafico oppure si può considerare circa il doppio della proiezione dell'area dell'ostacolo nella direzione del flusso di vento. Il metodo grafico è stato spiegato al capitolo 2, nella sezione esplicativa dell'interazione tra vento e contesto costruito/vegetazione.

Le zone di calma degli edifici preesistenti situati nei lotti confinanti influenzano in minima parte il sito di progetto, con un aumento della interazione nella stagione estiva. Nel caso della vegetazione al contrario il discorso è molto diverso, poichè essa ricopre la maggior parte dell'area: nell'elaborazione delle matrici microclimatiche si terrà conto di questa differenza suddividendo i risultati a seconda che essi siano legati all'effetto della vegetazione o a quello degli edifici.

Zona di calma del vento invernale

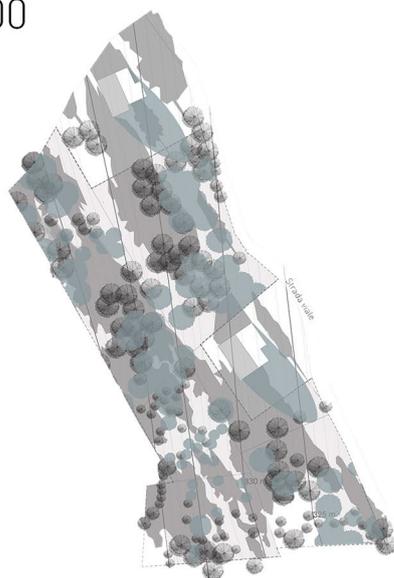
Zona di calma del vento estiva



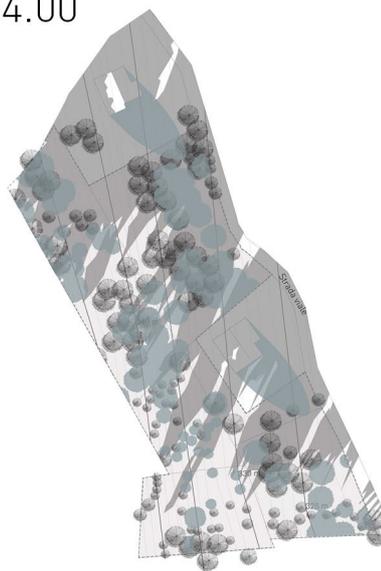
Analisi congiunta delle ombre e della zona di calma del vento

21 Dicembre

h.10.00

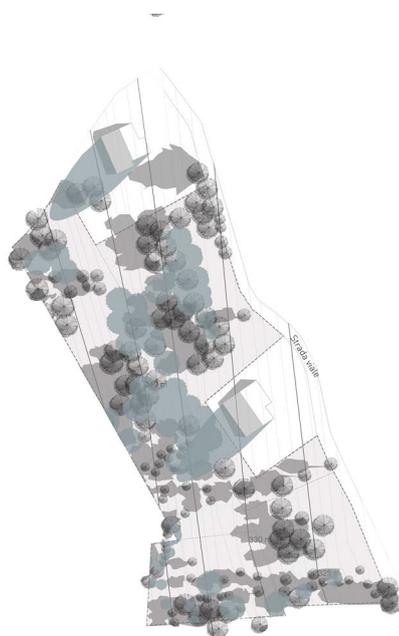


h.14.00

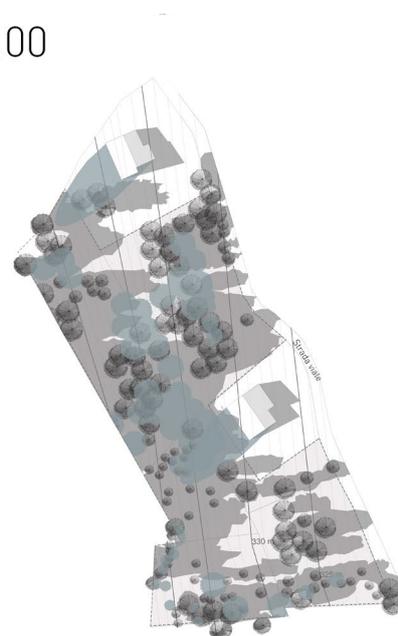


21 Giugno

h.08.00



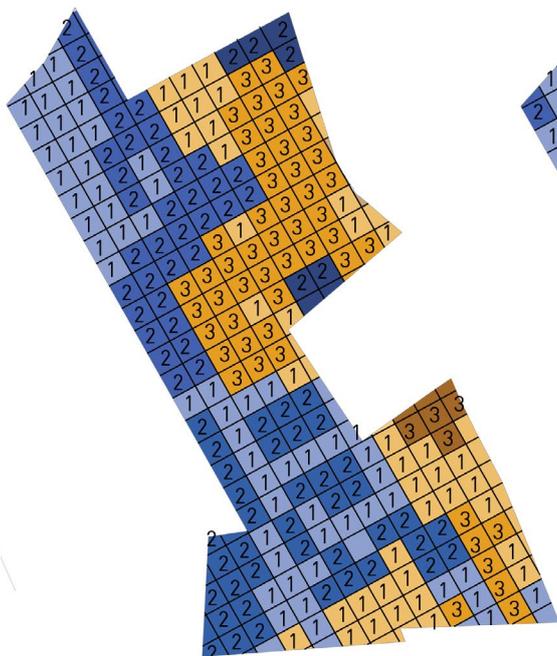
h.16.00



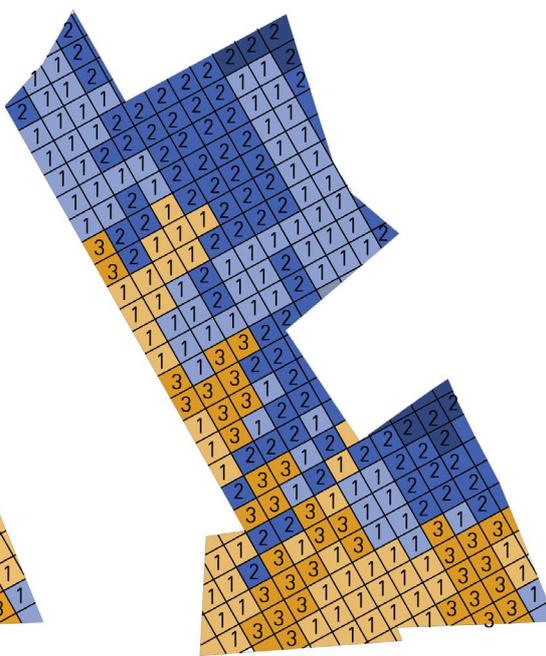
Elaborazione delle matrici microclimatiche di sito per ogni ora del giorno-tipo analizzato

21 Dicembre

h.10:00



h.14:00



Legenda colori delle matrici

-  Vento + sole
-  Vento + ombra dovuta a alberi
-  Calma + ombra dovuta a alberi
-  Calma + sole dovuta a alberi
-  Calma + sole dovuta a edifici
-  Calma + ombra dovuta a ed.+albr

Condizioni di benessere
Attività Residenziale

Livello 1: Ottimale



Livello 2: Buono non sfavorevole



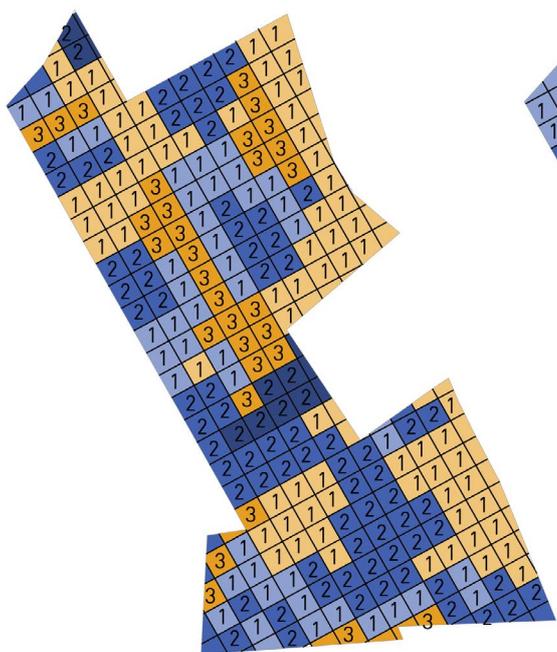
Livello 3: Sfavorevole



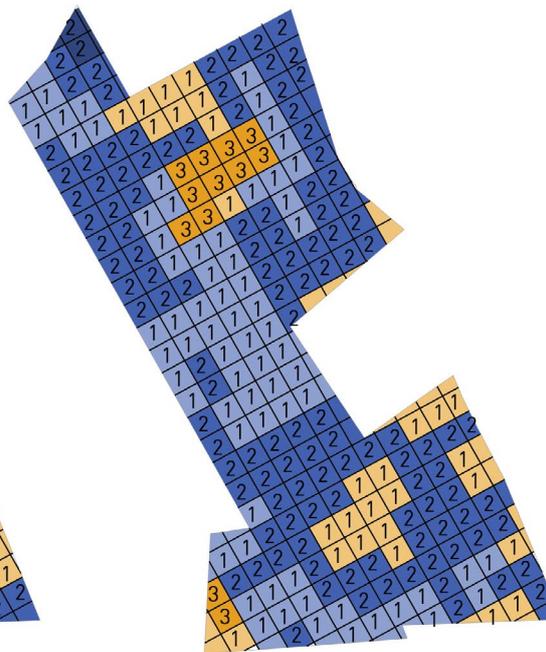
21 Dicembre

21 Giugno

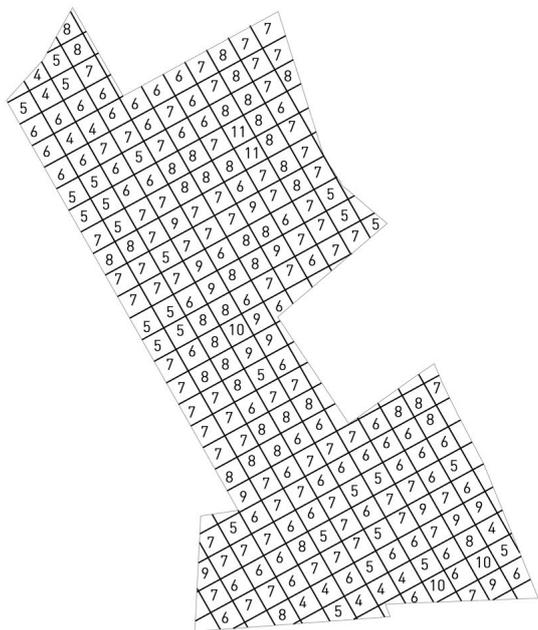
h.08:00



h.16:00



Elaborazione della matrice microclimatica unica di sito



Legenda punteggi finali

- Da 4 a 6: ottimale
- Da 7 a 8: buono non sfavorevole
- Da 9 a 11 : sfavorevole

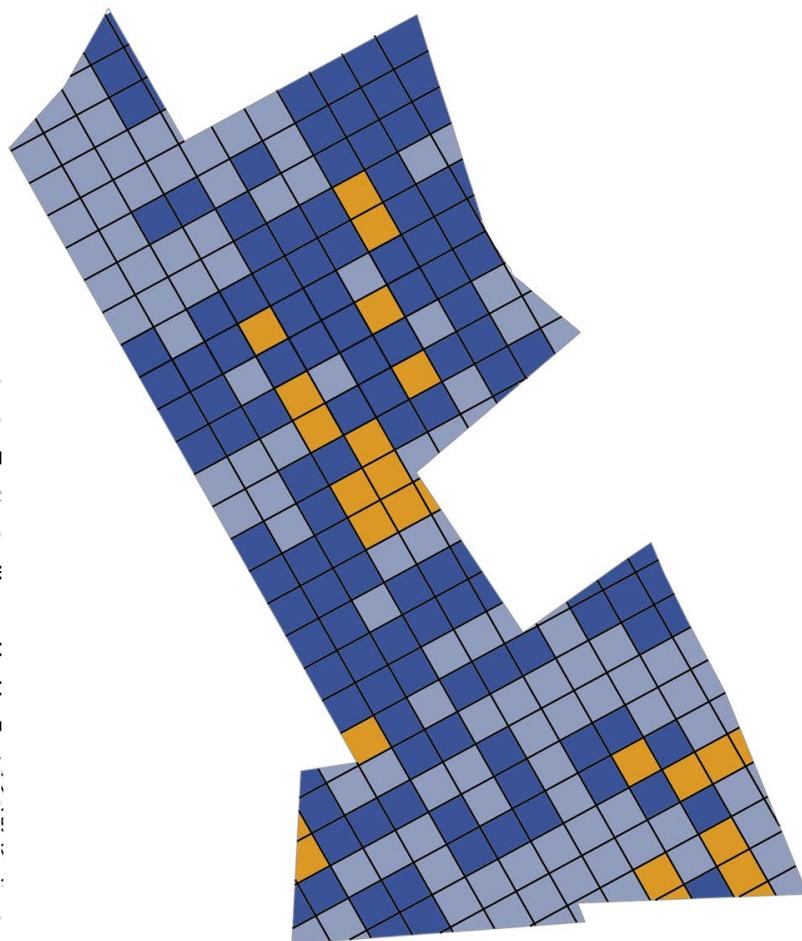
L'osservazione della matrice microclimatica del sito è uno strumento che accompagna la progettazione, in quanto in base alle informazioni ottenute si possono fare delle ipotesi di progetto: ad esempio, poiché la presenza elevata di vegetazione nella zona NO del sito risulta favorevole alla protezione dalle correnti fredde invernali ma meno favorevole all'esposizione solare, si può ipotizzare di porre il lato con minore presenza di superfici vetrate in quella direzione, poiché la miglior esposizione solare si avrà in corrispondenza del lato opposto, affacciato sulla valle.

Con il risultato della matrice microclimatica si possono trarre conclusioni sull'interazione climatica tra architettura e contesto, ma per effettuare delle scelte progettuali concrete è utile dare ancora uno sguardo alle prescrizioni normative di Rivodora.

Viene fatta una sommatoria dei punteggi precedentemente assegnati a ciascuna microarea individuata all'interno del sito, al fine di valutare univocamente le caratteristiche del lotto e la sua "vocazione insediativa".

Dopo aver sommato i punteggi, si decide di ordinarli secondo una scala basata sulle condizioni di benessere precedentemente fissate per valutare ciascuna matrice.

Il risultato mostra come vi sia una percentuale minima delle aree del sito di progetto del tutto sfavorevole all'insediamento, mentre le aree maggiormente favorevoli risultano essere quelle limitrofe alla copertura boschiva (verso Ovest) e alla strada comunale (esposte a Est).



Legenda matrice microclimatica

- Ottimale
- Buono non sfavorevole
- Sfavorevole

7.3 Strumenti normativi

Le prescrizioni della normativa inerenti agli interventi edilizi variano di comune in comune, a seconda delle esigenze specifiche del territorio che si va esaminando. Nel caso della frazione di Rivodora, le prescrizioni in materia urbanistica ed edilizia per l'area si possono trovare all'interno del PRGC - Piano Regolatore Generale Comunale del comune di Baldissero Torinese, con le sue Norme Tecniche di Attuazione a integrazione delle tavole di piano, e dal Regolamento Edilizio, il cui ultimo aggiornamento risale al 2018.

7.3.1 Il Piano Regolatore Generale Comunale

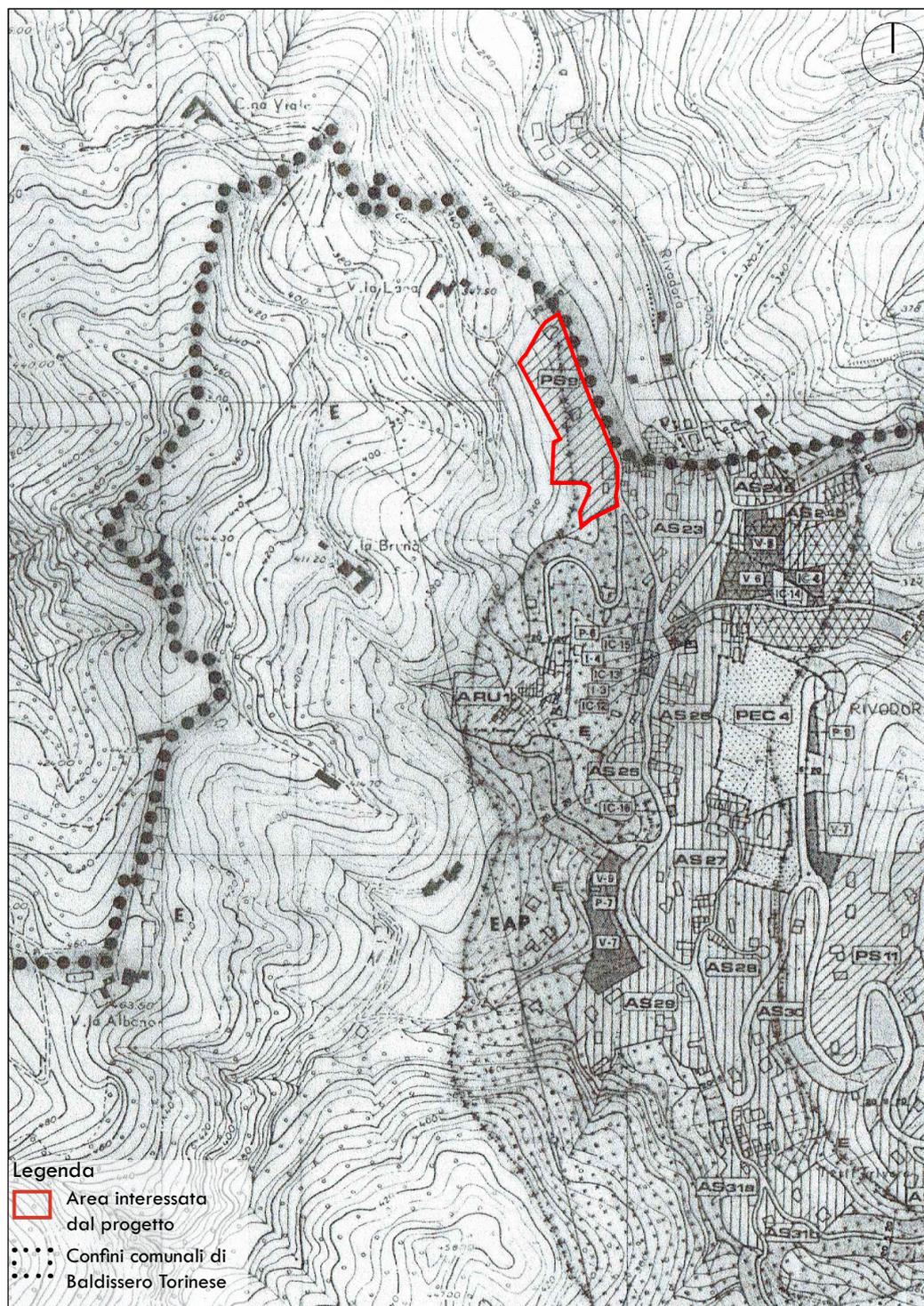


Immagine 7.10 - Estratto del PRGC di Baldissero Torinese - scala 1:5.000

L'area di progetto è classificata all'interno della normativa urbanistica come una PS9: le aree siglate come PS sono definite come "AREE PARZIALMENTE SATURE O DI COMPLETAMENTO RESIDENZIALE CON CONCESSIONE SINGOLA". In pratica esse sono parti di territorio quasi totalmente edificate e dotate delle principali opere di urbanizzazione, numerate con una scala da 1 a 14 che indica il grado di compromissione esistente. Più è alto l'indicatore, maggiore sarà il grado di compromissione: tra gli interventi permessi in tali aree vi è la definizione e il completamento delle aree residenziali costituite da un tessuto omogeneo, composto di edifici mono e bifamiliari.

7.2.2 Le Norme Tecniche di Attuazione del PRGC

All'interno dei Piani Regolatori Generali, nei piani territoriali sia provinciali che regionali esse definiscono le regole locali, le prescrizioni e i parametri urbanistici ed edilizi da seguire nell'assetto del territorio. Ogni strumento di pianificazione, a qualsiasi livello e settore di intervento, deve essere accompagnato dalle norme tecniche: nel PRG in particolare esse sono fondamentali, in quanto disciplinano le zone omogenee in cui è suddiviso il territorio, e molte delle prescrizioni in esse contenute vanno spesso a sovrapporsi al Regolamento Edilizio, sebbene in questo caso si abbia a che fare con due documenti distinti e il regolamento si occupi di questioni più tecniche inerenti la vera e propria edificazione degli edifici e dei servizi urbanistici necessari al territorio.

Nel caso del lotto in esame, ci si è riferiti agli indici urbanistici che definiscono le densità fondiaria e territoriali, chiarendo quali sono le necessità di occupazione del suolo preso in esame. Tali parametri hanno i seguenti valori:

- Indice di edificabilità: 0,50 mc/mq;
- Indice di copertura massima: 0,30;
- Altezze massime degli edifici: 7,50 metri/ 2 piani fuori terra;
- Distanza dalle strade: minimo 10 metri;
- Distanza dai confini: minimo 5 metri;
- Parcheggi: minimo 1 mq ogni 10 mc costruiti.

All'interno dello stesso documento viene anche ricordato che l'area oggetto di progetto è anche soggetta al vincolo di tutela ambientale di cui al D.M. 01/08/1985 (aree Galassine) e si trova in parte in una zona soggetta a fascia di rispetto per i corsi d'acqua pubblici (art.13.6). Nel caso studio, è particolarmente importante tenere conto del vincolo paesaggistico, che pone diversi limiti nella realizzazione delle opere edilizie in tale area e nelle zone limitrofe, sia a livello di opere di servizio - ad esempio, i muri di contenimento del terreno - che degli edifici veri e propri.

Dopo aver letto le principali prescrizioni delle NTA, esse sono state tradotte in forma grafica al fine di crearne una rappresentazione spaziale che potesse aiutare a comprendere, a livello visivo, come esse sono applicate al lotto di progetto: tener conto di tali limiti è necessario per tenere in conto le volontà di programmazione territoriale del luogo, che ha lo scopo di fornire un quadro generale per l'assetto dell'area, sia visivo che tecnico.

Calcoli urbanistici applicati al sito di progetto



Calcoli planivolumetrici del sito

LOTTO 30+23

Area= 1296 m²
Superficie coperta ammissibile= 389 m²
Volumetria max realizzabile= 648 m³

LOTTO 662+548

Area= 1877 m²
Superficie coperta ammissibile= 563 m²
Volumetria max realizzabile= 938 m³

LOTTO 549

Area= 614 m²
Superficie coperta ammissibile= 184 m²
Volumetria max realizzabile= 307 m³

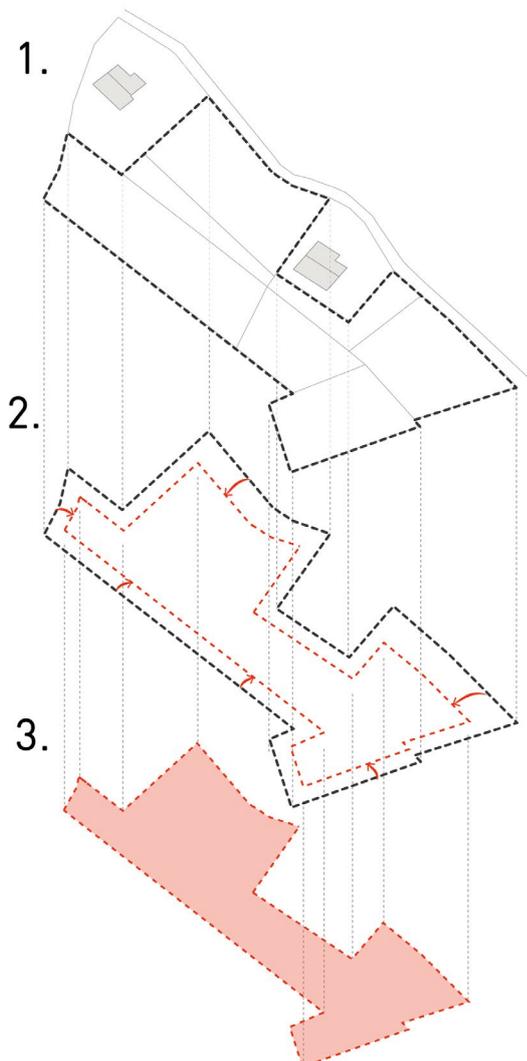
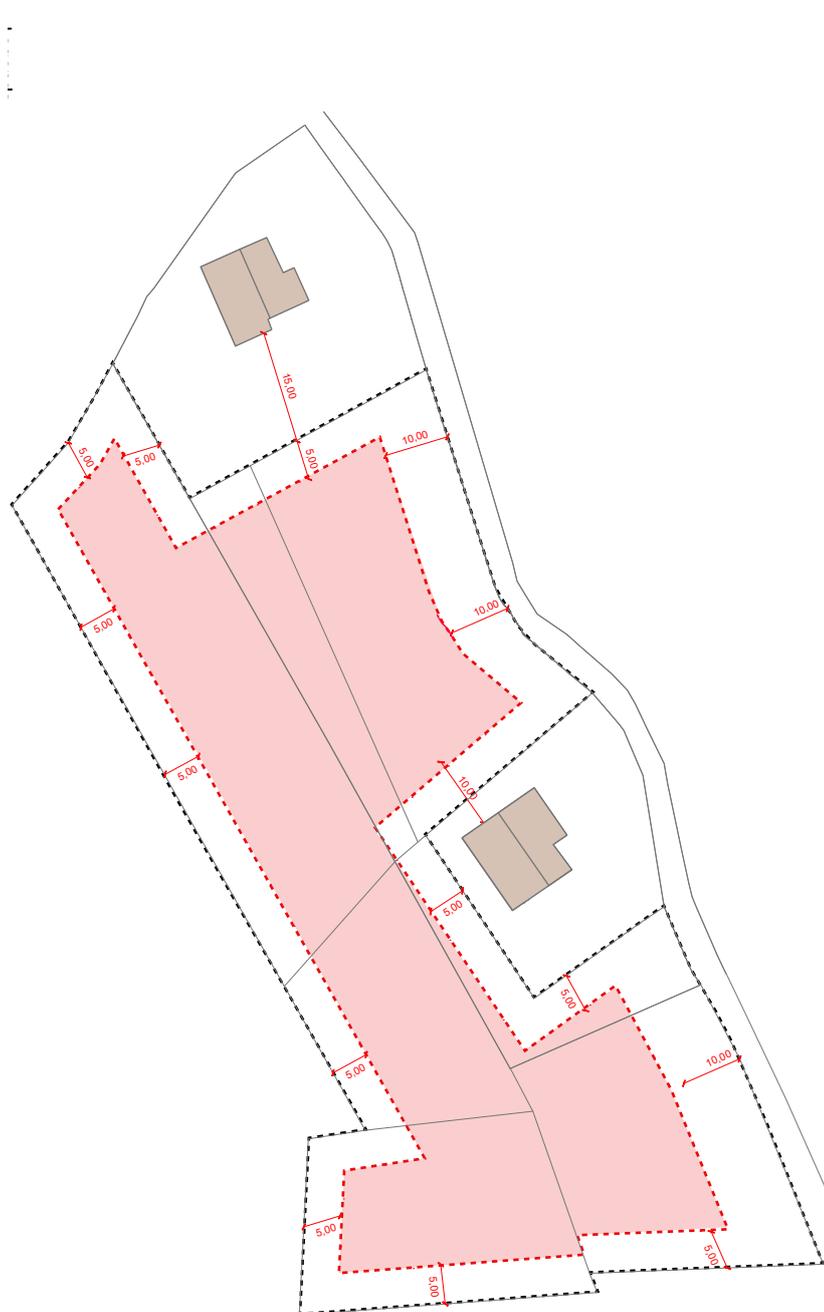
LOTTO 32+33

Area= 1378 m²
Superficie coperta ammissibile= 413 m²
Volumetria max realizzabile= 689 m³

LOTTO 31

Area= 826 m²
Superficie coperta ammissibile= 248 m²
Volumetria max realizzabile= 413 m³

Elaborazione grafica delle Norme Tecniche di Attuazione su sito

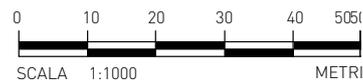


1. Individuazione dei confini del lotto di progetto.

2. Individuazione dei confini costruttivi prescritti dalla normativa: arretramento della fascia di confine di 5 metri rispetto agli altri lotti e di 10 metri rispetto alla strada.

3. Individuazione della superficie costruttiva concessa entro i cui limiti realizzare gli edifici di progetto.

Tali restrizioni valgono solo per la realizzazione di architetture di nuova costruzione, poichè per quanto riguarda le opere di servizio del lotto - strade private, parcheggi - non sono menzionati tali limiti.



Legenda

- Confini aree di intervento
- - - Limiti distanze dai confini come da prescrizione normativa
- Superficie progettuale all'interno dei confini da normativa
- Preesistenze

7.3.3 Il Regolamento Edilizio

Il Regolamento Edilizio è uno strumento normativo, ma non urbanistico, che regola a livello comunale le modalità costruttive in materia di edificazione, garantendo il rispetto delle prescrizioni tecnico-estetiche, igienico-sanitarie e di sicurezza degli immobili e delle loro pertinenze.

Nel caso di Baldissero Torinese, il regolamento edilizio ha ricevuto l'ultimo aggiornamento nell'anno 2018, con la revisione e il rinnovo di alcune sezioni. Il documento si presenta suddiviso in due parti: la prima, chiamata "Principi generali e disciplina generale nell'attività edilizia", che, a seguito di alcuni capitoli introduttivi di relativa importanza ai fini del nostro progetto, richiama i termini e le definizioni principali in materia di edilizia e costruzione, al fine di rendere più comprensibile la lettura del documento; la seconda parte invece è intitolata "Disposizioni regolamentari comunali in materia edilizia", e contiene la definizione dettagliata e l'elenco di tutte le regolamentazioni prescrittive per l'ottimizzazione dell'attività costruttiva all'interno del territorio comunale di azione.

La seconda parte è quella all'interno della quale si trovano le informazioni che possono fornirci le linee guida per effettuare le corrette scelte progettuali nel rispetto del contesto normativo esistente. In particolare, le informazioni generali su cui è necessario fermarsi riguardano le disposizioni in materia di qualità urbana, prescrizioni sulla costruzione e funzionali degli edifici, gli elementi costruttivi descritti nel dettaglio, la disciplina degli spazi aperti, sia ad uso pubblico che privato, la tutela degli spazi verdi e infine le disposizioni per il corretto inserimento paesaggistico del progetto.

Tutte queste informazioni sono suddivise nel documento all'interno di cinque sezioni chiamate "Titoli", alcune delle quali a loro volta ripartite in sottosezioni denominate "Capi", all'interno delle quali vengono espone dettagliatamente le disposizioni pratiche per l'edilizia sotto forma di "Articoli", che nel caso del documento sono ben 137, che di certo non possono essere citati per intero in questa sede: per questo motivo si rimanda al documento originale nella bibliografia, nel caso di interesse per un approfondimento.

IL METAPROGETTO

Alla fine della fase analitica, che ha toccato diversi aspetti legati al territorio in cui ci troviamo, da quello climatico-ambientale a quello normativo, si apre quella metaprogettuale, nella quale vengono raccolte tutte le idee scaturite a seguito dell'analisi, definiti gli obiettivi di progetto e le ipotesi preliminari: queste ultime si basano su un approccio al progetto di tipo esigenziale nel quale vengono definiti e sviluppati tutti i principali requisiti, principalmente funzionali e dimensionali, che hanno un ruolo fondamentale nel progetto.

Il primo passo da compiere per fissare gli obiettivi è quello di stilare un quadro esigenziale del progetto nel suo complesso, con tutti i principali requisiti e prestazioni richieste allo stesso. Poiché questo progetto andrà a completarne uno di minore estensione precedente, del quale parleremo più a lungo nel prossimo capitolo, la prima essenziale esigenza sarà quella di rispettare l'uniformità - tipologica, compositiva, distributiva e via dicendo - tra il primo e ciò che verrà elaborato in questa sede. La norma UNI 7867 prescrive la struttura del quadro esigenziale, che dagli anni 70, in seguito agli studi di Ciribini, è una fase integrante del progetto preliminare di architettura.

Approccio esigenziale

Il quadro esigenziale

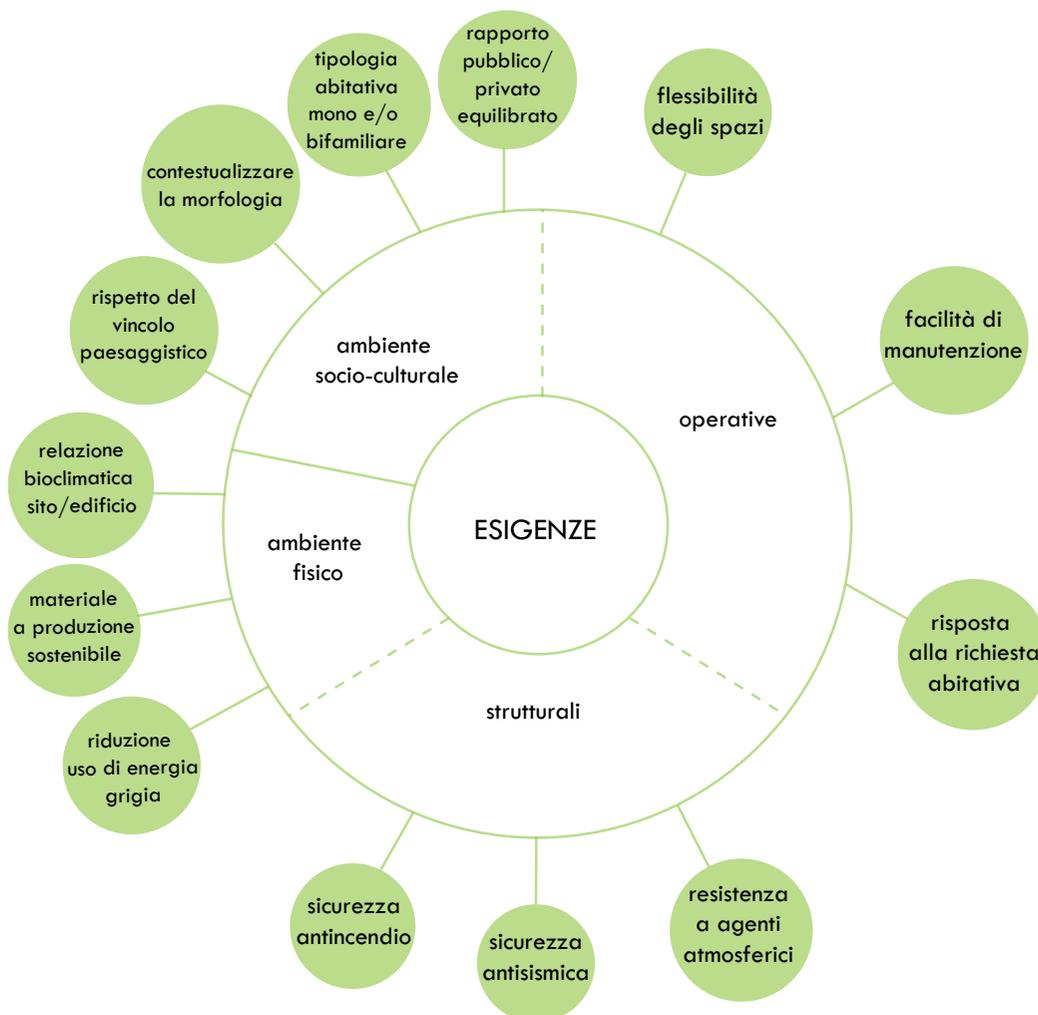


Immagine 8.1 - Quadro esigenziale di progetto che segue le indicazioni della norma UNI 7867.

Immagine rielaborata dal libro "Progettare la complessità in architettura. 15 tesi magistrali in Architettura per il progetto sostenibile del Politecnico di Torino", A.A. V.V., 2019.

Matrice metaprogettuale

MATRICE DI METAPROGETTO						
LIVELLO	OGGETTO	ATTIVITÀ/ FUNZIONE	CLASSI DI REQUISITI			
	TIPO/ SISTEMA		PERCETTIVI	FUNZIONALI	OPERATIVI	AMBIENTALI
SPAZIALE	Residenziale	Abitare mangiare, cucinare, dormire riposare accogliere ospiti	Percezione di uno spazio in comunicazione visiva con gli elementi esterni	Grandi dimensioni degli spazi Rapporto flessibile tra gli spazi Interrelazione tra ambienti e attività	Compatibilità con il sito Flessibilità d'uso degli spazi Accessibilità degli spazi Adattabilità a diversi utenti Sicurezza	Illuminazione naturale Ventilazione naturale Benessere dell'utente (termoigrometrico, acustico, visivo) Rapporto con il verde del sito
			Percezione luminosa e acustica equilibrata			
TECNOLOGICO	Sistema edilizio	Sicurezza strutturale Protezione da agenti atmosferici Filtro interno/esterno Prestazioni termiche e climatiche elevate	Percezione estetica di armonia Percezione sensoriale del rapporto spazio/occupanti positiva	Dimensioni contenute degli elementi costruttivi Posizione e orientamento Rapporto di forma Interrelazione tra elementi tecnici Interrelazione con gli elementi spaziali	Resistenza meccanica Operabilità Durabilità e resistenza agli agenti atmosferici Manutenibilità Disassemblabilità Sicurezza antisismica e al fuoco Sicurezza alle intrusioni	Interazione con il clima (esposizione/protezione) Flussi energetici contenuti Emissioni inquinanti praticamente assenti Contenuto e potenziale di riciclabilità Gestione del fine vita
	Sistema impiantistico	Controllo endoclima Controllo qualità dell'aria Gestione acqua Controllo sicurezza Controllo rischi incendi	Percezione acustica Percezione olfattiva Integrazione impianti/architettura	Dimensione Interrelazione tra elementi tecnici Interrelazione con gli elementi spaziali	Efficienza Operabilità Manutenibilità Economicità di gestione	Consumi energetici bassi in fase operativa Produzione energetica Bilancio energetico positivo nel ciclo di vita

Tabella 8.1 - Matrice di metaprogetto con la schematizzazione delle classi di requisiti richieste.

Immagine rielaborata dal libro "Progettare la complessità in architettura. 15 tesi magistrali in Architettura per il progetto sostenibile del Politecnico di Torino", A.A. V.V., 2019.

La tabella propone una classificazione degli elementi che caratterizzano l'approccio esigenziale al metaprogetto. Negli ultimi anni il metaprogetto ha assunto sempre nuove connotazioni in quanto ha dovuto confrontarsi con nuovi problemi, soprattutto quelli legati alla sostenibilità, e con la sempre maggiore complessità dei progetti di architettura. Anche le esigenze degli utenti sono sempre maggiori, di pari passo con la crescita di complessità degli stili di vita, e prevedono sempre maggiore flessibilità da parte dei progettisti.

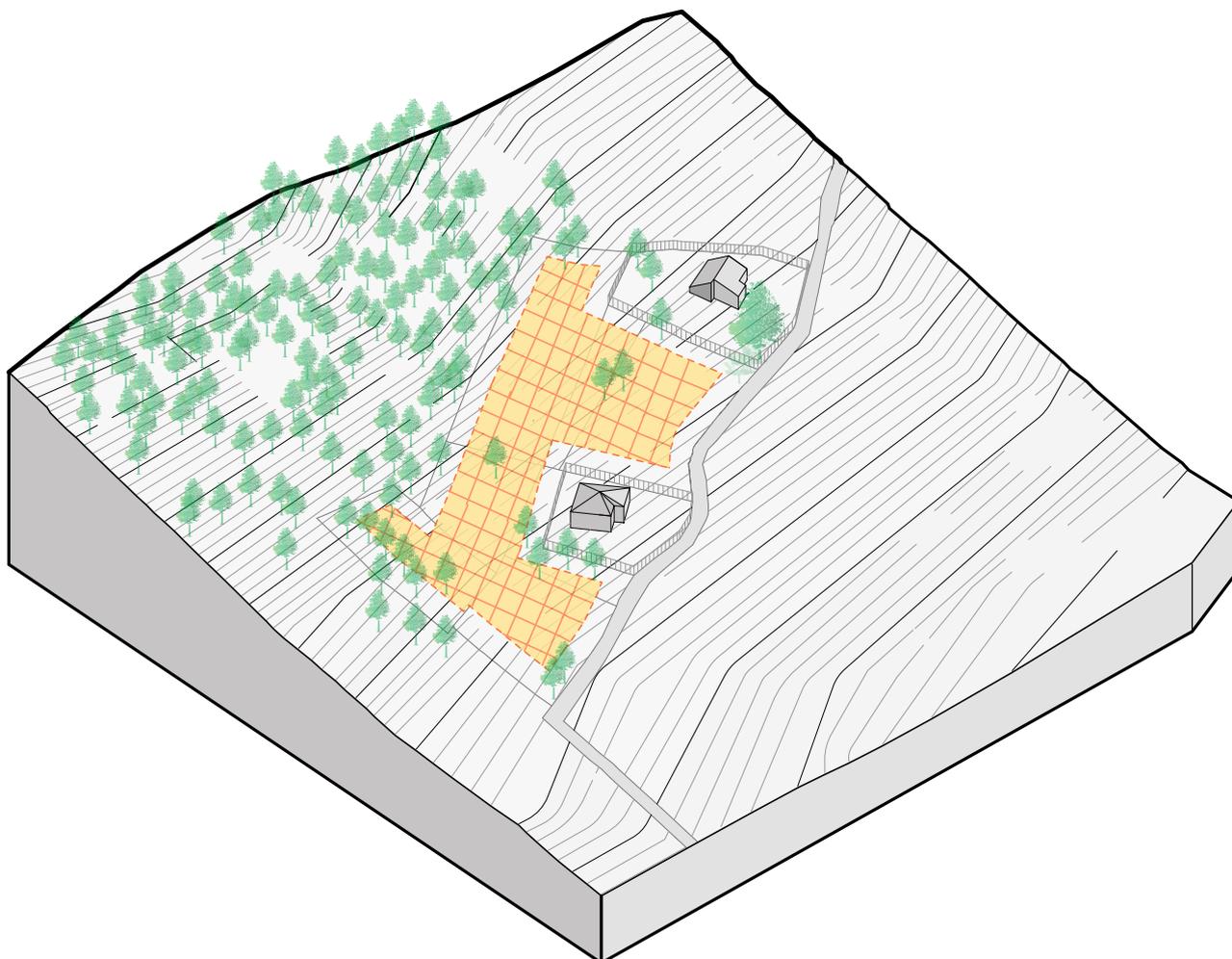
Le esigenze tecnologico-ambientali in un progetto come questo passano comunque in primo piano su quelle morfologiche e sociali, ecco perchè i requisiti più specifici si concentrano nell'ambito tecnologico.

8.1 Caratteristiche formali e della distribuzione

A partire dall'analisi esigenziale del progetto, viene fatto in primo luogo un ragionamento inerente l'assetto complessivo del lotto, all'interno del quale si ipotizza la distribuzione dei volumi architettonici, dei percorsi e delle aree private e comuni.

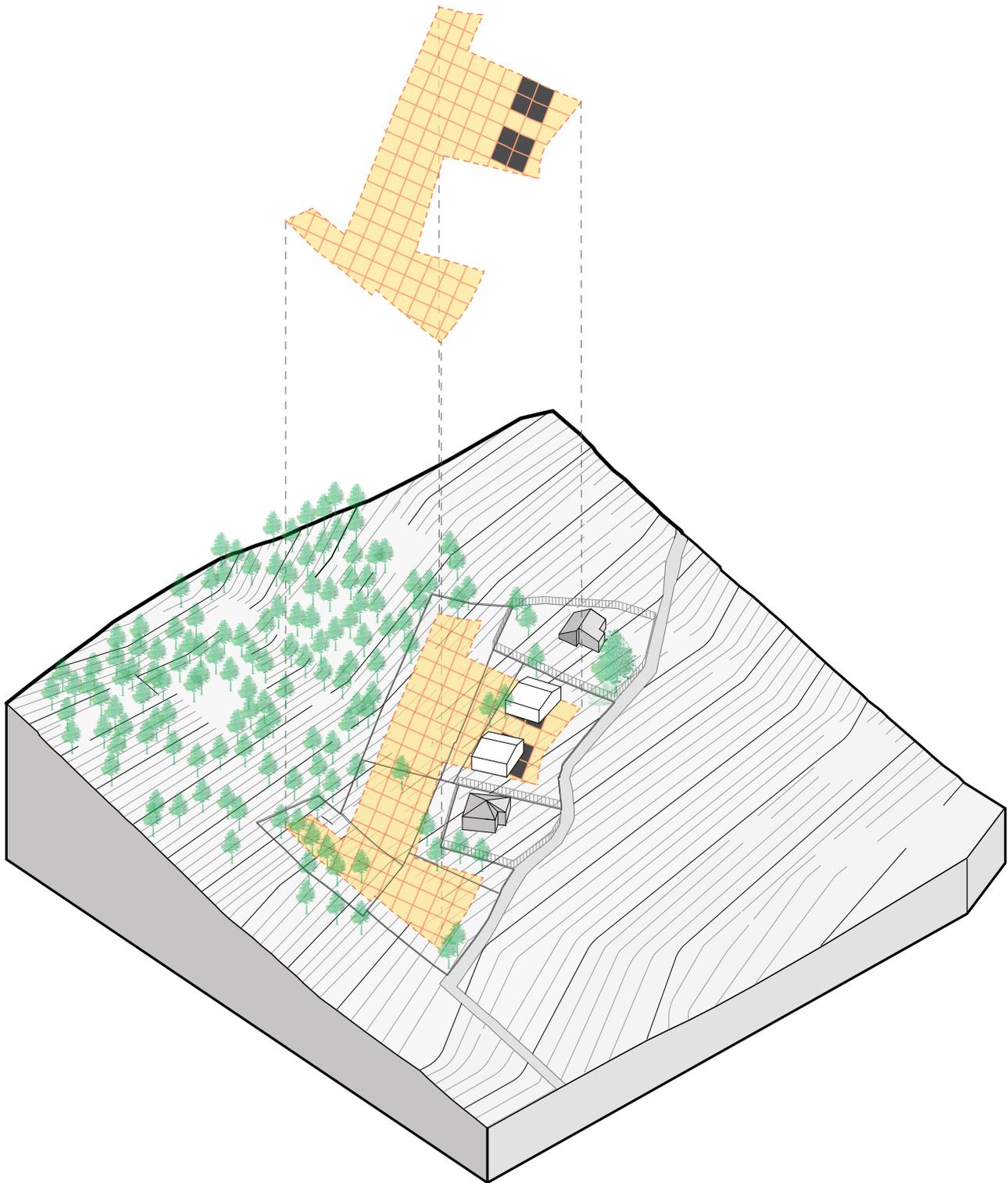
8.1.1 Analisi della configurazione del lotto

1. Griglia compositiva



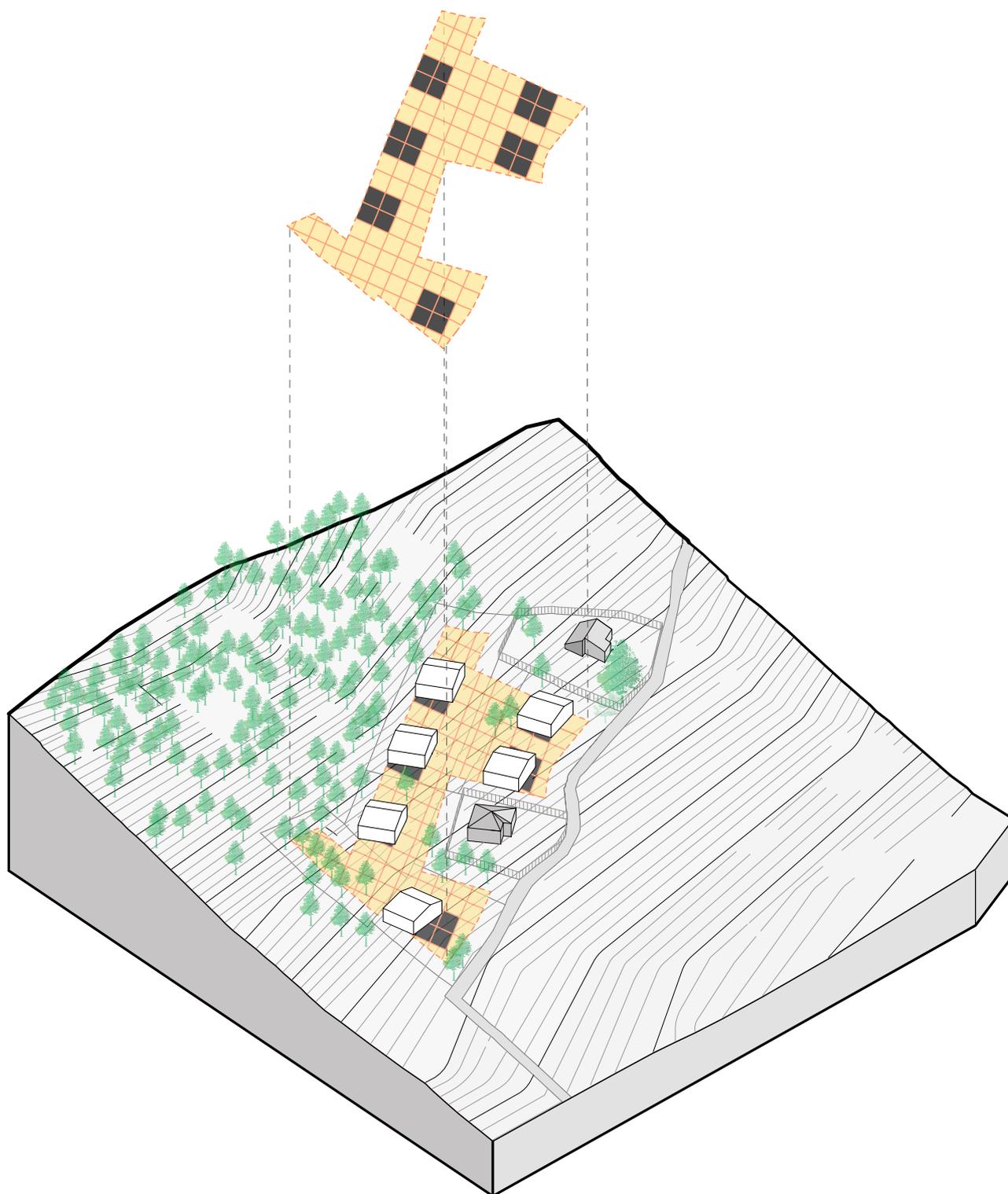
Viene creata una griglia suddivisa in forme geometriche quadrangolari aventi misura costante che suddivide in porzioni regolari l'area di intervento effettiva interna al lotto precedentemente individuata dalla consultazione delle prescrizioni normative. Questa operazione viene proposta al fine di conferire un carattere di costanza al rapporto tra le architetture e gli spazi aperti che si intende progettare.

2. Posizionamento dei volumi di un progetto precedente all'interno della griglia compositiva



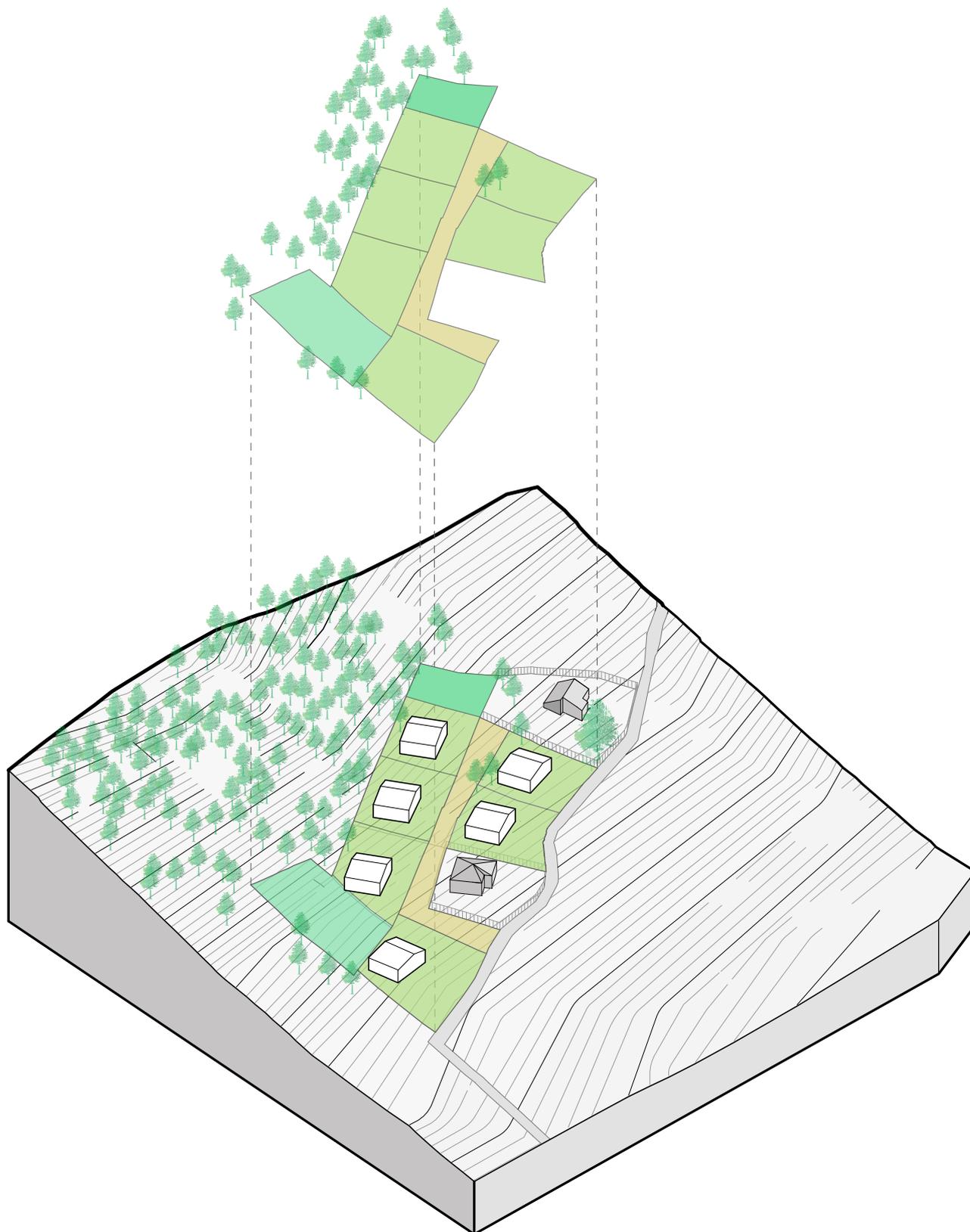
Grazie alla griglia compositiva viene individuata la posizione dei primi edifici progettati prima dell'inizio di questo progetto di tesi. A partire dalla loro posizione, grazie alla griglia compositiva si cerca di ipotizzare quelle degli edifici successivi.

3. Posizionamento dei volumi dell'attuale progetto all'interno della griglia compositiva



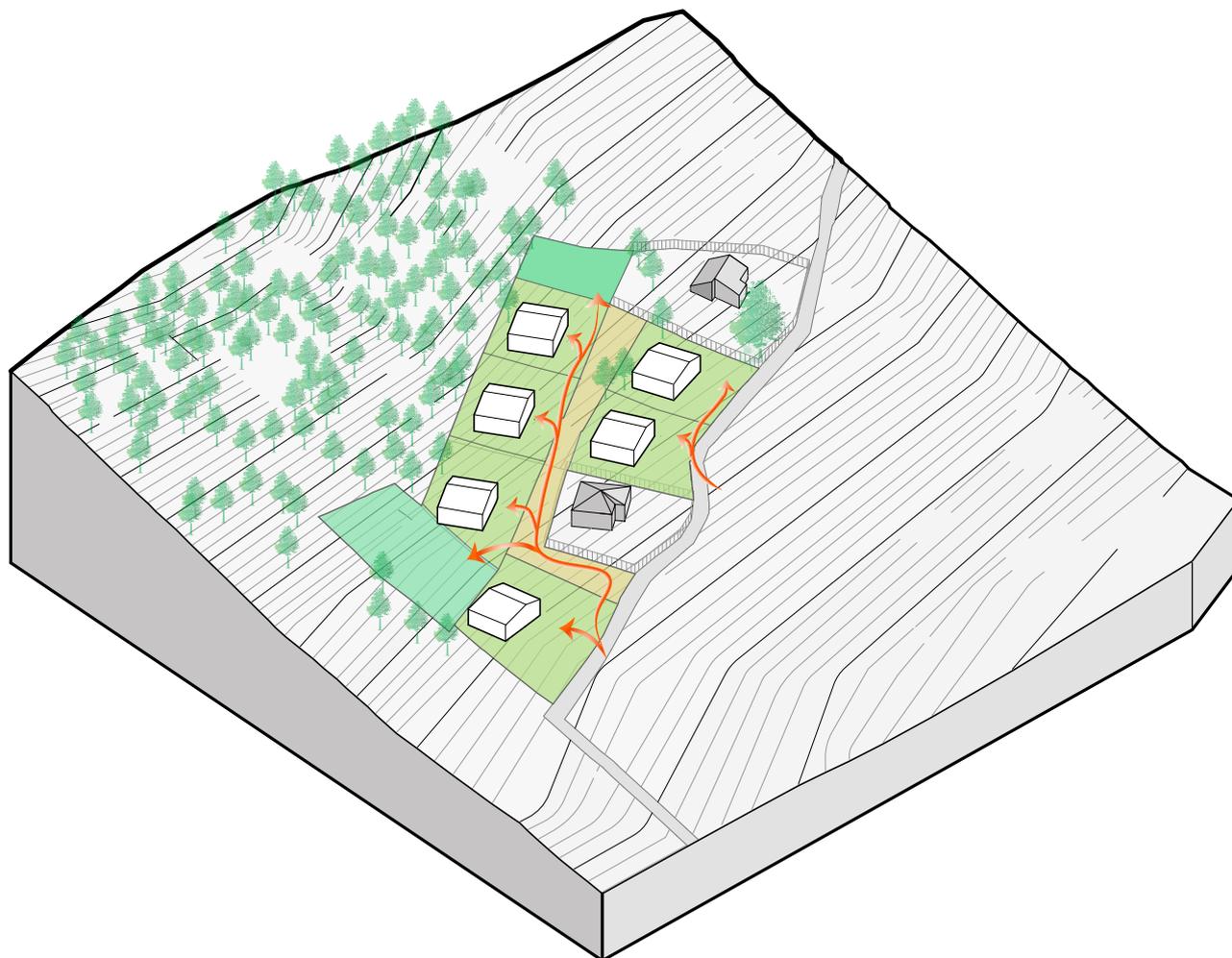
Viene individuata la possibile posizione degli altri edifici all'interno della griglia e successivamente ipotizzata un'occupazione volumetrica per gli stessi, in modo tale che abbiano lo stesso modulo e le medesime misure, creando così un insieme di edifici omogeneo, tutti aventi uguali potenzialità, e andare a lavorare successivamente su ciascuno di essi a livello compositivo.

4. Suddivisione degli spazi di pertinenza e delle loro destinazioni d'uso



L'area viene suddivisa in 8 zone di pertinenza, di cui 6 a uso residenziale e le ultime due ad attività da destinarsi, probabilmente tentando di dare una funzione che sia condivisibile tra tutti i futuri abitanti delle residenze che verranno progettate. Il lotto centrale viene invece destinato a fungere da collegamento tra gli altri.

5. Ipotesi di viabilità interna al lotto

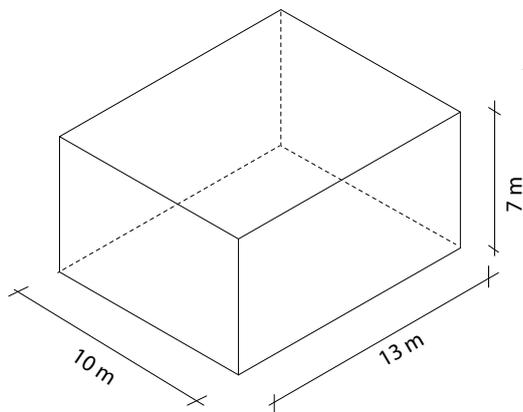


L'ipotesi di viabilità viene effettuata sulla base dell'esigenza degli spazi residenziali di mantenere una propria autonomia e indipendenza sia rispetto agli altri coabitanti del lotto, sia nei confronti degli esterni che ad esso possono accedere attraverso la strada comunale, denominata Strada Viale.

Seguendo questo ragionamento, è stata creata una via di percorrenza centrale comune, più ampia, che parte dalla strada pubblica diramandosi poi in diversi accessi privati, che conducono alle aree poste più in alto all'interno del lotto.

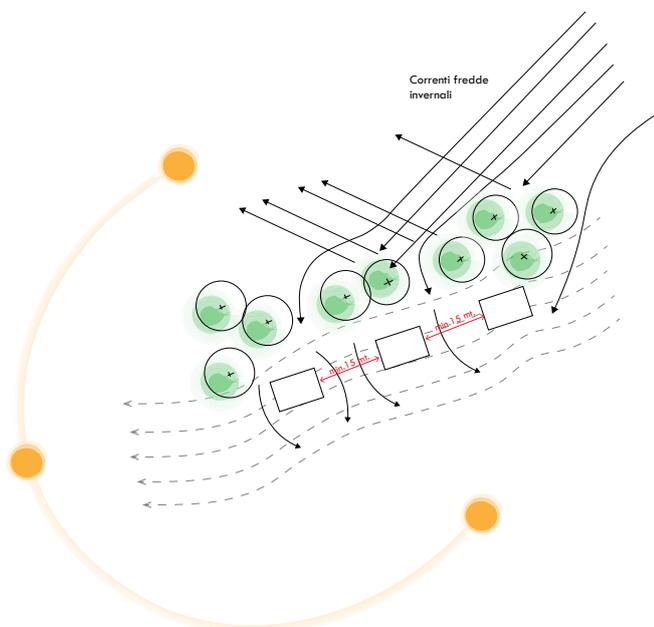
Le ville A e B, essendo state create in precedenza, dispongono invece di un accesso separato che rende impossibile accedere alle due proprietà attraverso la strada comune centrale, anche per una questione di semplificazione della viabilità generale, in quanto vi è l'intento di evitare il congestionamento interno dell'area.

6. Configurazione planimetrica degli edifici nel sito



Modulo di partenza per la progettazione degli edifici: la scelta delle misure areali è stata la conseguenza della ripresa dell'ingombro degli edifici A e B, a cui il resto del progetto si è uniformato, mentre l'altezza è stata scelta per rispettare i limiti di altezza massima degli edifici posti a 7,50 metri dal Regolamento edilizio, considerando che l'edificio è provvisto anche di un basamento.

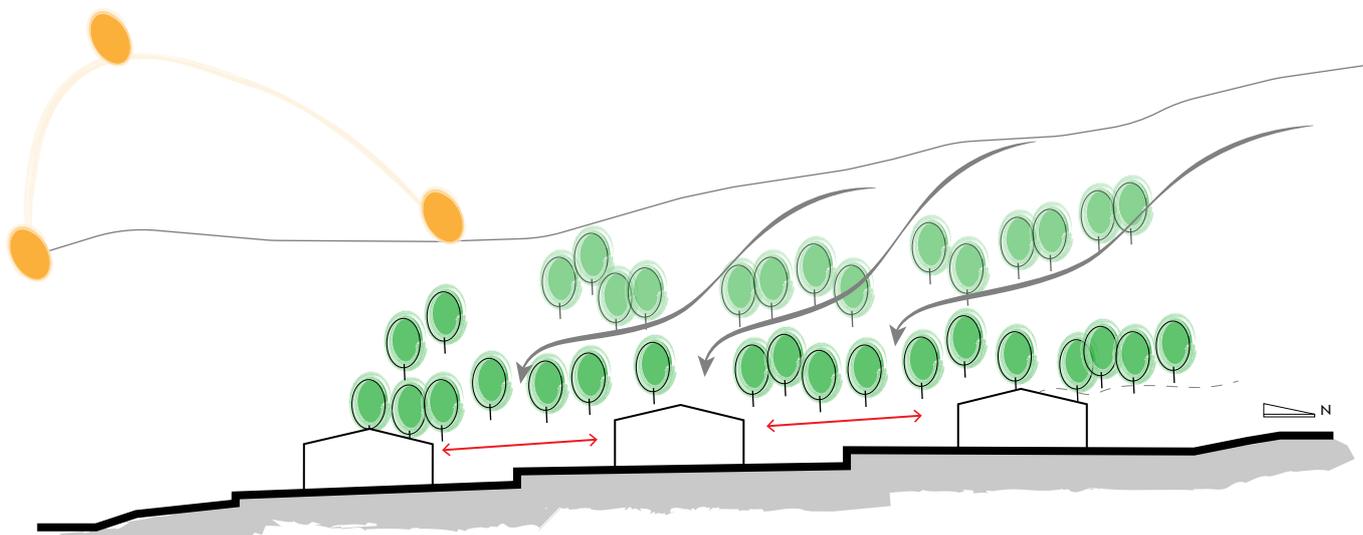
Posizione reciproca degli edifici



Gli edifici vengono distanziati reciprocamente considerando una fascia di rispetto di almeno 5 metri dai reciproci confini e creando una distanza strategica tra gli stessi.

⊙ L'orientamento secondo le isoipse del luogo è una delle condizioni fondamentali per la contestualizzazione del progetto.

Il ruolo della fascia boschiva retrostante il progetto è quello di filtrare le correnti fredde invernali dell'area, che soffiano principalmente nella direzione NO. La presenza degli alberi, non essendo un ostacolo "compatto", filtra il passaggio dell'aria, in parte lasciando passare e in parte respingendo.



8.1.2 Metaprogetto architettonico

Dopo aver analizzato il quadro esigenziale si prende in considerazione quello architettonico, che prevede l'analisi di tutti quei requisiti percettivi e funzionali, affrontati sia a livello spaziale che di sistema tecnologico, cui si fa riferimento nella tabella delle matrici metaprogettuali, prese a modello per l'analisi. L'utilizzo delle matrici come riferimento implica la necessità di valutare il progetto a diverse scale, e permette una comprensione più completa della relazione che esiste tra scelte formali e aspetti economico sociali.

Il metodo utilizzato in fase megaprogettuale è basato sui principi teorici della sostenibilità, applicati a specifici campi di interesse del progetto, ovvero quello socio-culturale, il contesto paesaggistico e costruito, la relazione tra funzioni spaziali e esigenze degli utenti, funzioni degli elementi tecnici e percezione estetica dell'assetto tecnologico dell'edificio. A seguito della formulazione di tali analisi, esse sono usate come supporto alle scelte architettoniche e alla definizione preliminare del progetto.

La semplificazione e categorizzazione di tali scelte può essere facilitata dall'utilizzo di matrici di analisi del metaprogetto, che analizzano a fondo prima di tutto la fase di definizione planivolumetrica degli edifici, preliminare alle scelte di dettaglio dell'involucro, dopo averli distribuiti secondo le esigenze del sito. Tale metodo aiuta a valutare su molteplici scale i requisiti formali, tecnologici e percettivi da applicare al progetto.

Matrice di metaprogetto architettonico

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA- Planivolumetrico														
Blocco volumetrico	OGGETTO DI ANALISI		REQUISITI SENSORIALI/ SPAZIALI/CONTESTO		GEOMETRIA/ FORMA/ TIPOLOGIA			COLORE/MATERIALE			CONCEPT			ALTRO
	utenti	attività	sensozione necessità	scelte progettuali	tipo	motiva-zione	effetti/ qualità spaziale	tipo	motiva-zione	effetti/ qualità spaziale	descrizione	motiva-zione	effetti/ qualità spaziale	descrizione
Edificio C	famiglie o coppie	residen-ziale	comfort abitativo	comunica-zione tra ambienti	monofa-miliare	richiesta abitativa territoriale	spazio regolare rapporto con l'esterno	legno intonaco tono chiaro	sosteni-bilità	percezione di calore miglior integra-zione	edificio rap-portato al sito	ambientale formale	salvaguardia assetto spazia-le e ambientale	edificio più riparato del lotto, minore esposizione alle perdite di energia
Edificio D	famiglie o coppie	residen-ziale	comfort abitativo	comunica-zione tra ambienti	monofa-miliare	richiesta abitativa territoriale	spazio regolare rapporto con l'esterno	legno intonaco tono chiaro	sosteni-bilità	percezione di calore miglior integra-zione	edificio rap-portato al sito	ambientale formale	salvaguardia assetto spazia-le e ambientale	edificio centrale, inte-grazione degli apporti tramite serra
Edificio E	famiglie o coppie	residen-ziale	comfort abitativo	comunica-zione tra ambienti	monofa-miliare	richiesta abitativa territoriale	spazio regolare rapporto con l'esterno	legno intonaco tono chiaro	sosteni-bilità	percezione di calore miglior integra-zione	edificio rap-portato al sito	ambientale formale	salvaguardia assetto spazia-le e ambientale	edificio marginale, otti-ma esposizione solare tramite serra bioclimatica
Edificio F	famiglie o coppie	residen-ziale	comfort abitativo	comunica-zione tra ambienti	monofa-miliare	richiesta abitativa territoriale	spazio regolare rapporto con l'esterno	legno intonaco tono chiaro	sosteni-bilità		edificio rap-portato al sito	ambientale formale	salvaguardia assetto spazia-le e ambientale	forma irregolare, scom-posizione volumi, buona esposizione solare

Tabella 8.2 - Matrice di metaprogetto architettonico.

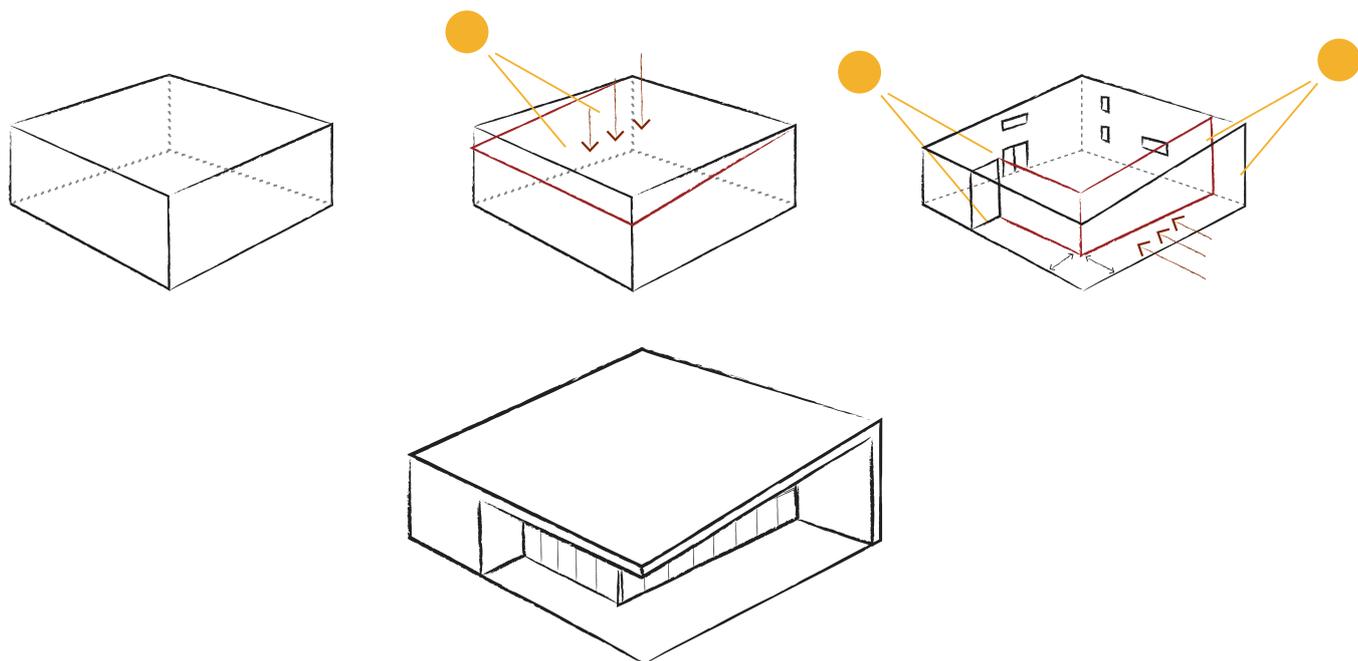
Immagine rielaborata dal libro "Progettare la complessità in architettura. 15 tesi magistrali in Architettura per il progetto sostenibile del Politecnico di Torino", A.A. V.V., 2019.

Come evidente dall'elaborazione della matrice architettonica, si intende progettare edifici aventi la stessa funzione e conformazione tipologica/ materiale/concept, diversi tra loro per piccole questioni formali che non ne modificano l'assetto generale, lasciando i concetti base tali e quali. La finalità del progetto in questione non è quindi di tipo morfologico, ma fondamentalmente si basa sul rapporto tra l'edificio e il contesto, e sulla messa in evidenza dell'uso di materiali e tecnologie sostenibili che promuovano l'ottimizzazione dei consumi interni.

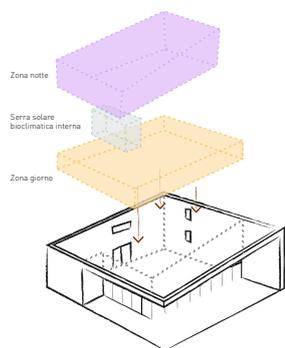
Dalla descrizione specifica di ogni obiettivo emerge chiaramente il legame tra le scelte formali e la localizzazione di ciascun edificio: inoltre, a seconda delle caratteristiche climatiche viene definito in maniera diversa il rapporto tecnologico/distributivo degli ambienti confinati.

Avendo chiari gli obiettivi da perseguire a livello architettonico, la fase successiva è quella di definizione del concept e della forma e distribuzione interna degli edifici.

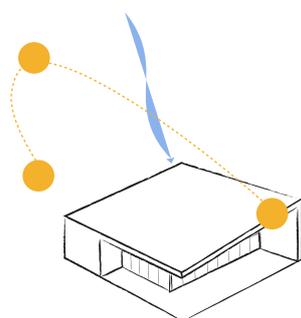
Concept di progetto



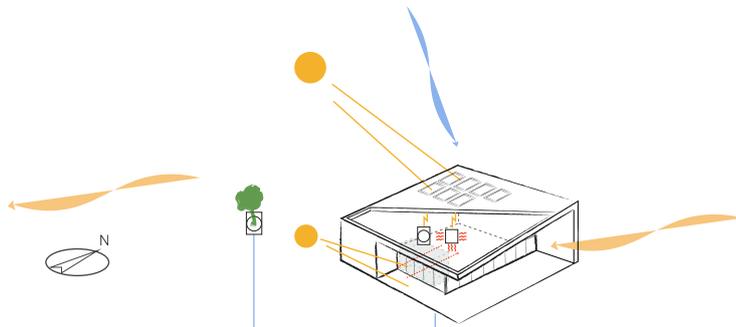
A cosa serve



Abitare
Flessibilità degli ambienti e open space

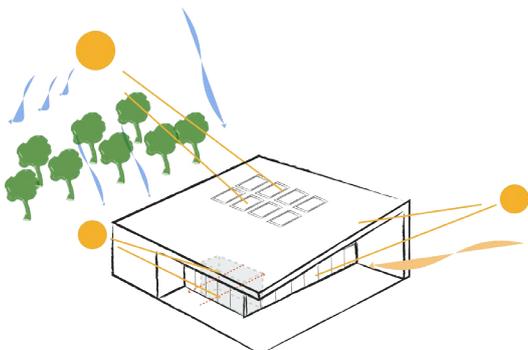


Adattarsi
Al luogo in cui ci si trova

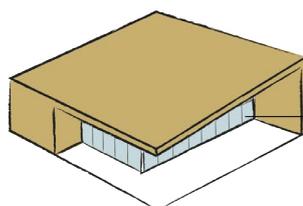


Risparmiare e produrre energia
Bilancio energetico vicino allo 0

Come funziona



Minimi sprechi
La casa sfrutta le risorse rinnovabili a disposizione



Materie prime sostenibili
Costruita con tecnologie prefabbricate in legno

Tecnologia a telaio prefabbricato in legno con doppio strato isolante

Serramenti a contenuta trasmittanza termica

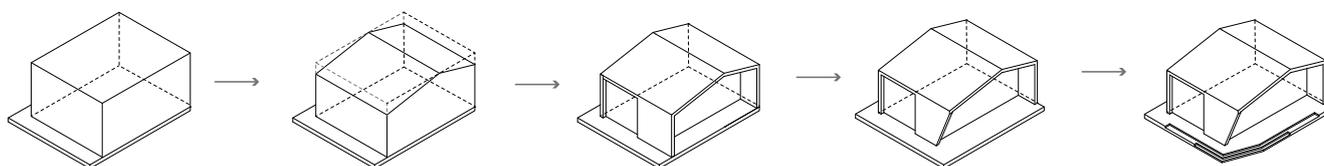


1. Sviluppo della forma

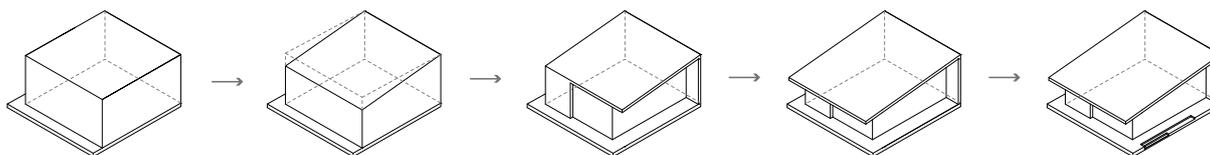
Partendo dal modulo iniziale, che determina le dimensioni dei volumi da cui sviluppare le abitazioni, gli studi sulla forma degli edifici hanno portato a caratterizzare in maniera specifica ciascuno degli edifici progettati.

La costante tenuta a mente nel progetto è il mantenimento di una forma compatta che permetta di limitare le dispersioni verso l'esterno e quindi a ottimizzare la prestazione termica richiesta da un edificio che utilizzi il quantitativo minore possibile di energia "grigia".

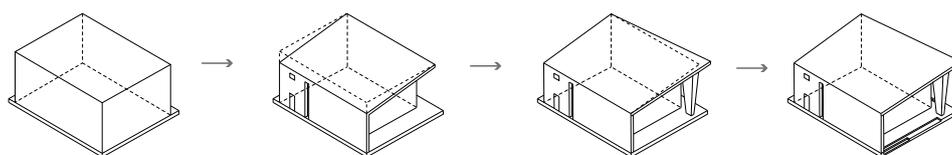
Edificio C



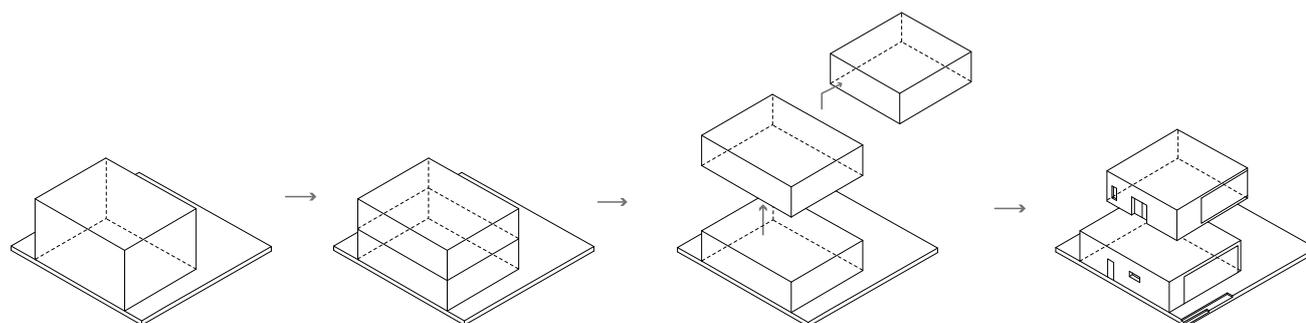
Edificio D



Edificio E

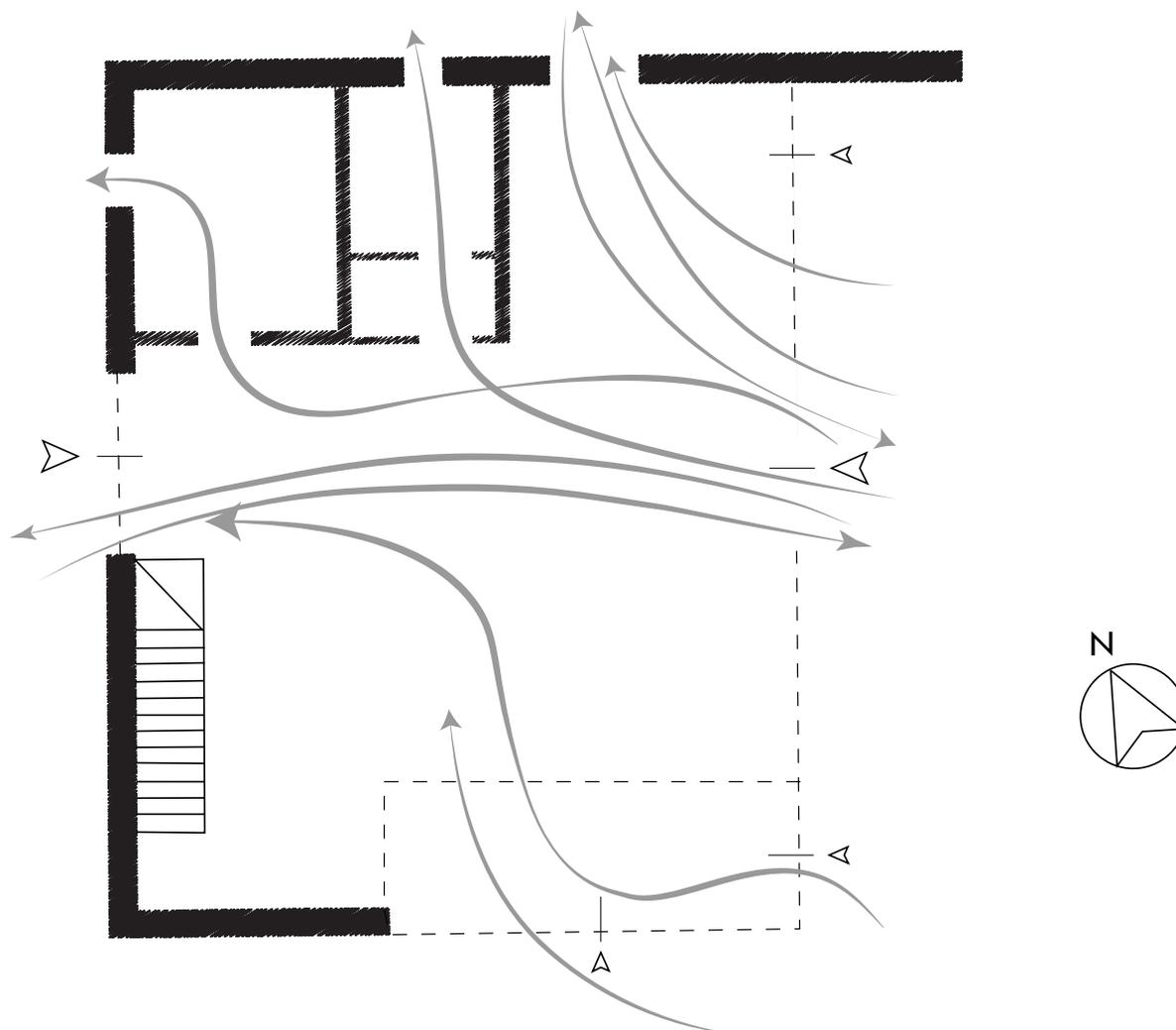


Edificio F

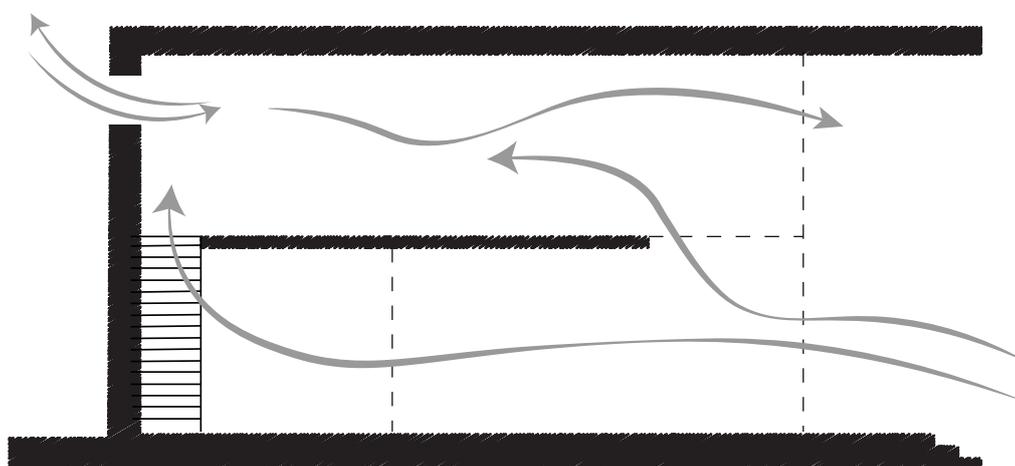


2a. Sviluppo della distribuzione: i flussi d'aria

Immagine 8.2 - Distribuzione in pianta degli ambienti per la corretta circolazione dei flussi d'aria.

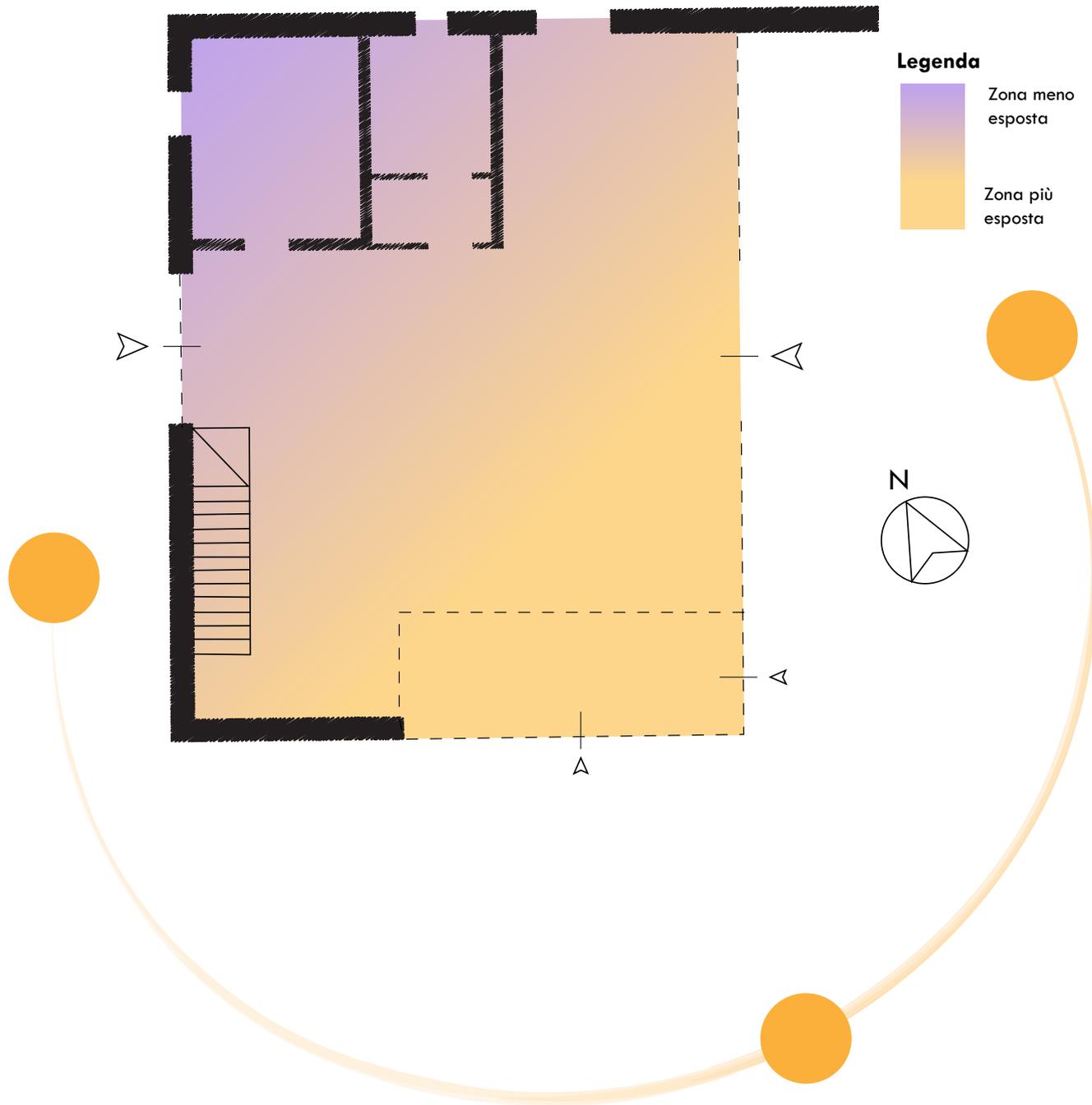


Distribuzione in sezione degli ambienti per la corretta circolazione dei flussi d'aria.

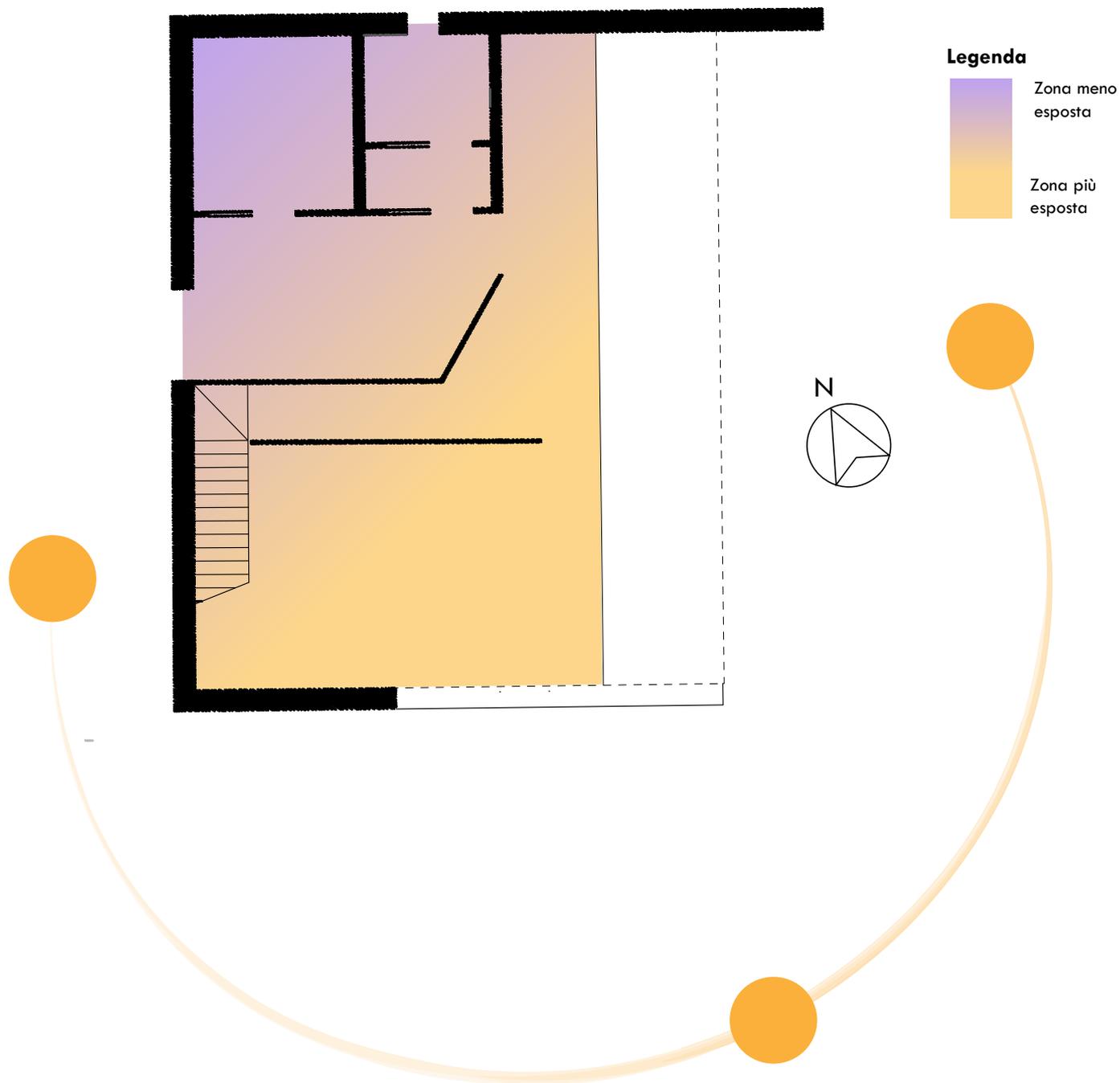


2b. Sviluppo della distribuzione: l'esposizione

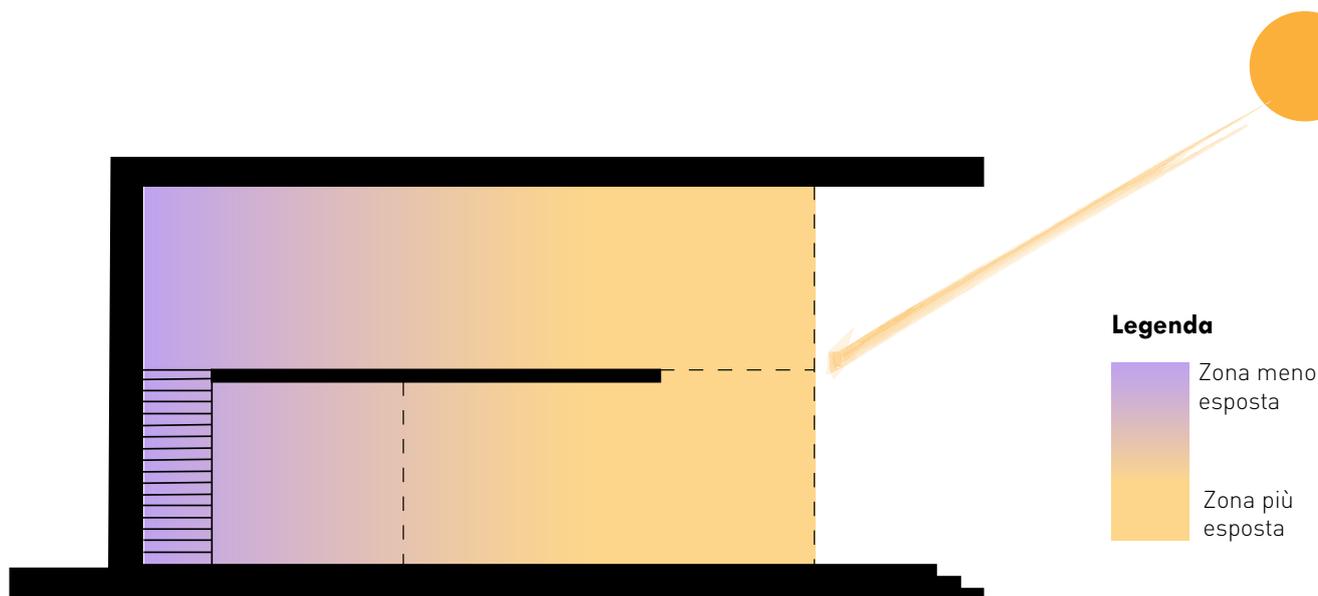
Distribuzione in pianta degli ambienti a piano terra e ipotesi di esposizione all'irraggiamento solare.



Distribuzione in pianta degli ambienti del piano soppalcato e ipotesi di esposizione all'irraggiamento solare.



Distribuzione in sezione degli ambienti e ipotesi di esposizione all'irraggiamento solare.



L'obiettivo a cui si aspira studiando l'irraggiamento solare è quello di comprendere come l'orientamento dell'edificio possa essere esposto alle migliori condizioni di illuminazione in ogni momento della giornata: l'idea è quella di prediligere una disposizione funzionale degli spazi, nella quale gli ambienti in cui vengono svolte le attività principali, come ad esempio mangiare, lavorare e ricevere ospiti, siano privilegiate rispetto alla quantità di illuminazione naturale ricevuta. In base alle scelte distributive effettuate, si tende a privilegiare il posizionamento degli ambienti di servizio nelle aree esposte a NO, e gli ambienti con funzione di rappresentanza esposti a SE. Per le camere da letto vi è invece un discorso diverso, in quanto essendo la casa essenzialmente divisa in zona giorno e zona notte, al piano superiore una delle due riceverà sempre molta luce naturale e l'altra sarà in un'area fondamentalmente poco esposta a qualsiasi ora: avendo principalmente una funzione notturna, è meno cruciale questo aspetto per le camere da letto.

La verifica oggettiva delle considerazioni appena fatte sull'illuminazione naturale del sito deve essere verificata tramite analisi tecnologiche, e vi sono alcuni indici prescritti da normativa che permettono di ottenere questi risultati.

8.2 Caratteristiche tecnologico-ambientali

L'analisi dei requisiti ambientali del progetto è ancora una volta riassunta nella matrice ambientale di metaprogetto: in questa esperienza vengono analizzati i requisiti ambientali attinenti il contesto microclimatico: illuminazione, ventilazione, trasferimento termico e controllo solare. In tale sede vengono fissati anche i livelli di prestazione attesi e gli indicatori necessari per verificare il soddisfacimento di tali requisiti.

I valori di prestazione attesi, una volta fissati, devono essere verificati poi a progetto ultimato, ma servono da valore guida per le scelte di composizione riguardanti l'unità tecnologica da effettuare. Il rispetto di tali parametri è dovuto alle scelte del sistema costruttivo, quindi degli elementi di chiusura opaca e trasparente dell'edificio, e alla morfologia dello stesso, sia esterna che interna. In base alle considerazioni fatte in precedenza, può essere fatto ordine tra le idee finora ipotizzate e elaborarle a un dettaglio maggiore.

Matrice metaprogettuale d'allocazione e articolazione dei requisiti ambientali

METAPROGETTO TECNOLOGICO-AMBIENTALE- matrice d'analisi e verifica di requisiti per aggregazione di unità spaziali								
OGGETTO		REQUISITI AMBIENTALI		LIVELLO PRESTAZIONALE RICHIESTO				
categorie	nome	classe	requisito	indicatore parametro medio pesato sull'intero aggregato	valutazione qualitativa	valutazione quantitativa		
						valore di soglia	unità di misura	
aggregazione di unità spaziali (tipo edilizio)	edificio residenziale	benessere visivo	illuminazione naturale	fattore medio di luce diurna	alto	>2(min)	%	
			ventilazione	qualità dell'aria interna	portata d'aria	medio	20 (min)	m ³ / h-persona
		raffrescamento naturale		alto		0,6	Vol / h	
		media	2	Vol / h				
unità tecnologica	involucro opaco	trasmissione del calore (conduzione, irraggiamento)	inerzia termica	capacità termica areica	media	50(min)	kJ/m ² K	
			trasmissione termica	coefficiente di trasmissione termica	basso	0,13	W/m ² K	
	trasmissione termica solare		fattore solare (vetro)	medio	60	%		
		fattore d'ombreggiamento (finestra)	medio	60	%			
	involucro permeabile	trasmissione del calore (convezione)	permeabilità all'aria	fattore di permeabilità (ventilazione naturale)	alto	8(min)	l /s-m ²	
				fattore di permeabilità (infiltrazioni)	basso	0,5	l /s-m ²	
	involucro totale	trasmissione dell'irraggiamento solare	rapporto superficie trasparente/ superficie totale	esposizione ottimale al sole	efficienza di forma solare	alta	80	%
				indice di trasparenza nord	molto basso	20	%	
				indice di trasparenza sud	molto alto	80	%	
				indice di trasparenza est	altissimo	90 - 100	%	
				indice di trasparenza ovest	molto basso	40	%	
	indice di trasparenza in copertura	bassissimo	5 (max)	%				

Tabella 8.3 - Matrice di metaprogetto architettonico.

Immagine rielaborata dal libro "Progettare la complessità in architettura. 15 tesi magistrali in Architettura per il progetto sostenibile del Politecnico di Torino", A.A. V.V., 2019.

8.2.1 Il Fattore Medio di Luce Diurna

La normativa italiana introduce due fattori che regolano l'illuminazione naturale negli edifici: il Rapporto Aeroilluminante (RAI) che impone un rapporto minimo da rispettare nel rapporto tra la superficie di un ambiente e l'area finestrata, e il Fattore Medio di Luce Diurna (FLDM) che è invece un parametro che, tramite considerazioni rispetto alle caratteristiche fisiche dei materiali, introduce un metodo di calcolo per valutare la quantità di luce naturale che entra in un ambiente confinato.

A livello legislativo, il documento che regola l'illuminazione naturale negli ambienti è il criterio 2.3.5.1 D.M. 11/01/2017 "Illuminazione Naturale", all'interno dei CAM - Criteri Ambientali Minimi, che introduce importanti indicazioni progettuali e requisiti minimi da rispettare nei progetti di architettura: riguardo al parametro FLDM, le leggi prevedono che vi sia una verifica dello stesso rispetto a delle soglie minime da rispettare, diverse a seconda degli ambienti edilizi considerati. In questo caso il valore di FLDM da considerare è quello per ambienti residenziali, che deve avere un valore maggiore o uguale al 2% per ogni ambiente che sia occupato per più di un'ora al giorno. Questa stessa norma prevede indicazioni per l'ottimizzazione dell'illuminazione naturale negli ambienti interni, tramite l'adozione dell'orientamento ideale per l'esposizione alla luce naturale degli ambienti residenziali, prescrivendo come migliore l'orientamento Sud, Sud-Est e Sud-Ovest per ambienti come soggiorni, cucine e sale da pranzo.

La verifica dell'FLDM avviene calcolando questo indice tramite una formula che prende in considerazione le caratteristiche fisiche dell'ambiente da valutare. La formula si presenta con il seguente aspetto:

$$FLDM = \frac{\sum_i A_i \tau_i \varepsilon_i \psi_i}{S (1 - r_m)}$$

dove: A_i = area della finestra i-esima;

τ_i = coefficiente di trasmissione luminosa del vetro;

ε_i = fattore finestra (rapporto tra l'illuminamento sul baricentro della finestra e quello su una superficie orizzontale liberamente esposta alla volta celeste);

ψ_i = fattore che considera l'ombreggiamento indotto sulla finestra dall'imbotte;

r_m = fattore di riflessione medio nel visibile delle superfici che costituiscono l'involucro dell'ambiente considerato.

Per prima cosa è necessario calcolare il fattore di riflessione medio r_m , tramite una formula che tiene conto dei fattori di riflessione di ciascuna superficie moltiplicati per le aree delle superfici che delimitano l'ambiente. I fattori di riflessione standard per alcuni colori comunemente utilizzati in edilizia si possono trovare nella tabella 8.1.

Tabella 8.4 - Valori indicativi dei coefficienti di riflessione r per differenti colori di superfici.

Tabella presa dalla tesi "Illuminazione naturale e fattore medio di luce diurna", A. Vivona, F. Peron, Università degli studi di Venezia IUAV, A.A. 2016-2017.

colore	r	colore	r
bianco	0,9 - 0,75	blu scuro	0,1 - 0,05
avorio	0,85 - 0,8	verde scuro	0,1 - 0,05
crema	0,8 - 0,7	marrone	0,15 - 0,05
giallo chiaro	0,7 - 0,6	rosso scuro	0,1 - 0,05
rosa	0,6 - 0,45	grigio chiaro	0,4 - 0,15
arancio	0,6 - 0,4	grigio scuro	0,15 - 0,05
verde chiaro	0,5 - 0,4	nero	0,04 - 0,01
azzurro chiaro	0,45 - 0,4		

La formula per il calcolo dell' r_m è la seguente:

$$r_m = \frac{\sum S_i r_i}{\sum S_i}$$

L'ambiente su cui si è deciso di effettuare la verifica è quello del soggiorno al piano terra, che misura 97 m² di superficie calpestabile. Si provvede a misurare l'area delle superfici opache, che lo delimitano, ponendo come fattore di riflessione per la superfici bianche $r=0,8$, mentre per il pavimento in legno si sceglie il valore per il colore marrone $r=0,1$. Le superfici delimitanti sono:

$$S_1 = 10,4 \text{ m}^2$$

$$S_4 = 17 \text{ m}^2$$

$$S_7 = 97 \text{ m}^2$$

$$S_2 = 10,4 \text{ m}^2$$

$$S_5 = 10 \text{ m}^2$$

$$S_3 = 12 \text{ m}^2$$

$$S_6 = 97 \text{ m}^2$$

Il calcolo con questi valori è il seguente:

$$r_m = \frac{\sum((97 \times 0,1) + (97 \times 0,8) + (10,4 \times 0,8) + (10,4 \times 0,1) + (12 \times 0,8) + (17 \times 0,8) + (10 \times 0,8))}{\sum(97 + 97 + 10,4 + 10,4 + 15 + 17 + 10)}$$

Il risultato del calcolo pone il valore del fattore di riflessione medio come $r_m = 0,53$.

Per calcolare l'FLDM è necessario adesso fissare i valori di τ , ε , ψ . Essi vengono determinati consultando le tabelle che da normativa prescrivono i parametri di calcolo di tali indici. Per il fattore di riflessione del vetro si può usare la seguente tabella:

Tabella 8.3 - Valori indicativi dei coefficienti di trasmissione τ per diverse tipologie di vetro .

Tabella presa dalla tesi "Illuminazione naturale e fattore medio di luce diurna", A. Vivona, F. Peron, Università degli studi di Venezia IUAV, A.A. 2016-2017.

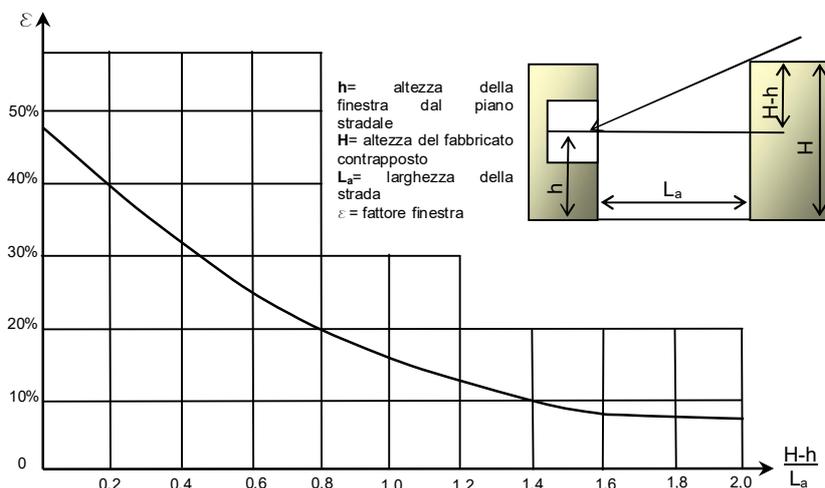
Sistema trasparenti	τ_v
vetro float singolo chiaro 4-6 mm	0,8 - 0,9
vetro float singolo assorbente	0,7 - 0,8
vetro singolo retinato	0,85
vetro float singolo colorato in massa a seconda del colore	0,3 - 0,6
vetro float singolo riflettente	0,35 - 0,6
vetro float singolo bassoemissivo	0,5 - 0,75
doppio vetro 6-12-6 - lastre float chiare	0,65 - 0,75
doppio vetro 6-12-6 - lastre float chiare con rivestimento bassoemissivo	0,6
polycarbonato chiaro	0,8- 0,9
lastre traslucide in materiale plastico	0,1- 0,8

Viene scelto come fattore di trasmissione il valore 0,6, riferito al doppio vetro.

Per il calcolo di ε invece, ovvero del fattore finestra che tiene conto delle ostruzioni esterne, bisogna invece considerare l'influenza di altri edifici o ostacoli esterni sull'illuminazione naturale dell'edificio. Il grafico previsto da normativa che permette di individuare il fattore finestra si presenta in questo modo:

Immagine 8.5- Grafico dei valori di ε in funzione del variare del rapporto $H-h/L_a$

Immagine presa dalla tesi "Illuminazione naturale e fattore medio di luce diurna", A. Vivona, F. Peron, Università degli studi di Venezia IUAV, A.A. 2016-2017..



L'unica ostruzione esterna che influisce in maniera significativa sull'illuminamento esterno è quella che agisce sulla finestra a ovest, che riceve ombra dal muro di contenimento esterno che delimita la zona costruita dal versante collinare. Il resto delle aperture risulta fondamentalmente sempre libero perchè gli edifici sono posizionati su altezze diverse in modo tale da non farsi ombra a vicenda. Pertanto, per le aperture poste a Nord, Est e Sud viene usato il più basso valore di ε individuato dal grafico, ovvero

Lo schema che spiega il calcolo di ε prende in considerazione l'altezza dell'ostacolo rispetto al baricentro della finestra da considerare e la distanza tra la finestra e l'ostacolo.

Nel nostro caso i fattori sono:

$$\begin{aligned} h_{\text{altezza del baricentro}} &= 1,05 \text{ m} \\ H_{\text{altezza dell'ostacolo}} &= 2,70 \text{ m} \\ L_a(\text{distanza tra ostacolo e finestra}) &= 2 \text{ m} \end{aligned}$$

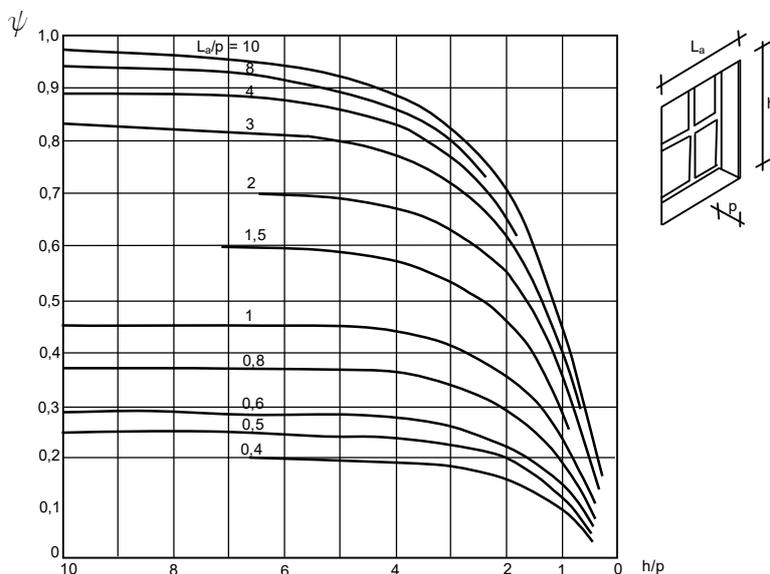
Il rapporto $H-h/L_a$ viene calcolato come $(2,7- 1,05)/2= 1,28$.

Il corrispondente valore di ε segnalato sul grafico è pari a circa 11%, quindi $\varepsilon=0,11$. Per le altre finestre invece, prive di ostacoli, esso viene considerato pari a 1.

Il calcolo del fattore ombreggiamento ψ viene individuato anch'esso su un grafico che individua il rapporto tra l'incassamento della finestra rispetto al filo della facciata, sia in relazione alla sua altezza che alla sua larghezza, e il fattore di ombreggiamento.

Immagine 8.4- Grafico dei valori di ε in funzione del variare del rapporto $H-h/L_a$

Immagine presa dalla tesi "Illuminazione naturale e fattore medio di luce diurna", A. Vivona, F. Peron, Università degli studi di Venezia IUAV, A.A. 2016-2017..



Per quanto riguarda il calcolo di ψ la finestra a Ovest risulta avere un incassamento minimo rispetto al filo facciata, come anche la finestra a Nord, di piccole dimensioni e minima profondità p : nel loro caso quindi ψ potrà essere considerato pari a 1. Se si considerano invece le finestre esposte a Sud e a Est esse presentano degli sporti orizzontali (nel caso della finestra Est anche Verticali). Per esse si dovrà quindi considerare una profondità pari alla lunghezza degli sporti, in quanto l'incassamento rispetto al muro perimetrale è minimo.

Finestra posta a sud:

$$h = 2,7 \text{ m}$$

$$L_o = 5,96 \text{ m}$$

$$p = 2,5 \text{ m}$$

I rapporti tra i parametri sono quindi:

- $h/p = 1,08$
- $L_o/p = 2,4$

Il valore di ψ individuato sul grafico è quindi di 0,58.

Finestra posta a est:

$$h = 2,7 \text{ m}$$

$$L_o = 12,3 \text{ m}$$

$$p = 2,3 \text{ m}$$

I rapporti tra i parametri sono quindi:

- $h/p = 1,17$
- $L_o/p = 5,5$

Il valore di ψ individuato sul grafico è quindi di 0,42.

A questo punto, disponendo di tutti i parametri prescritti dalla formula, si può procedere al calcolo dell'FLDM, che per essere verificato dovrà risultare $\geq 2\%$.

Determinando l'area delle finestre:

$$A_{1(\text{est})} = 33 \text{ m}^2$$

$$A_{3(\text{sud})} = 16 \text{ m}^2$$

$$A_{2(\text{ovest})} = 5,7 \text{ m}^2$$

$$A_{4(\text{nord})} = 0,9 \text{ m}^2$$

La formula dell'FLDM avrà la seguente forma:

$$\text{FLDM} = \frac{((33 \times 0,6 \times 1 \times 0,42) + (5,7 \times 0,6 \times 0,11 \times 1) + (16 \times 0,6 \times 1 \times 0,58) + (0,9 \times 0,6 \times 1 \times 1))}{(97(1 - 0,53))} \geq 0,02$$

Il risultato dell'operazione è 0,07, quindi in percentuale 7%. Il requisito dell'FLDM risulta quindi abbondantemente verificato e quindi l'edificio, grazie alle soluzioni progettuali scelte, gode di un notevole apporto di luce naturale.



9. IL PROGETTO

9.1 Introduzione

Dopo gli studi preliminari effettuati in relazione all'analisi microclimatica, alla distribuzione e alle scelte formali degli edifici di progetto, viene elaborato il progetto vero e proprio. Nelle pagine successive sono presentati gli elaborati di presentazione del progetto, sia nel suo complesso che per ogni singolo edificio.

9.1.1 Masterplan di progetto

Il masterplan dell'area progettuale mostra la sistemazione scelta per gli edifici di nuova costruzione, che vengono indicati con varie lettere dell'alfabeto per avere un metodo di identificazione univoco che faciliti la comprensione del lettore nel momento in cui ciascuno di questi edifici viene trattato in maniera individuale in questa sezione del capitolo. Per differenziare i progetti di nuova costruzione dalle preesistenze si è scelto di adottare espedienti grafici diversi: il preesistente viene indicato in pianta con un colore grigio chiaro e senza essere dettagliato, per sottolineare la mancanza di approfondimento su di essi che si differenzieranno sostanzialmente dalle nuove architetture in progetto, ma la cui presenza è stata comunque tenuta in considerazione per porre limiti progettuali.

Dalla planimetria si può notare come l'orientamento di ciascun edificio segua l'andamento delle curve di livello del terreno, cosa importantissima per l'innesto della costruzione e anche per il rispetto delle caratteristiche naturali del luogo e della normativa tecnica. Inoltre, ciascun edificio viene previsto con un orientamento della facciata principale a est rispetto al nord geografico, cosa che ha influenzato in maniera fondamentale la disposizione degli ambienti interni e delle aperture: infatti i lati sud e est sono quelli che, come si vedrà in seguito, ospitano la maggior parte della superficie vetrata, e in corrispondenza di tali aperture principali sono stati collocati gli ambienti per così dire "rappresentativi" della casa, che vanno a comporre la zona living. Inoltre, in due delle residenze in progetto, precisamente negli edifici D e E, è stata prevista la presenza di una serra bioclimatica interna, sul lato sud di ciascun edificio, al fine di garantire degli apporti in termini energetici alle case in questione: la scelta di non progettare una serra in ogni residenza deriva dalla volontà di fare un confronto con gli edifici che invece risultano sprovvisti di tale soluzione integrata.

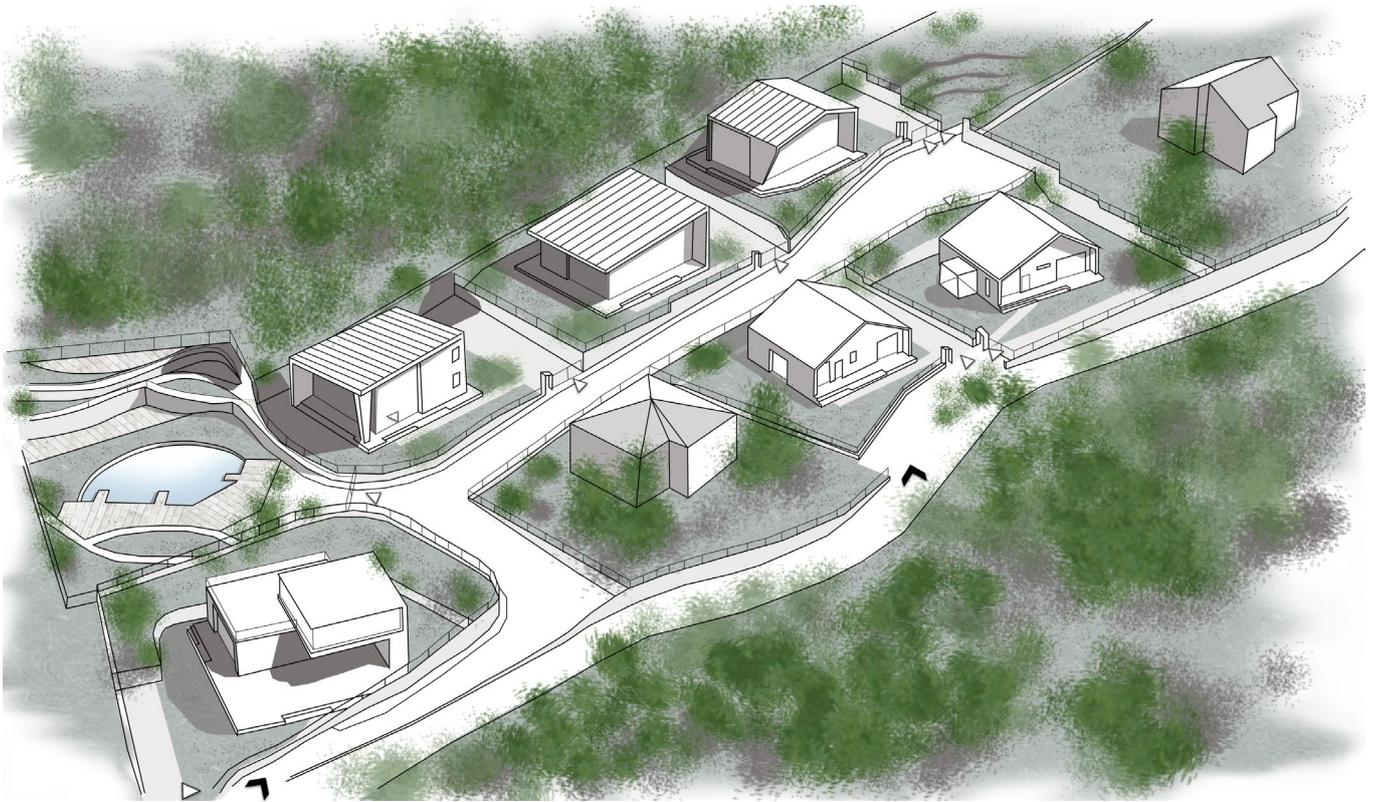
Gli edifici A e B, rappresentati nel masterplan, occupano i lotti di terreno più vicini alla strada e rappresentano i "prototipi" di partenza per l'intero lavoro svolto: essi infatti sono stati progettati dall'arch. Massimiliano De Leo, attuale correlatore di questa tesi, prima dell'inizio del mio tirocinio curricolare presso il suo studio di architettura DeLeo&Drasnar, iniziato nel Marzo del 2018. Nel corso della mia esperienza da tirocinante ho seguito i cambiamenti subiti dal progetto iniziale delle residenze A e B, specialmente durante la fase di presentazione di alcune modifiche progettuali da presentare in commissione paesaggistica. Proprio a partire dal lavoro svolto insieme all'architetto De Leo in quel periodo nasce l'idea di ampliare l'idea iniziale della costruzione di due sole villette, allo scopo di applicare i sistemi prefabbricati in legno ad un'area più estesa, in cui installare un progetto innovativo per la fascia collinare torinese.

L'ultima considerazione da fare analizzando il masterplan concerne l'organizzazione areale del lotto, che viene riassunta nello schema posto a lato del disegno planimetrico principale: esso ha lo scopo di riassumere la suddivisione delle diverse funzioni assegnate alle varie porzioni del sito. Il progetto è stato articolato come un complesso residenziale nel quale ogni unità abitativa possiede una propria autonomia, però allo stesso tempo sono stati previsti due spazi sfruttabili in maniera comune dagli abitanti del complesso: nel primo si ipotizza di sistemare il terreno tramite dei terrazzamenti atti alla coltivazione, al fine di predisporlo alla funzione di orto "condiviso" dai futuri abitanti, mentre nello spazio libero restante viene proposta un'area ricreativa, che potrebbe essere aperta potenzialmente anche a soggetti esterni alle abitazioni, per cui è stata ideata una sistemazione che segua l'andamento del terreno in modo armonico, anche considerando l'andamento del resto delle porzioni di lotto. Le aree destinate a uso comune sono state ideate per avere una funzione sociale aggregativa importante e aiutare a incrementare il valore complessivo degli immobili.

Masterplan in scala 1:1000 illustra la sistemazione prevista per il sito di progetto



Rappresentazione assonometrica del masterplan



- Edifici preesistenti
- Edifici progettati nel corso del tirocinio
- Edifici progetto di tesi

9.1.2 La proposta di masterplan alternativo

Contemporaneamente alla scelta progettuale principale, che vede come tema centrale quello degli edifici isolati, predisposti per un unico nucleo familiare, è stata elaborata un'alternativa di masterplan della stessa area, che propone un progetto di case a schiera. Lo scopo è quello di confrontare le due proposte, sia per considerare una proposta di scenario alternativo, sia per capire le differenze tra la prima e la seconda. L'intenzione è poi quella di comparare le due diverse soluzioni anche sul piano energetico, simulando il fabbisogno annuale di entrambe le tipologie di edifici, isolata e a schiera, e trarre delle conclusioni di carattere qualitativo e quantitativo.

Proposta di masterplan alternativo: l'ipotesi degli edifici a schiera



9.2 Aspetti tipologici

A partire dai limiti costruttivi imposti dal Regolamento Edilizio sono stati quindi elaborati gli edifici residenziali. Prendendo come riferimento il volume di base, il “parallelepipedo” di partenza da rimodellare a seconda delle esigenze che man mano si presentavano, sono nate ad una ad una, nella loro specificità, tutte le unità.

La scelta dell’abitazione monofamiliare è stata presa, a seguito delle analisi prestazionali ed essenziali preliminari, poichè giudicata quella in grado di rispondere al meglio ai requisiti necessari al progetto.

E’ stato quindi sviluppato il progetto dei volumi, con l’obiettivo di trovare un linguaggio formale omogeneo per i vari edifici, ma allo stesso tempo di rendere ciascuno di essi unico e particolareggiato, in modo da dare una risposta formale varia che potesse soddisfare le esigenze di diversi utenti che potrebbero in futuro abitare tali spazi.

9.2.1 I riferimenti architettonici

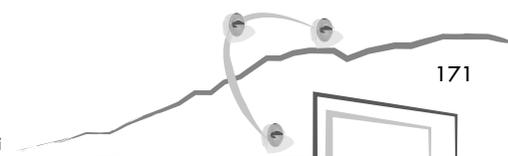
Di ispirazione fondamentale per la definizione di una linea guida compositiva del progetto è stato il confronto (seppur “virtuale”) con un progetto di Shigeru Ban, che nel caso presente si è ispirato al rapporto tra le forme e la luce e all’uso del legno, specialmente dal punto di vista estetico.

Il caso a cui si fa riferimento è quello di “The House of light and shadow ”: realizzato nel 2016 a Tokyo, esprime un’estetica minimalista che gioca sull’uso di geometrie pulite e regolari, ampie vetrate che forniscono un’ampia visuale sull’interno della casa e giochi di luci e ombre portati dalla scelta di utilizzare una sequenza continua di listelli in legno come rivestimento delle superfici interne dell’ambiente.

L’aspetto più interessante dell’edificio di Shigeru Ban, che in realtà è una sopraelevazione su una struttura preesistente, è la facciata, che grazie alla sua vetrata a tutta altezza fornisce l’idea di un grande vuoto: essa punta come un cannocchiale verso l’esterno, mostrando allo stesso tempo ciò che avviene dentro, donando agli spazi abitativi luminosità e una fondamentale sensazione di ampiezza, incorniciata da una superficie di spessore accentuato rivestita di lamiera, che evidenzia il profilo acuto del tetto monofalda dell’edificio e altro non è che uno sporto a protezione del patio esterno.

Le tonalità calde del legno e la luminosità dell’intonaco bianco contribuiscono inoltre a dare un senso di leggerezza complessivo dello spazio interno, dando l’impressione di una maggiore grandezza. La scelta poi di disporre pochi arredi, anch’essi provvisti di un’estetica minimal ed essenziale, lascia in primo piano le geometrie dello spazio, sottolineate dalla ripetizione dei listelli che avvolgono totalmente lo spazio interno. Questi elementi lignei, dalle linee sottili e le misure e distanze ripetitive, aggiungono tridimensionalità a un volume dalle forme essenziali, grazie al gioco di luci e ombre che creano sulle superfici non appena vengono colpiti dalla luce giusta.

Infine, l’edificio si sviluppa in altezza su due livelli di cui uno soppalcato, che di conseguenza rappresentano fondamentalmente un unico grande ambiente che riceve luce dalle due vetrate a tutta parete che forano il volume permettendo all’intero spazio di essere abbracciato, da est a ovest, con un’unica occhiata. Questo espediente permette di avere la maggior resa luminosa possibile, ma rende poi necessario la riduzione al minimo o totale assenza di aperture sulle restanti superfici opache.

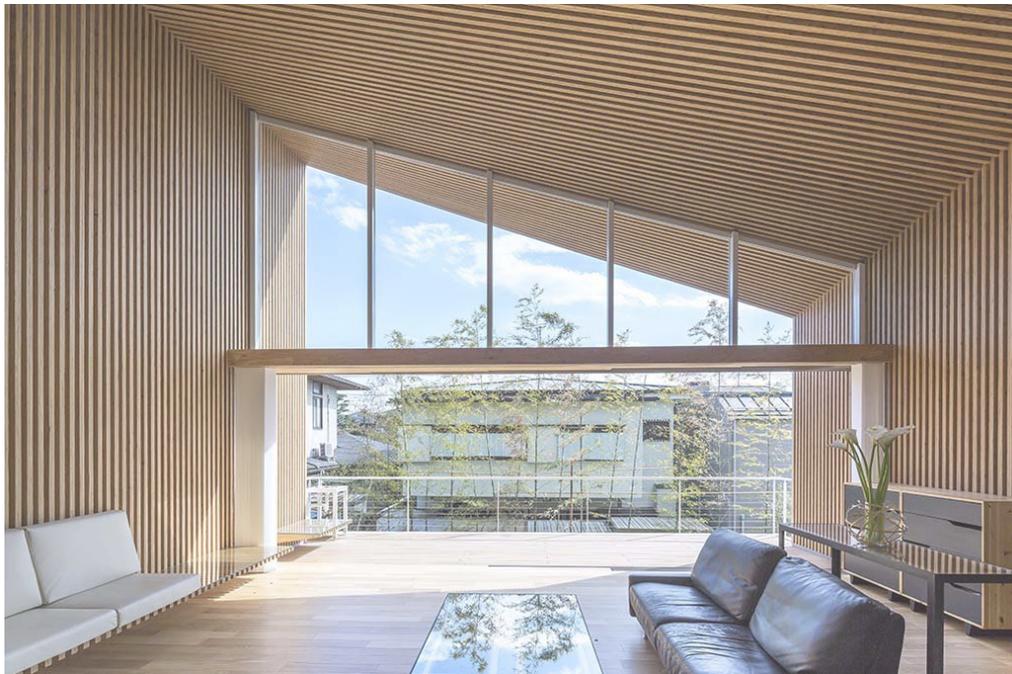


Immagini 9.2 e 9.3 - Vista dall'esterno della facciata principale dell'edificio (8.2) e vista dall'interno verso l'esterno (8.3).
Immagini tratte dal sito <<http://www.shigerubanarchitects.com/>>.

9.2



9.3



L'azione fondamentale è quindi stata quella di ispirarsi all'architettura di Shigeru Ban adattandola alle esigenze del progetto, proponendo diverse variazioni del tema.

L'elemento mantenuto costante in ogni edificio e derivato dall'analisi preliminare del sito è la posizione delle superfici vetrate maggiori, tutte poste in direzione ESE, ovvero quella privilegiata per l'esposizione luminosa, nonché per la vista panoramica sul fondo valle. Queste ampie superfici vetrate sono state dotate di sporti, in alcuni casi sia su lato Sud che su quello Est, che assolvevano la fondamentale funzione di ombreggiatura, oltre che proteggere lo spazio antistante la facciata dalle intemperie, riproponendo l'idea del patio proteso verso l'ambiente esterno.

Tutte le residenze sono state rialzate dal piano di campagna tramite un basamento, che fornisce un filtro tra il terreno e l'attacco della struttura in legno - che è comunque poggiante su una platea in calcestruzzo armato - anche per creare una forma di graduale passaggio, anche formale, tra interno ed esterno. Il basamento è rivestito in materiale lapideo per esterni.

L'involucro esterno è rivestito di intonaco, la cui proposta di colore punta su tonalità chiare neutre, come prescritte dal Regolamento Edilizio comunale e nel rispetto soprattutto del vincolo paesaggistico - molto restrittivo anche in materia estetica in questa zona - che prevede un'omogeneità generale di materiali. La scelta del colore chiaro è anche dovuta alla volontà di donare leggerezza ai volumi che vanno a innestarsi in un contesto collinare immerso nel verde e presentano tutte un'omogeneità nel tono di colore.

Le variazioni del tema formale di base riguardano sostanzialmente la forma e l'inclinazione delle coperture, la presenza interna/esterna del rivestimento ligneo dei listelli e la disposizione interna degli ambienti, mentre rimane invariata la scelta dei materiali da costruzione e delle strategie tecnologiche.

L'unica residenza che si differenzia fortemente dalle altre è quella indicata con la lettera "F": essa è composta da due volumi sfalsati e dotata di un tetto percorribile con una porzione di superficie verde su di esso. La scelta di differenziarla così tanto rispetto alle sue "sorelle" è dettata da due fattori: il primo è l'esposizione solare avvantaggiata, in quanto l'area del sito in cui si trova gode di un numero maggiore di ore di sole rispetto al resto del lotto; il secondo è la posizione di primo piano rispetto al limite della strada, che ne fa un po' il biglietto da visita dell'intero complesso, e quindi fornisce un'occasione per giocare con la disposizione dei volumi.

9.2.2 Aspetti distributivi e soluzione progettuale

L'ambiente interno degli edifici presenta un'aspetto costante nelle divisioni delle funzioni: la zona giorno si trova al piano terra e la zona notte su quello soppalcato, che in realtà per altezza media è un vero e proprio primo piano che comunica con il resto dell'ambiente. Questa scelta di creare una continuità tra i diversi luoghi della casa è dovuta principalmente alla volontà di disporre ambiente open space con pochissime partizioni, flessibile e in grado di rispondere a eventuali necessità di trasformazione che si possono presentare nel corso del tempo, ad esempio in seguito a un cambiamento di proprietà o, perché no, anche di funzione.

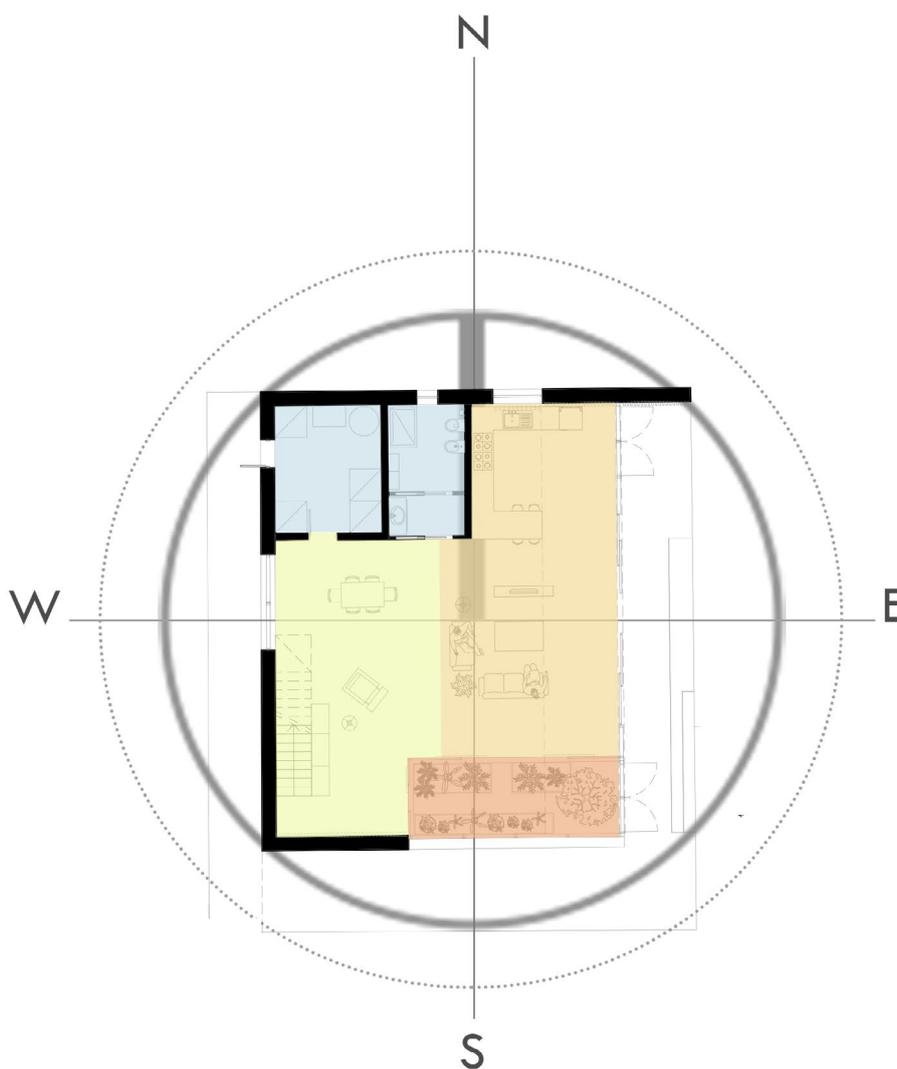
La disposizione verticale è perciò molto semplice, data da una scala che mette in comunicazione i due livelli, che approda nell'area di distribuzione e che collega le diverse stanze private. L'aspetto interessante dell'idea del soppalco in generale è la possibilità di affacciarsi sull'ambiente sottostante all'occorrenza e poterlo vedere,

un'opportunità che permette di ottenere una sensazione fondamentale di inclusività e di partecipazione a ogni momento delle attività quotidiane. E' inoltre importante dotare a tutti gli ambienti di un affaccio sulle ampie superfici vetrate.

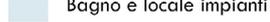
La localizzazione dei diversi ambienti invece segue una logica di orientamento geografico: si cerca di sfruttare le caratteristiche di irraggiamento e di percorrenza dei flussi di vento posizionando gli ambienti in base alle loro funzioni e alle diverse esigenze, anche di rappresentanza, degli spazi residenziali.

Schemi distributivi verticali e orizzontali

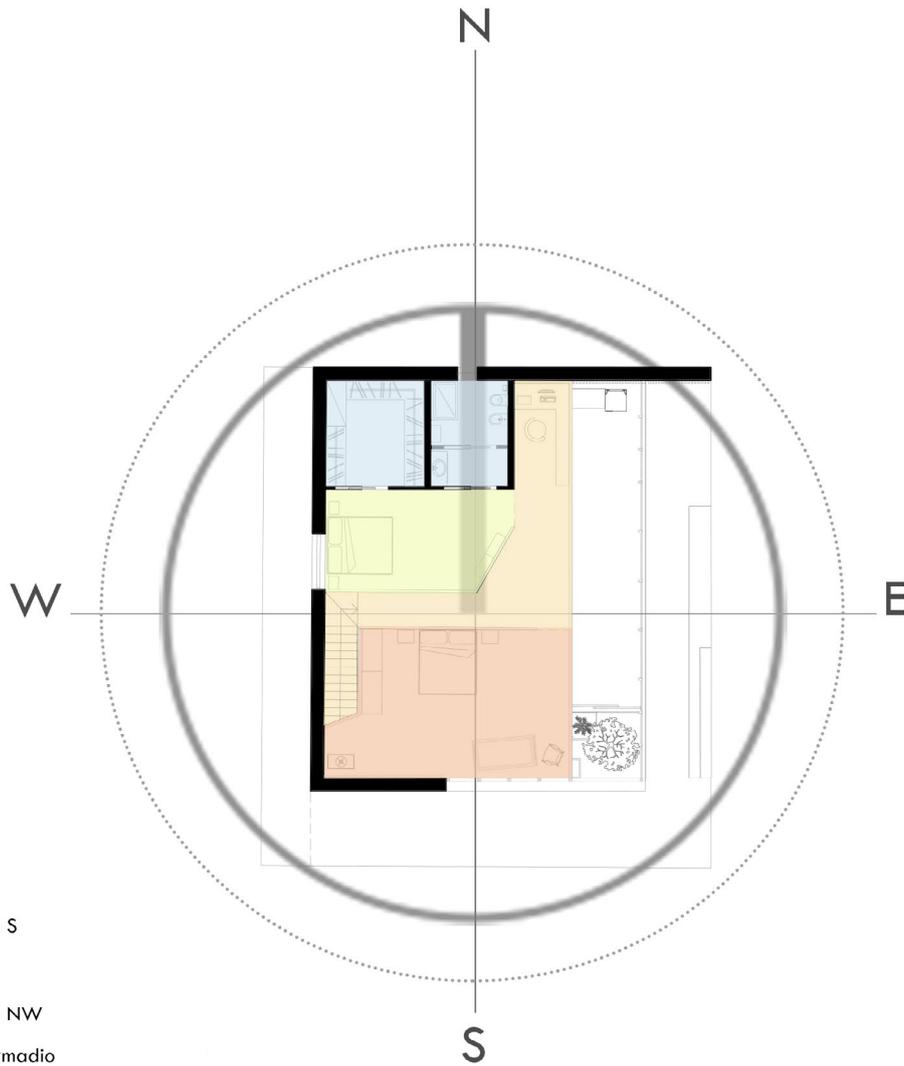
Distribuzione al piano terra



Legenda

-  Serra
-  Zona living
-  Spazio filtro
-  Bagno e locale impianti

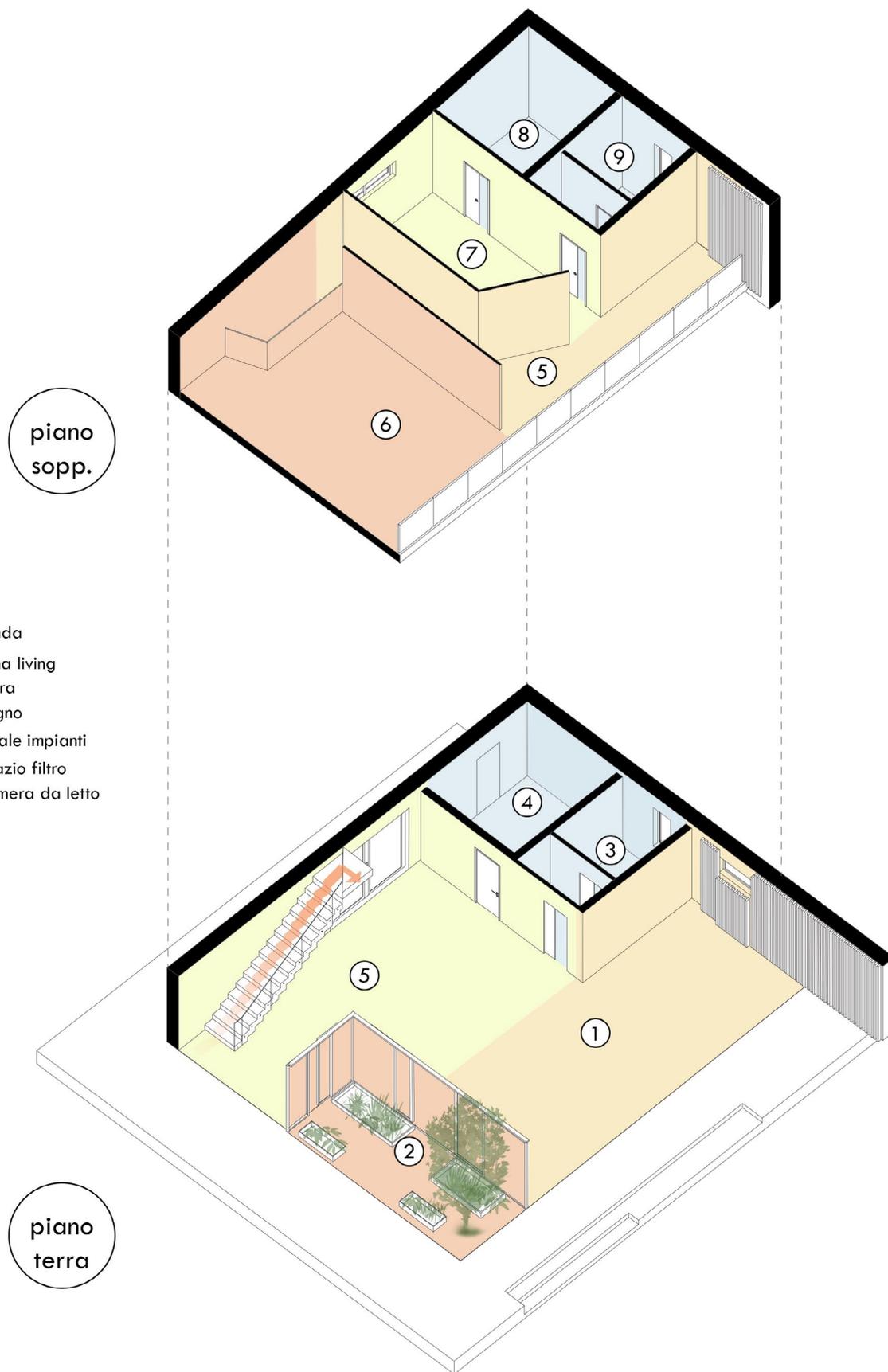
Distribuzione al piano soppalcato



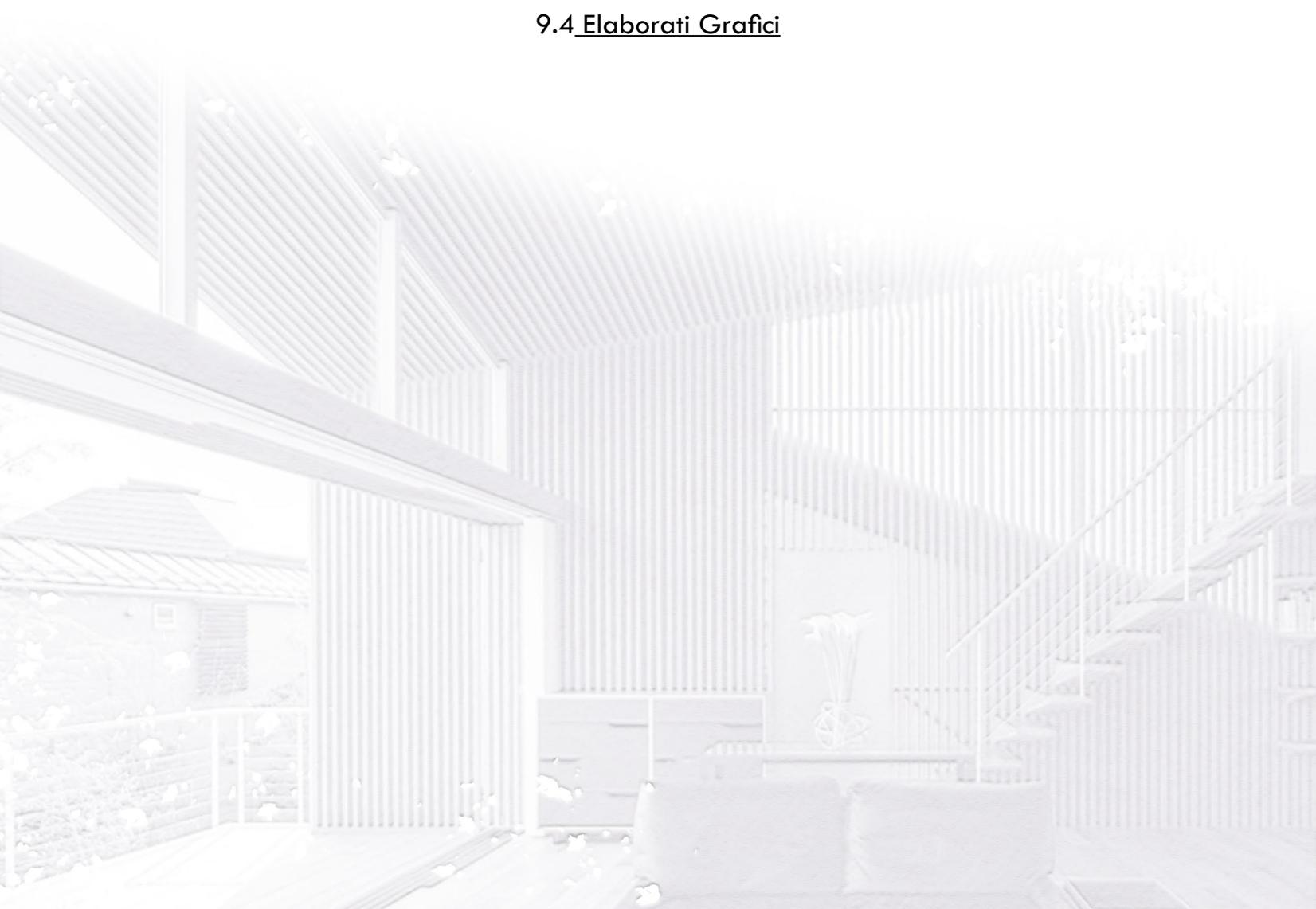
Legenda

- Camera da letto a S
- Zona filtro
- Camera da letto a NW
- Bagno e cabina armadio

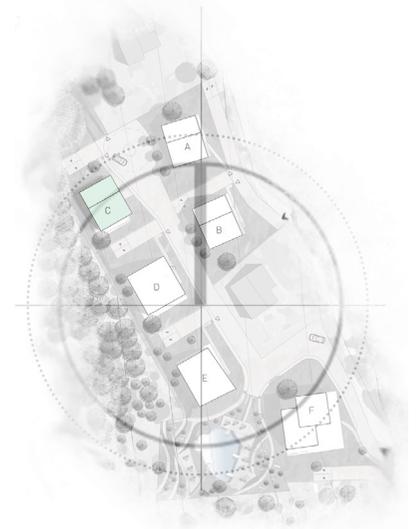
Schema assometrico di distribuzione verticale



9.4 Elaborati Grafici

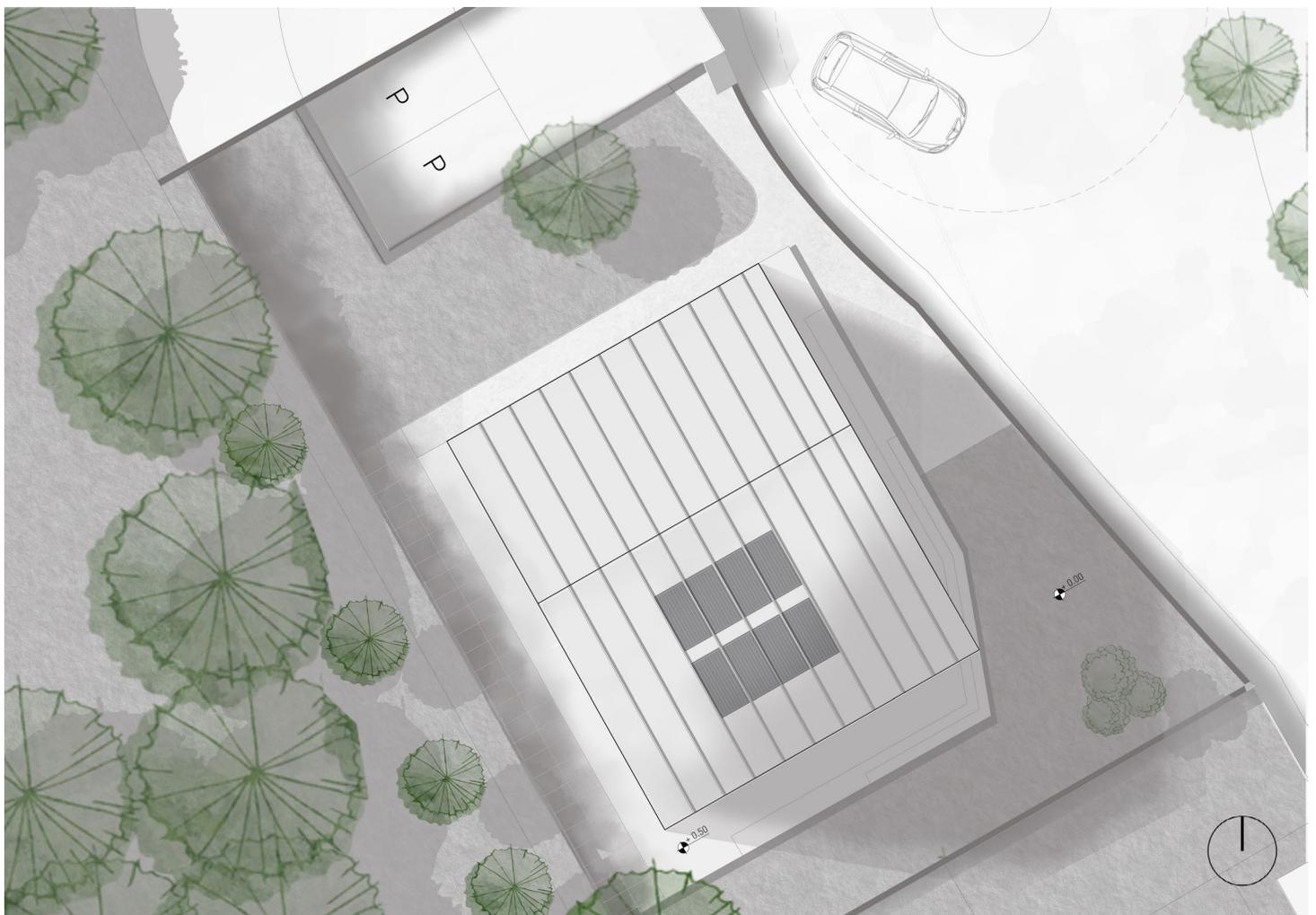


9.4.1 Edificio C



Key plan dell'area di progetto

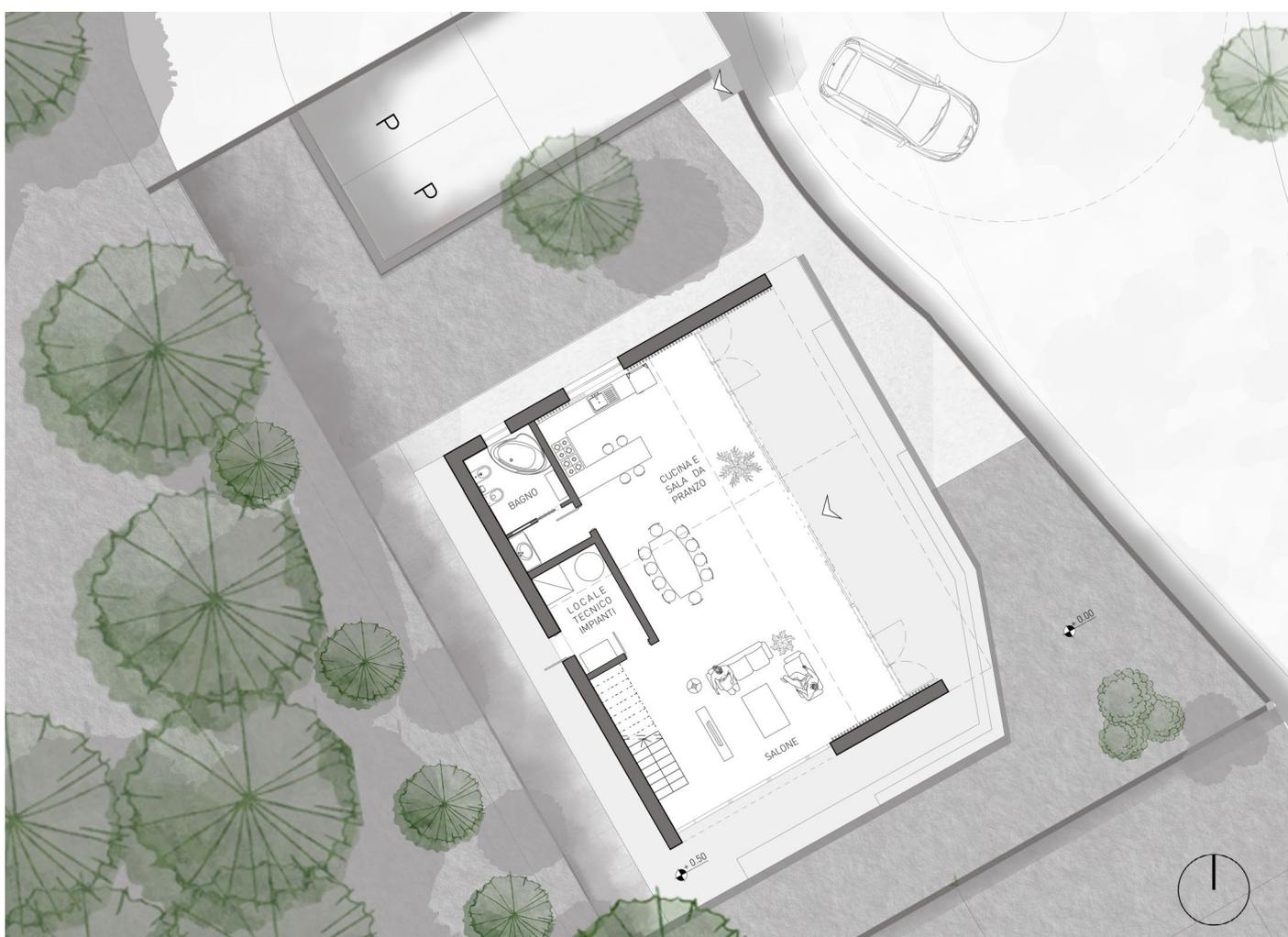
Planimetria della copertura

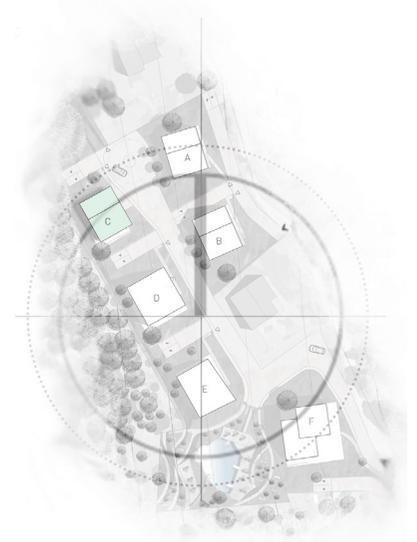




Key plan dell'area di progetto

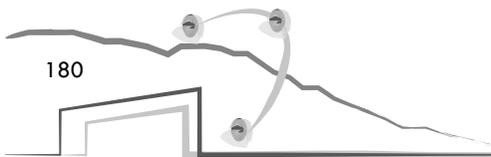
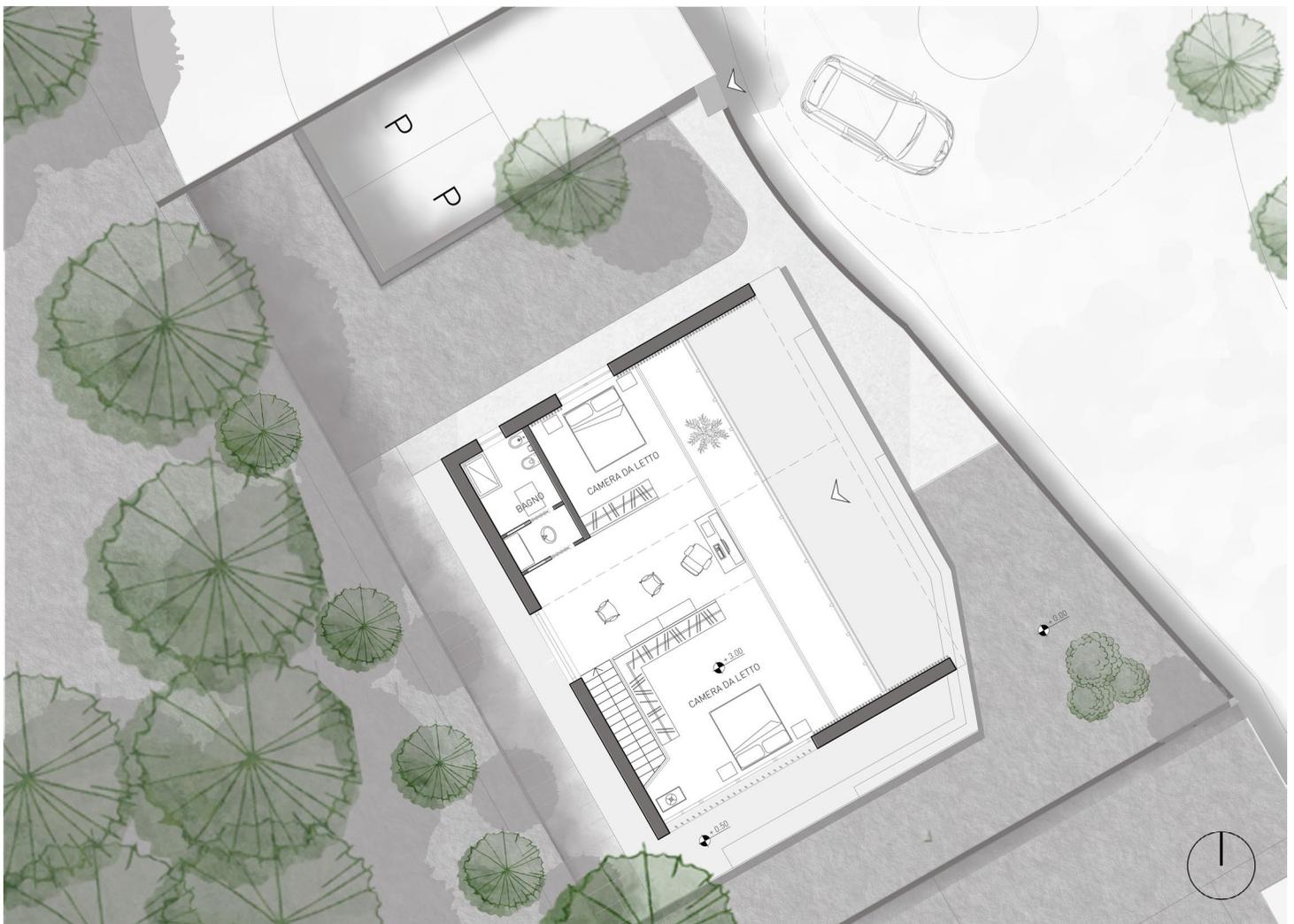
Planimetria del piano terra





Key plan dell'area di progetto

Planimetria del piano soppalcato

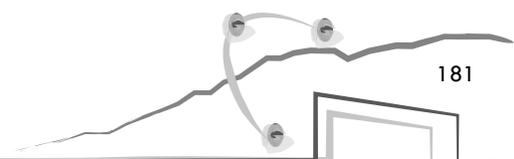
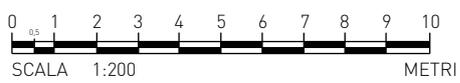


Prospetti

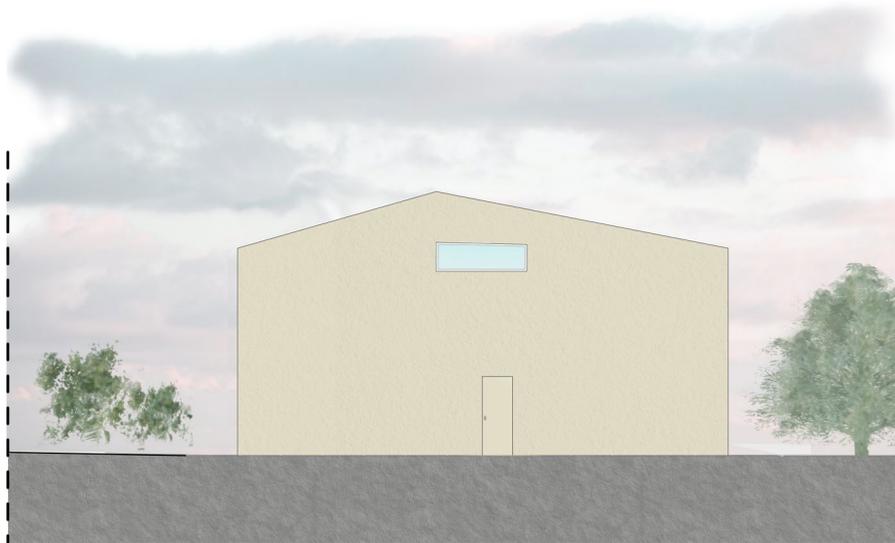
Prospetto nord



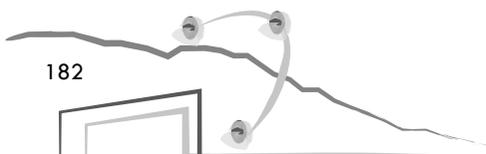
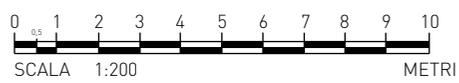
Prospetto sud



Prospetto ovest



Prospetto est

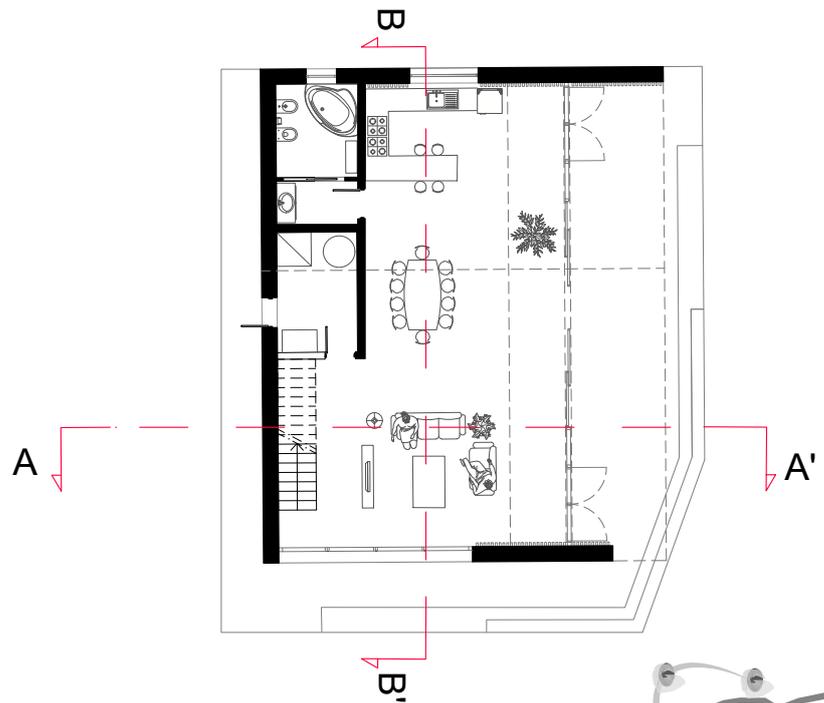
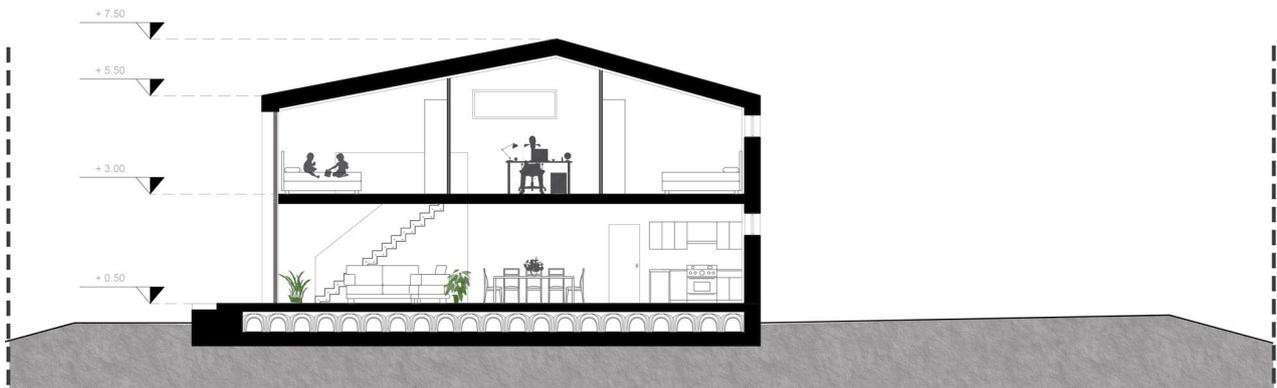


Sezioni

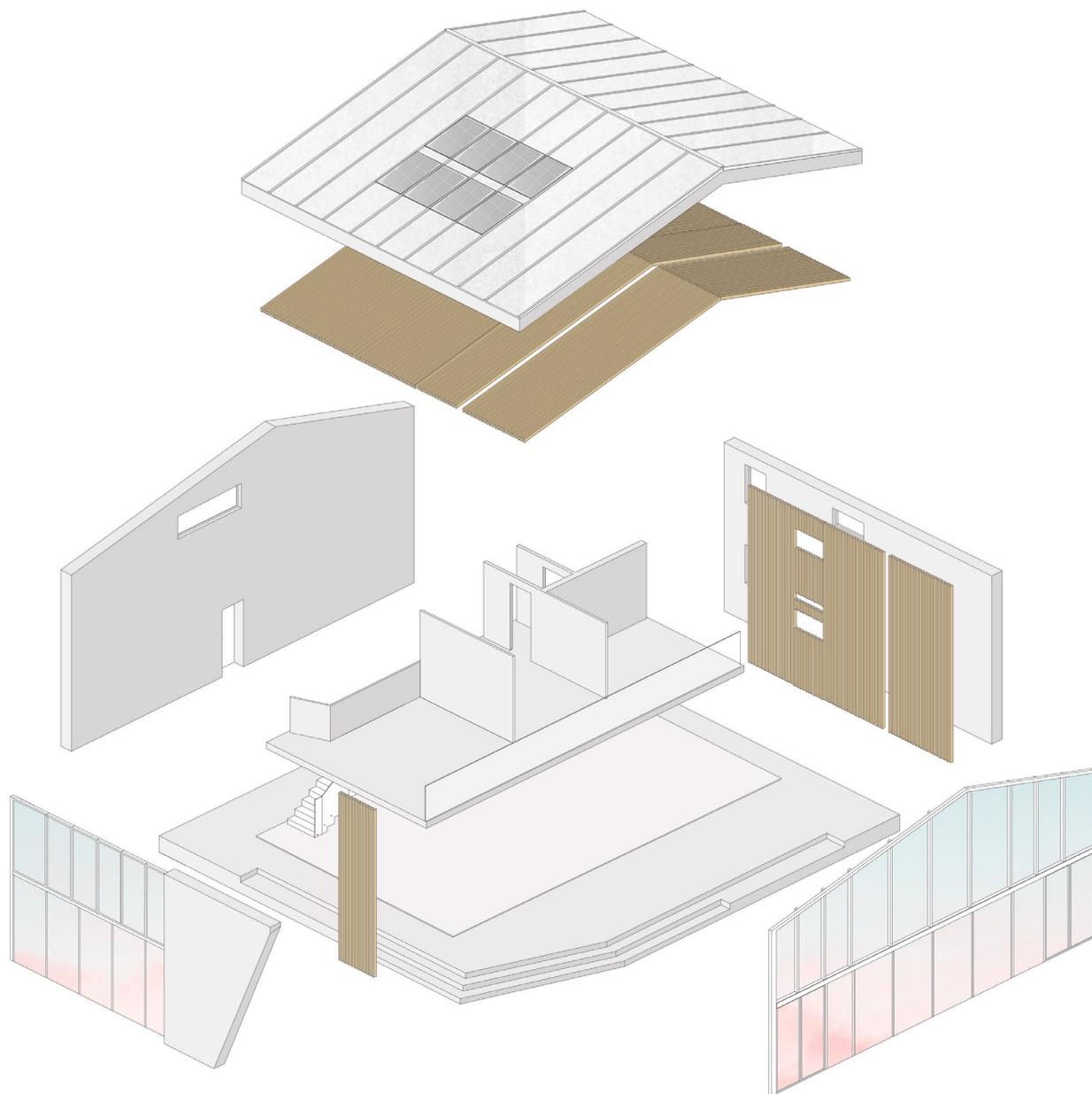
Sezione AA'



Sezione BB'



Esploso assometrico



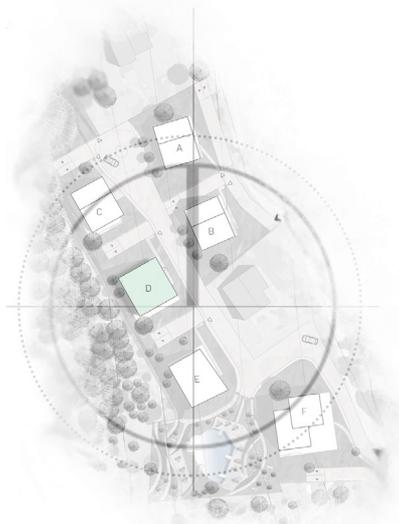
9.4.2 Edificio D



Key plan dell'area di progetto

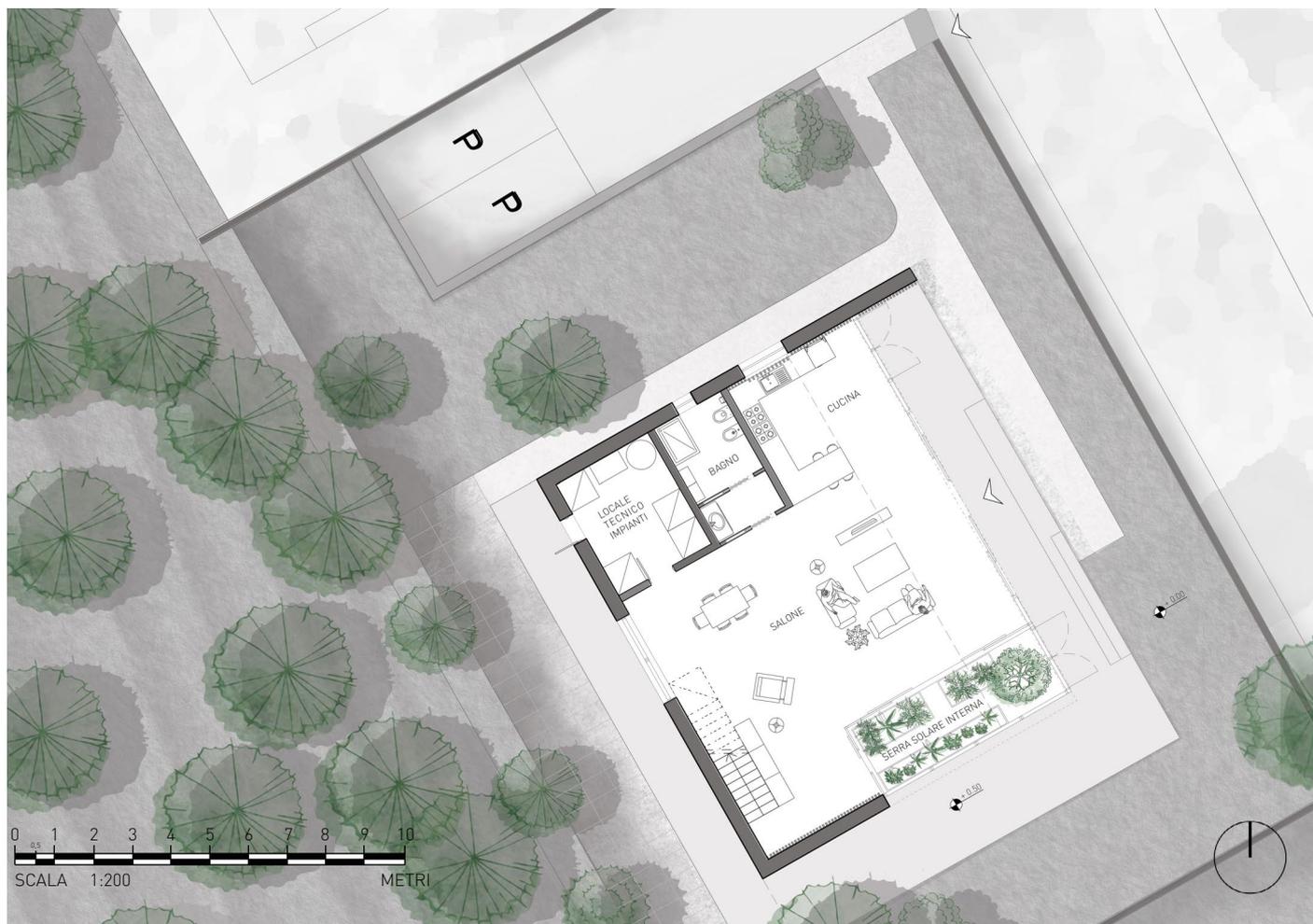
Planimetria della copertura

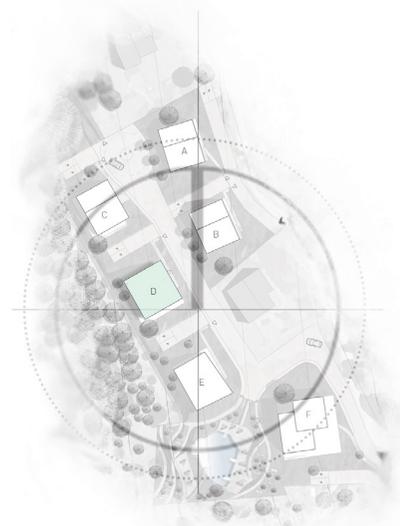




Key plan dell'area di progetto

Planimetria del piano terra





Key plan dell'area di progetto

Planimetria del piano soppalcato

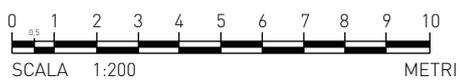


Prospetti

Prospetto nord



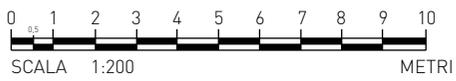
Prospetto sud



Prospetto ovest

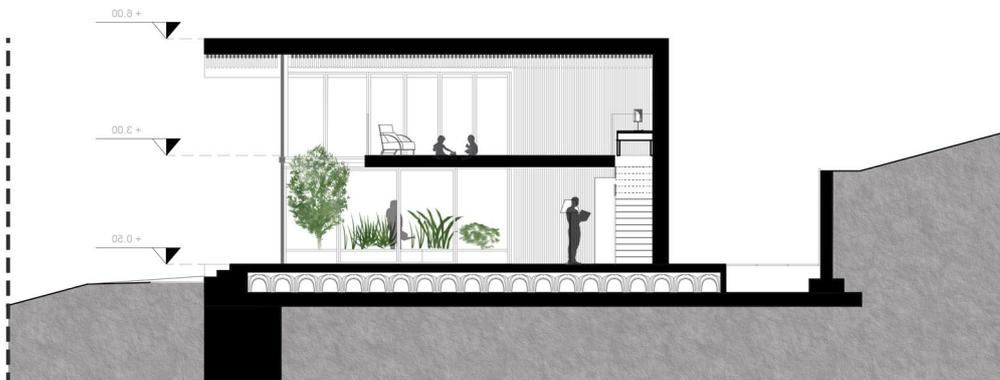


Prospetto est

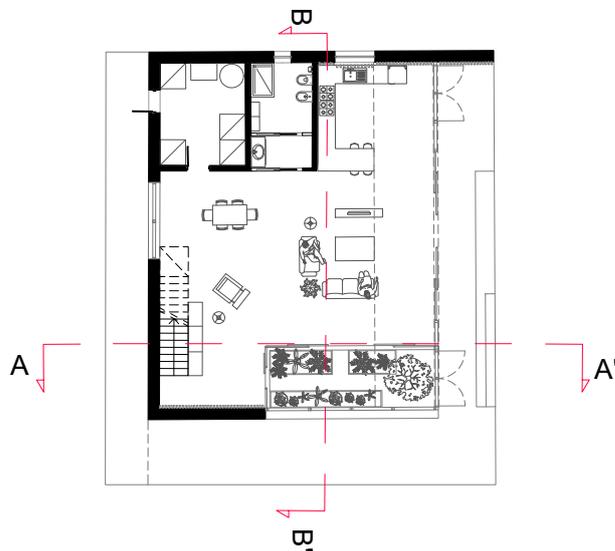
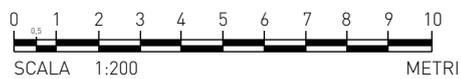
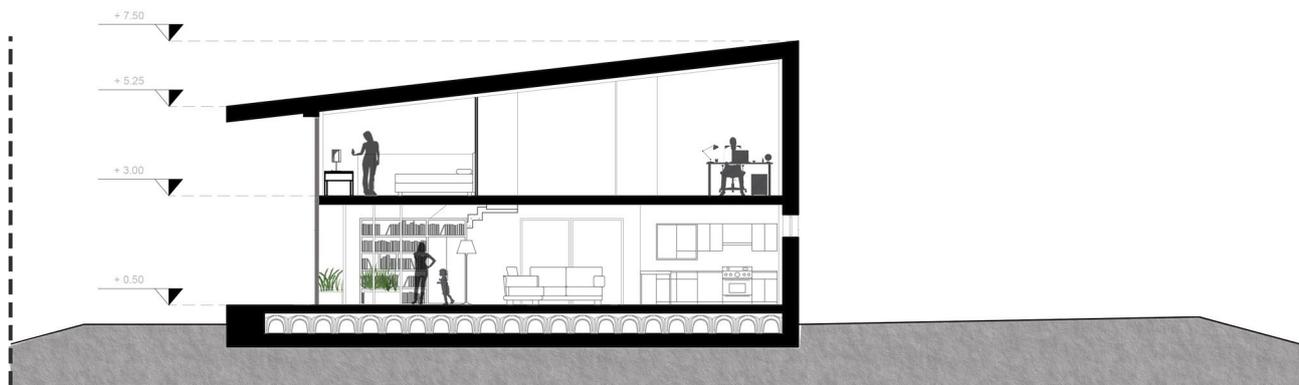


Sezioni

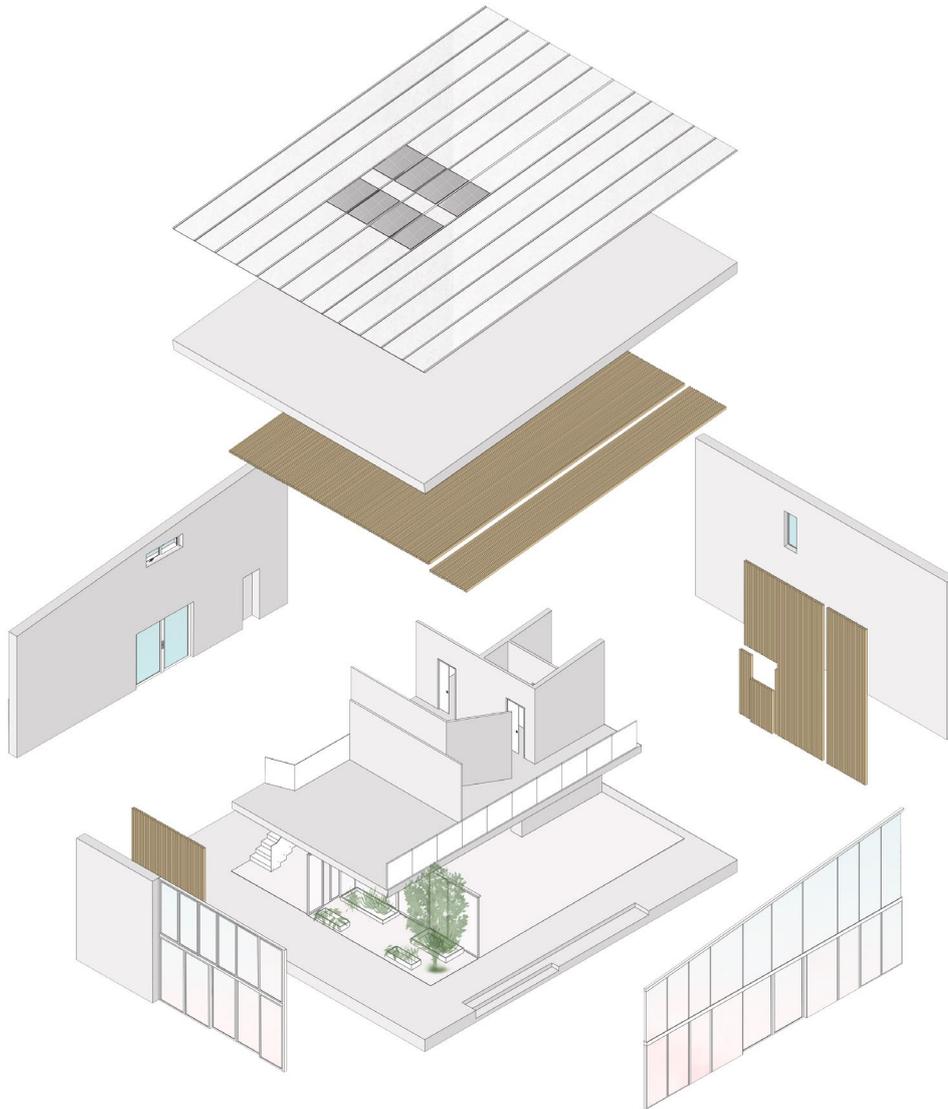
Sezione AA'



Sezione BB'



Esploso assometrico

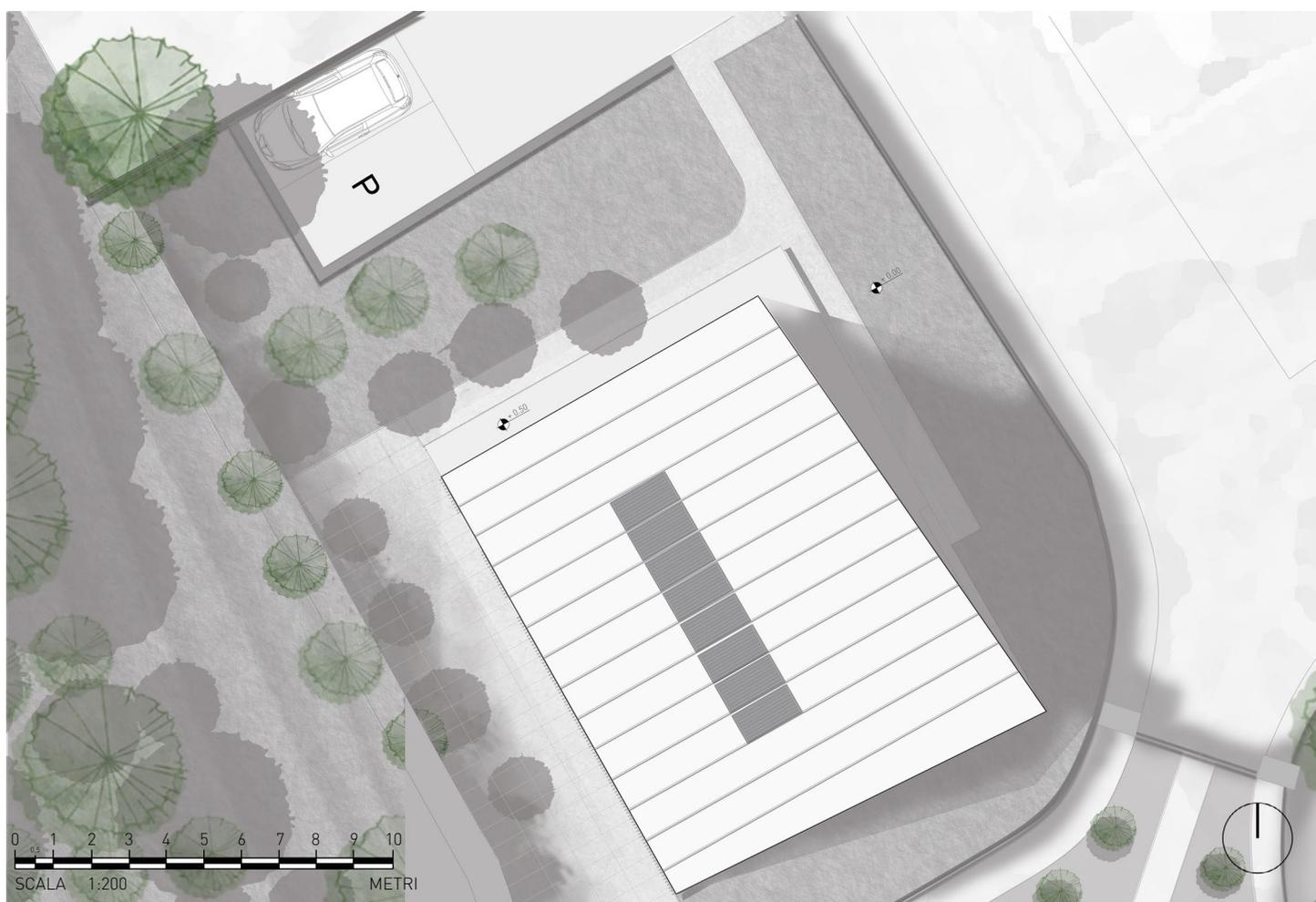


9.4.3 Edificio E



Key plan dell'area di progetto

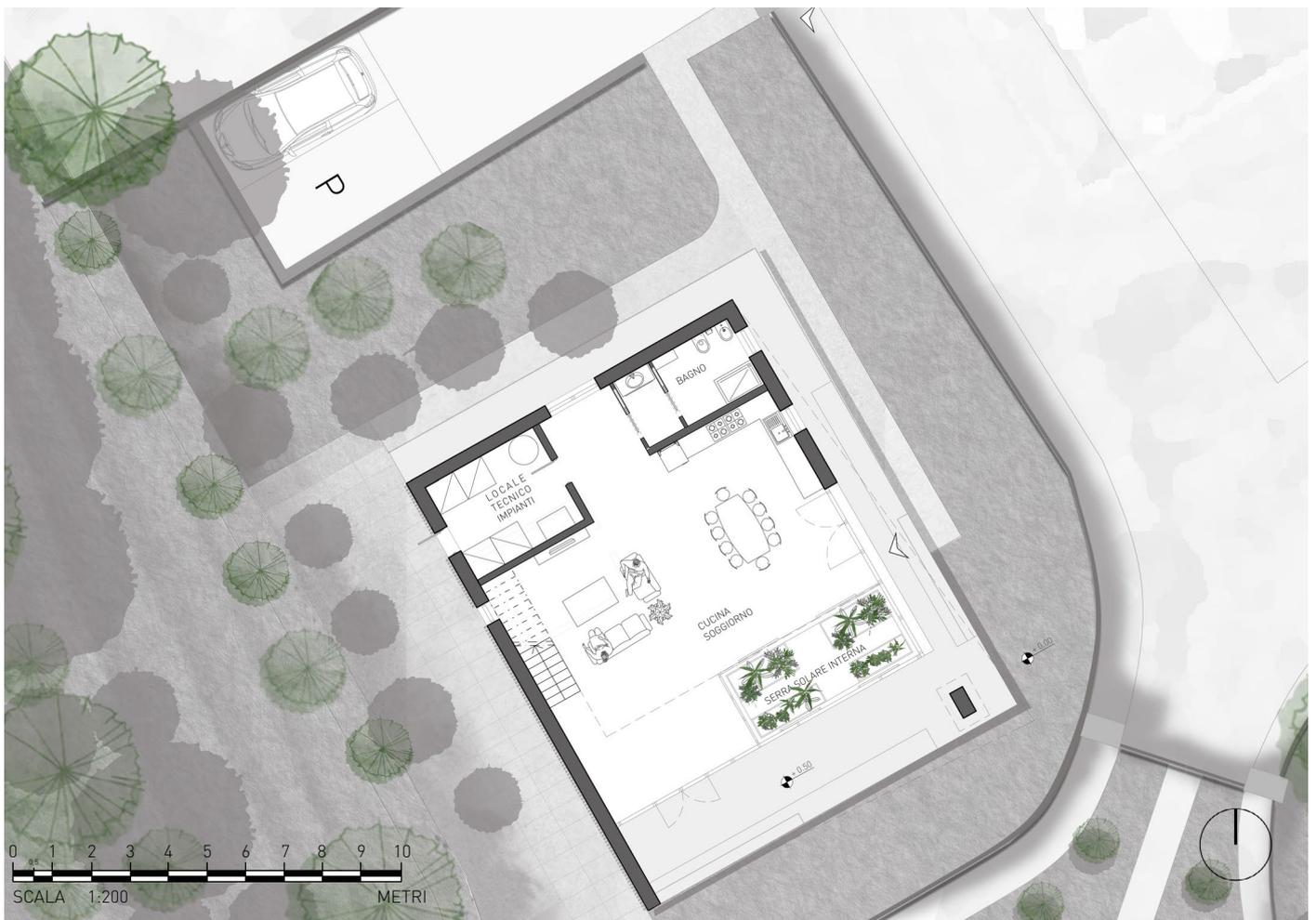
Planimetria della copertura





Key plan dell'area di progetto

Planimetria del piano terra

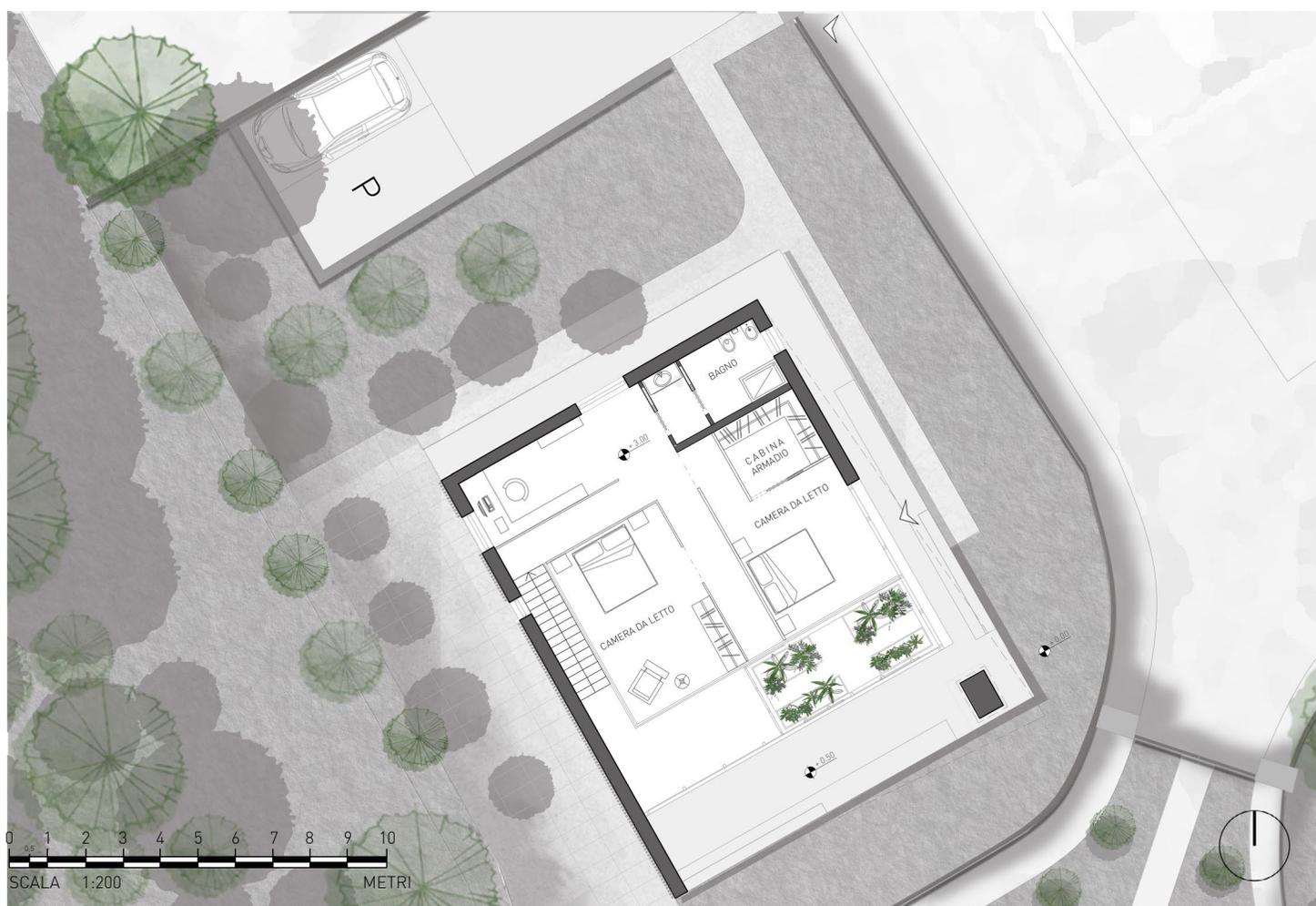


SCALA 1:200 METRI



Key plan dell'area di progetto

Planimetria del piano soppalcato

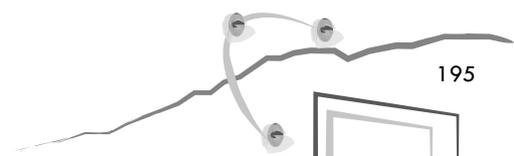
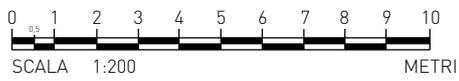


Prospetti

Prospetto nord



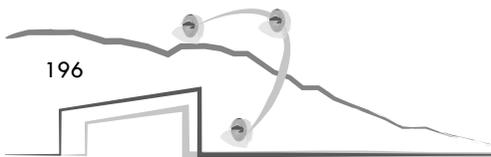
Prospetto sud



Prospetto ovest



Prospetto est

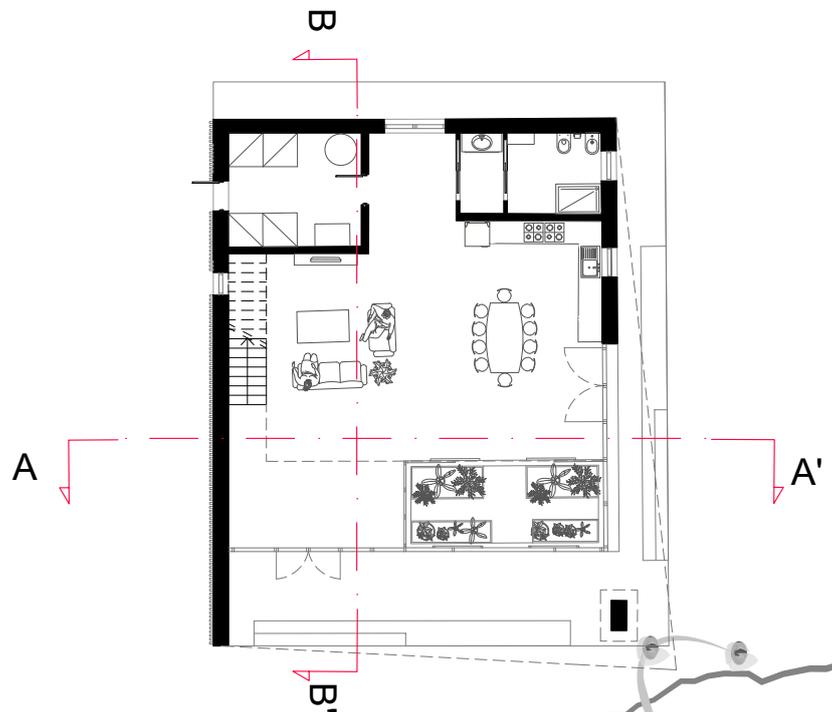
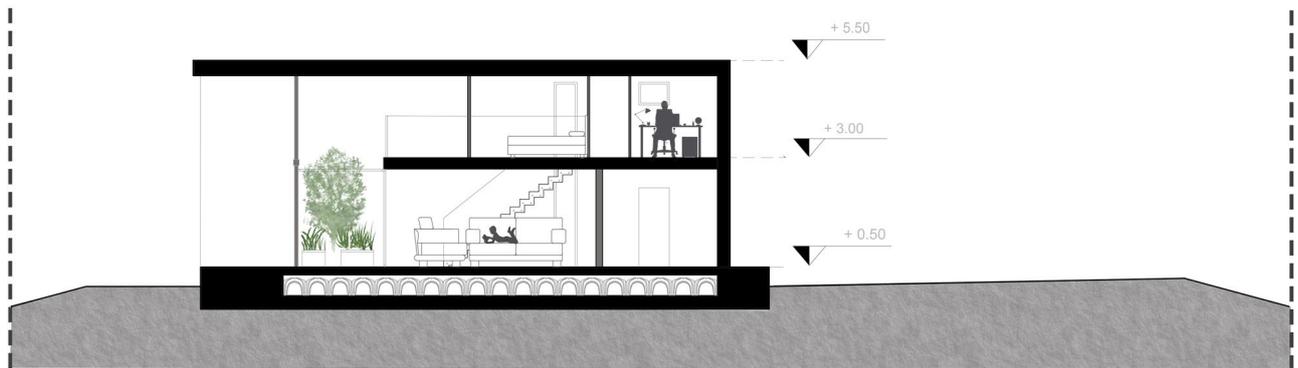


Sezioni

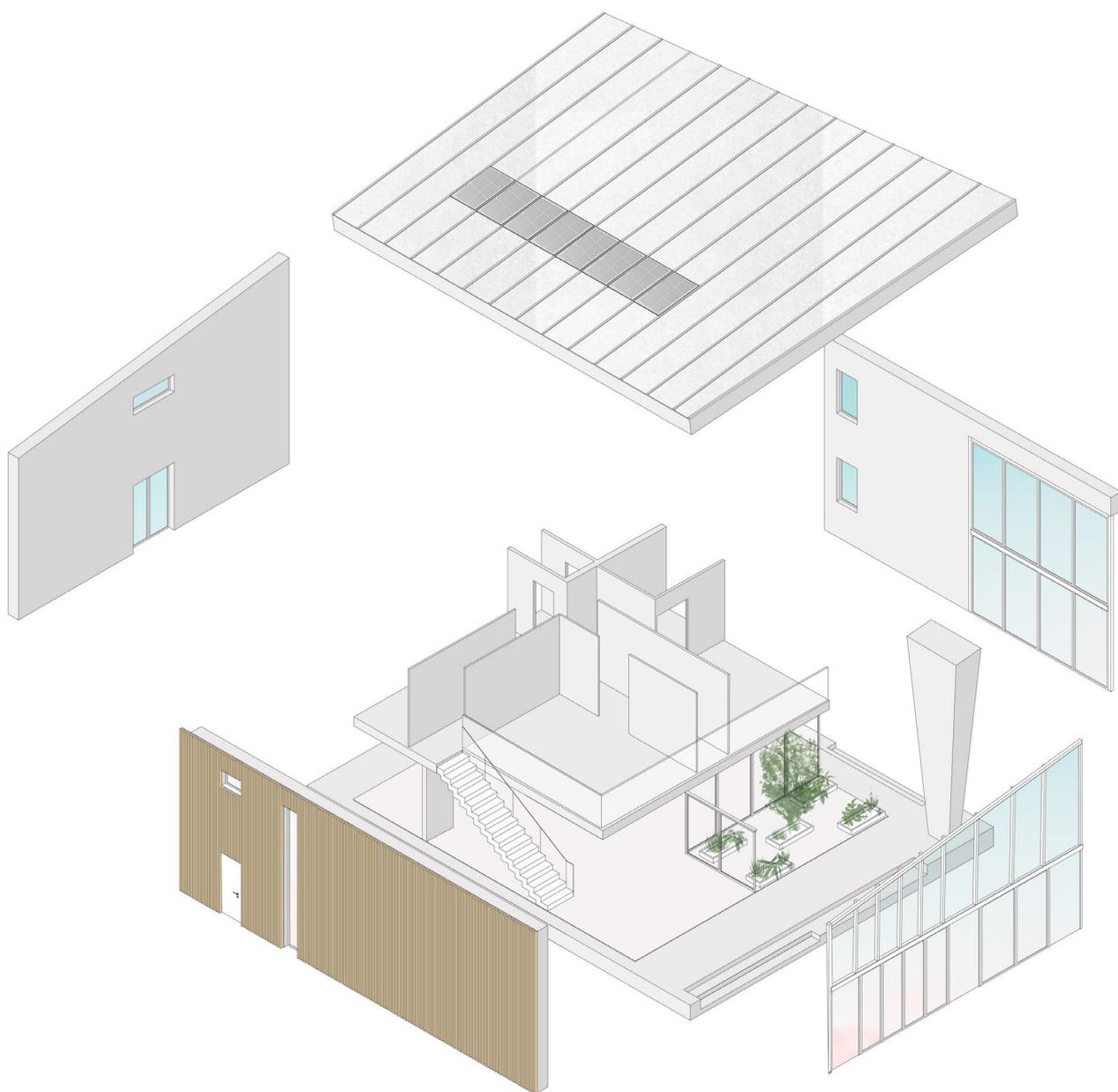
Sezione AA'



Sezione BB'



Esploso assometrico

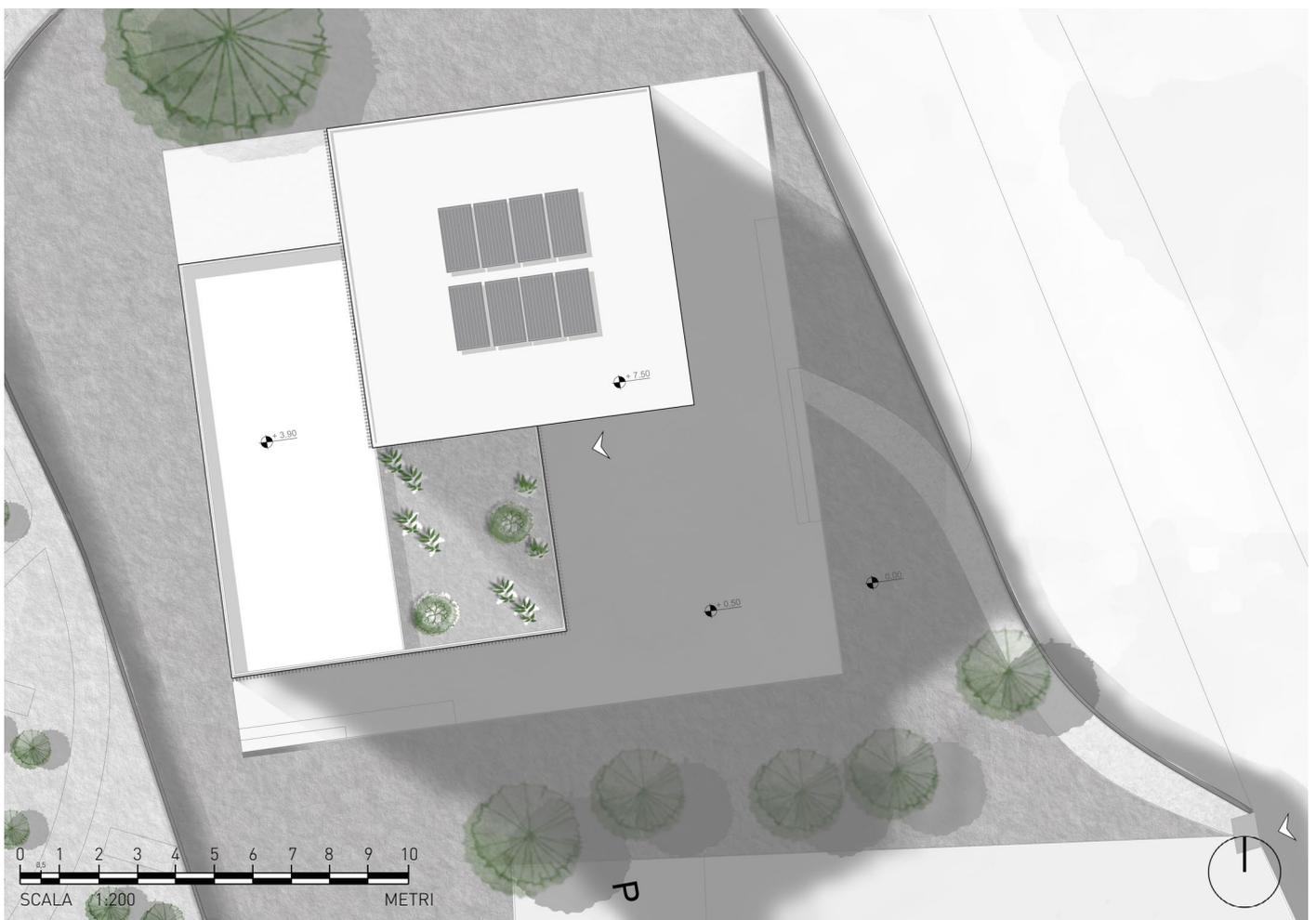


9.4.4 Edificio F

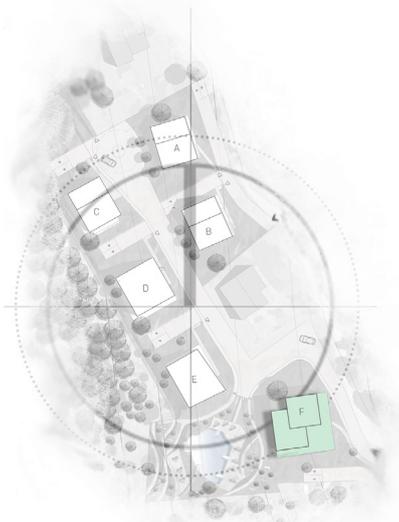


Key plan dell'area di progetto

Planimetria della copertura

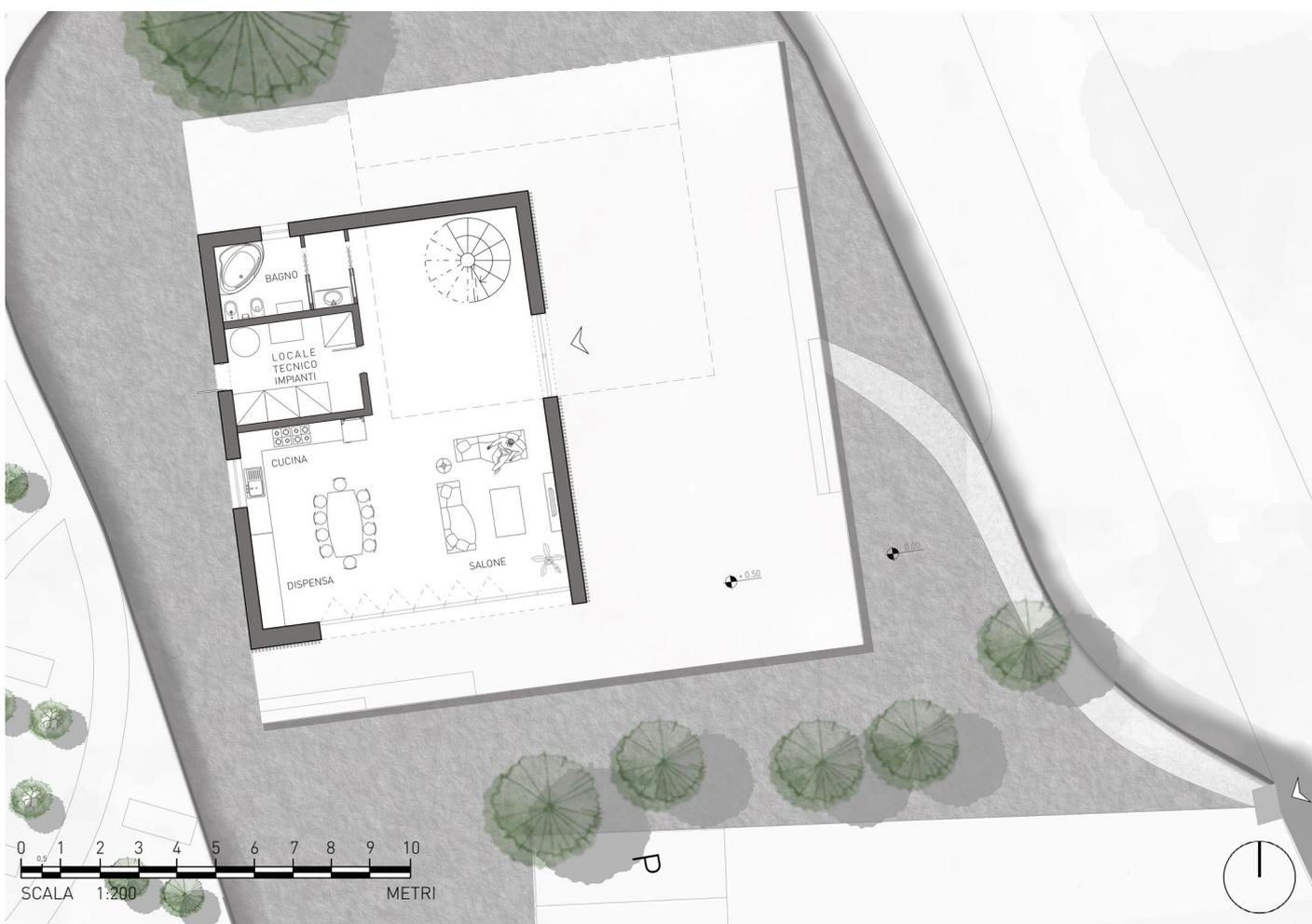


0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
SCALA 1:200 METRI



Key plan dell'area di progetto

Planimetria del piano terra





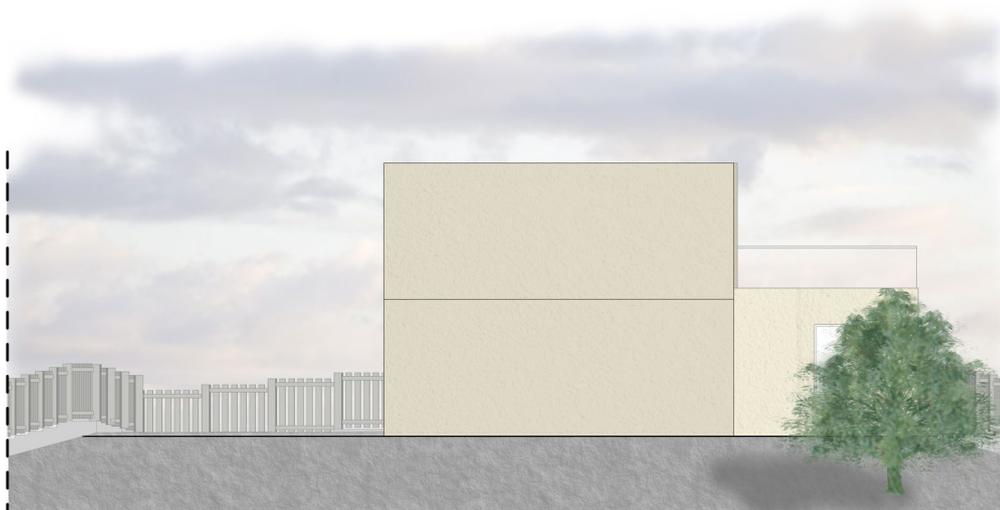
Key plan dell'area di progetto

Planimetria del piano primo



Prospetti

Prospetto nord



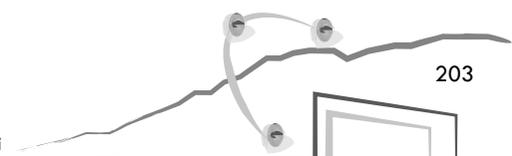
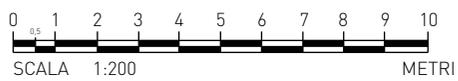
Prospetto sud



Prospetto ovest

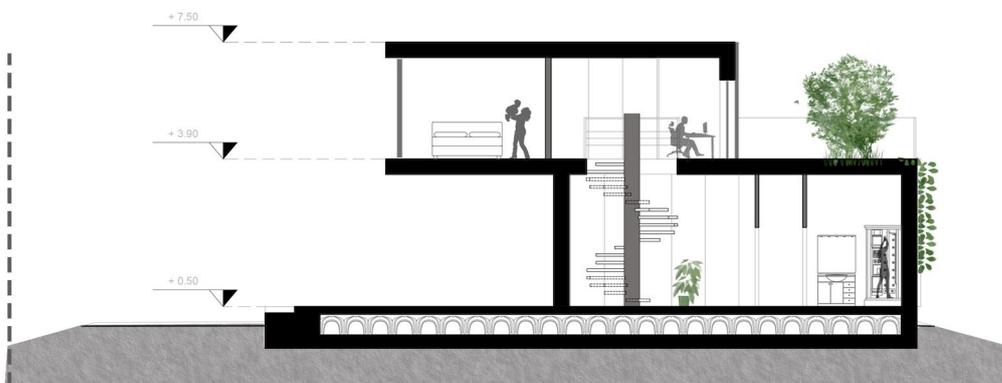


Prospetto est



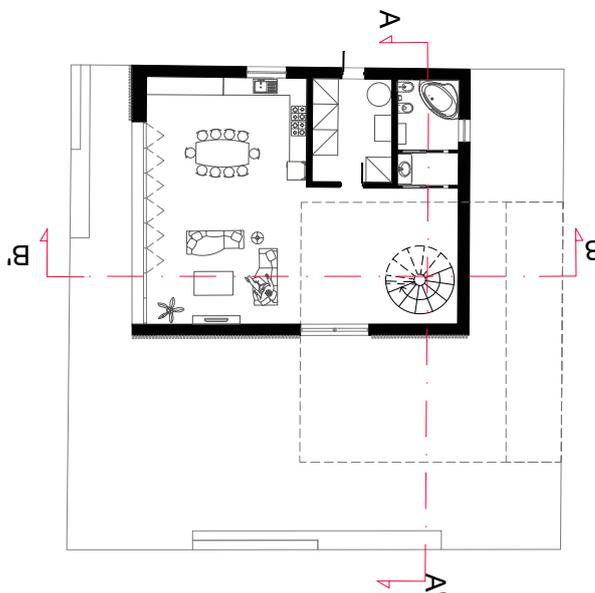
Sezioni

Sezione AA'

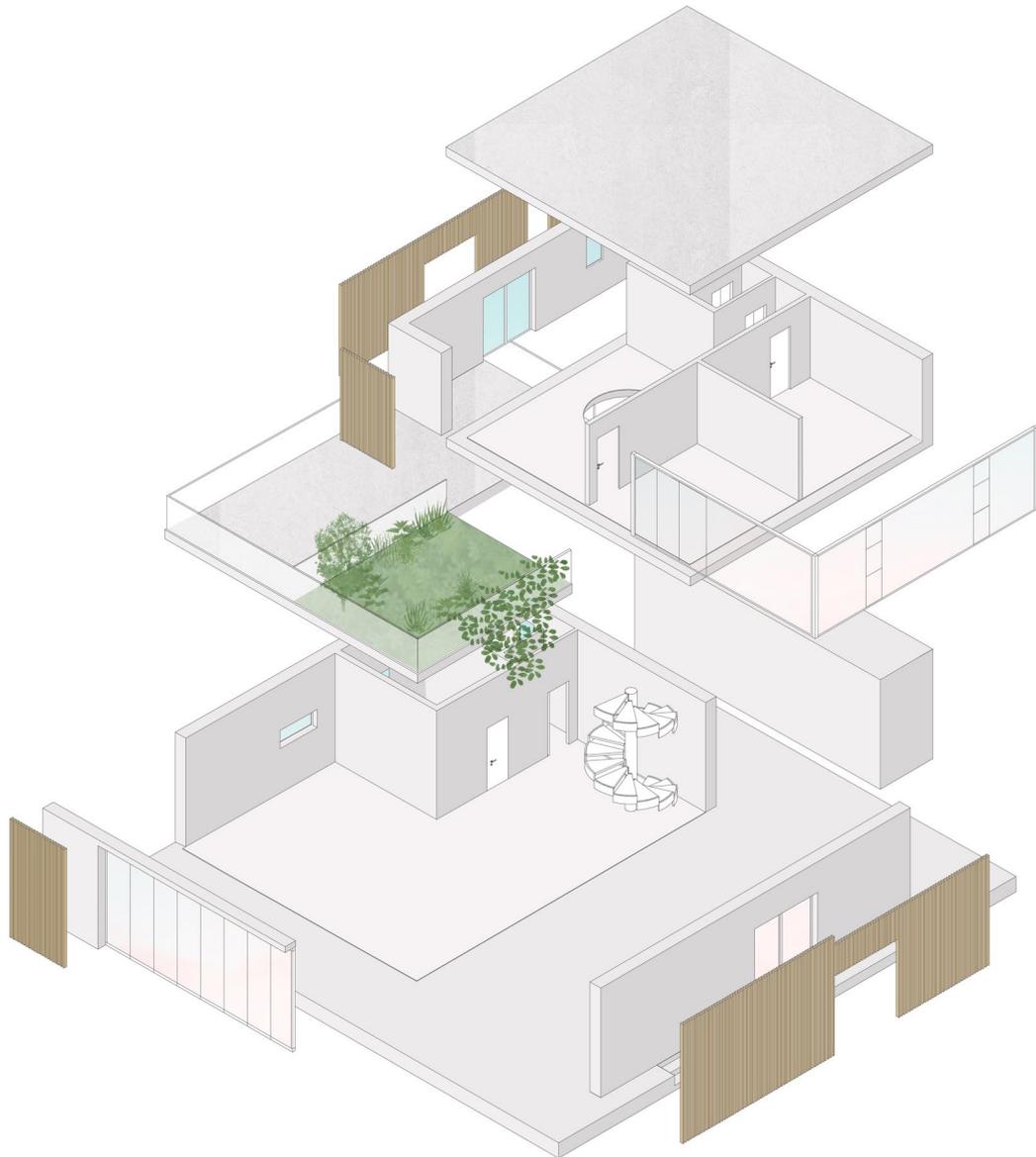


Sezione BB'

Esploso assometrico



Esploso assometrico



9.4.5 Viste del progetto

Vista globale del progetto dall'alto



Vista globale del progetto dalla strada viale



Viste degli edifici

Edificio C - Facciata Est



Edificio D - Angolo tra le facciate est e sud



Edificio E - Particolare del pilastro tra facciata est e facciata sud



Edificio F - Facciata sud



Vista dai gradoni dell'area dello specchio d'acqua





10

PROGETTAZIONE DI DETTAGLIO

Dopo aver illustrato le caratteristiche tipologiche, formali e distributive del progetto con l'aiuto degli elaborati grafici, rimane da approfondire gli aspetti tecnologici dell'edificio, riguardanti sia il sistema costruttivo scelto sia quello impiantistico, e come, dopo aver a lungo parlato di sostenibilità, si è tentato di applicare le risorse a disposizione per ottenere edifici il più possibile efficienti dal punto di vista dei consumi.

Facendo riferimento al capitolo 4, in cui si è parlato a lungo dei sistemi costruttivi in legno, si intende spiegare, prima a parole e poi con l'aiuto di elaborati grafici, quale è stato scelto per la struttura degli edifici in progetto, poichè considerato più vantaggioso, per questo caso studio, rispetto ad altri.

La tecnologia complessiva che si è scelto di utilizzare è quella del sistema a telaio con parete a doppio capotto isolante, sia interno che esterno. Per elaborare le stratigrafie dei componenti opachi della struttura ci si è riferiti alle soluzioni proposte dall'azienda WolfHaus, poichè essa è una realtà presente sia a livello europeo che italiano e le cui proposte sono state certificate sotto diversi punti di vista: i loro sistemi sono in grado di raggiungere elevate prestazioni sia a livello termo-acustico che strutturale e antincendio.

Ma perchè, dopo aver a lungo parlato dell'innovatività della tecnologia del pannello X-Lam, non scegliere quello come elemento strutturale ma invece rivolgersi alla struttura a telaio, considerata tra le tecniche di costruzione in legno la più tradizionale? Sono state analizzate a fondo le peculiarità dell'uno o dell'altro metodo costruttivo, e nel caso del pannello X-Lam, la sua principale caratteristica è l'elevata prestazione strutturale, per la quale è attualmente utilizzato nella costruzione di edifici multipiano anche molto alti (recentemente in Canada è stato addirittura realizzato un grattacielo di 18 piani interamente con questa tecnologia), ma al contempo una fondamentale rigidità nella struttura, dovuta al tipo di composizione stessa del pannello, che rende difficile seguire l'idea di una progettazione flessibile e ipoteticamente modificabile nel corso del tempo.

Essendo questo progetto composto da edifici di altezza limitata - sia per una questione tipologica, il mercato immobiliare nell'area di progetto predilige case monofamiliari, sia per il rispetto del regolamento edilizio della zona - la tecnologia X-Lam risultava fundamentalmente meno utile rispetto a quella a telaio, che dava la possibilità di un controllo sicuramente migliore delle caratteristiche termiche della componenti opaca, grazie alla possibilità di modificare gli strati isolanti e i loro materiali. Il doppio strato isolante, presente in tutto l'edificio, è infatti la soluzione più indicata per lo scopo del progetto: giocando sull'accostamento dello strato isolante al legno, è possibile ottenere un valore di trasmittanza termica in stabilimento che si aggira attorno agli $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$, un valore straordinario sebbene registrato in fabbrica, se si pensa che i requisiti normativi per la trasmittanza termica massima raggiungibile da un elemento opaco a contatto con l'esterno, dopo il montaggio in cantiere, si aggirano attorno agli $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$.

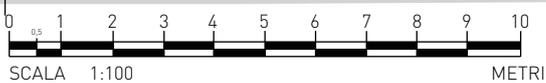
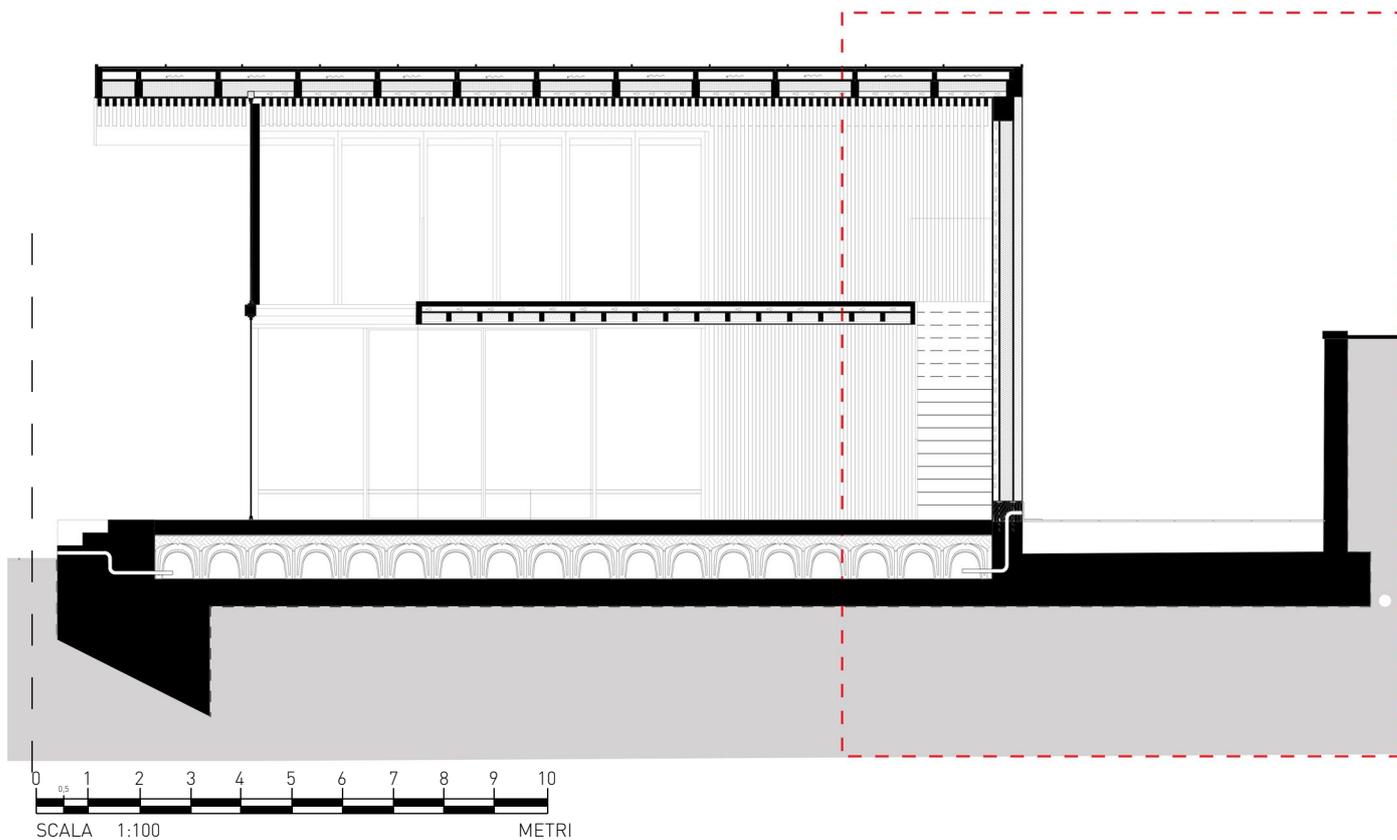
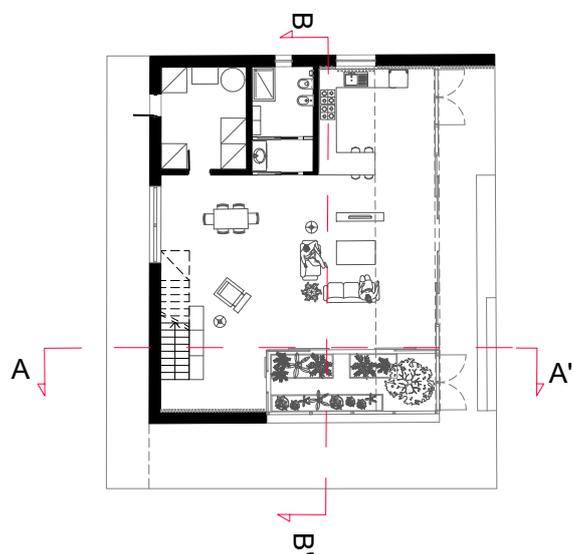
La struttura a telaio poggia su una platea di fondazione in cemento armato a cui è ancorata tramite barre filettate in metallo, verticali, che fissano le travi di banchina, delimitanti il profilo inferiore della parete, alla fondazione, e poi assicurata ulteriormente da alcuni profili angolari in metallo chiamati hold down, ad angolo retto, che hanno principalmente la funzione strutturale di contrastare le spinte di scorrimento e sollevamento a cui è soggetta la parete, e anche una funzione antisismica. La parete in legno deve essere isolata in maniera perfetta dalla fondazione per evitare fenomeni di degrado del materiale dovuti al contatto con l'umidità del terreno: il montaggio del nodo parete-fondazione è uno dei passaggi principali e più delicati del cantiere.

Di seguito sono illustrati gli elementi costruttivi dell'edificio in sezione per mostrare l'applicazione del sistema costruttivo al caso specifico, sebbene la tecnologia scelta sia derivante da sistemi prefabbricati e quindi non mostri sostanziali variazioni rispetto alle offerte individuabili sul mercato della prefabbricazione.

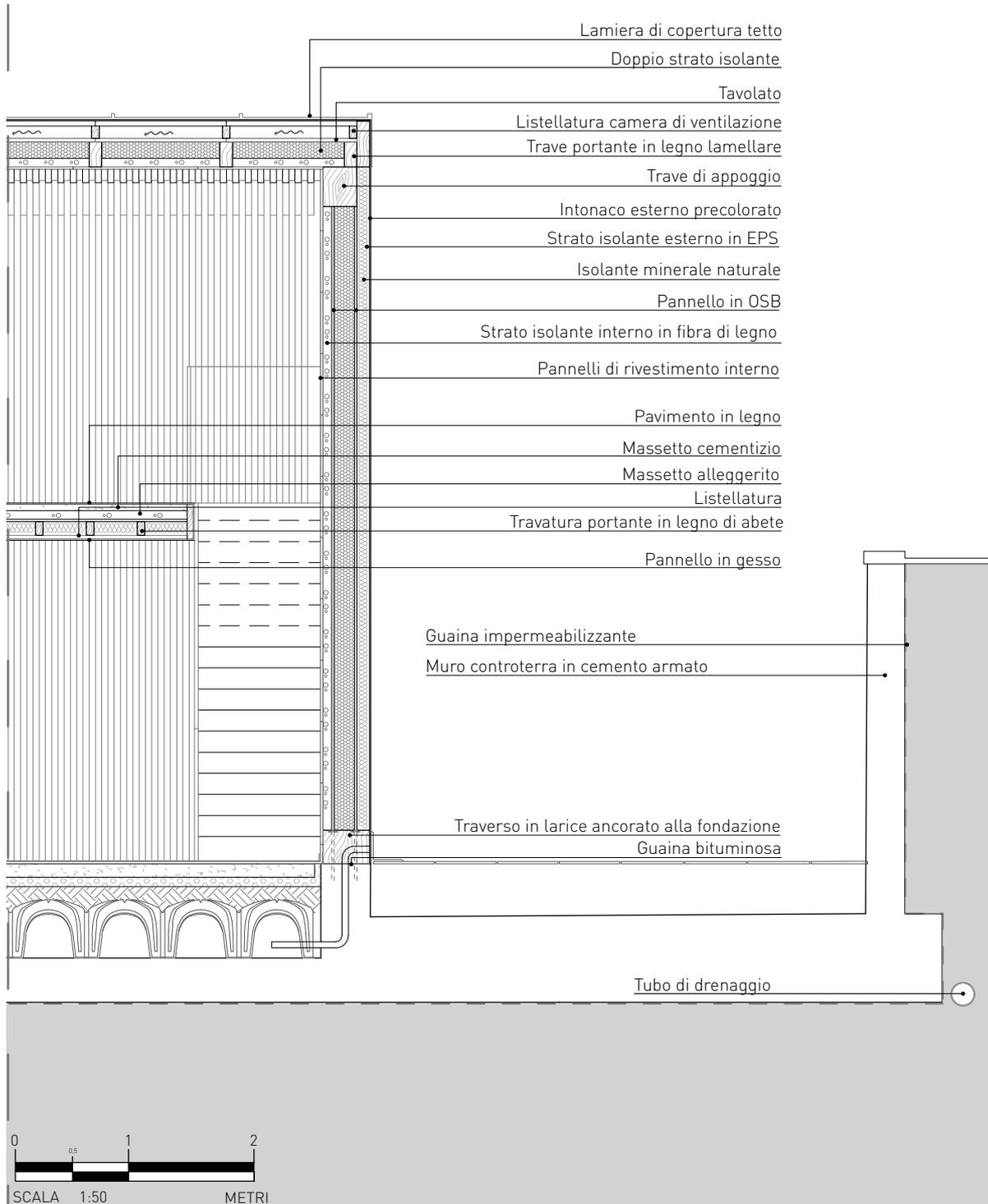
10.1 Dettagli costruttivi

10.1.1 Sezioni tecnologiche dell'edificio

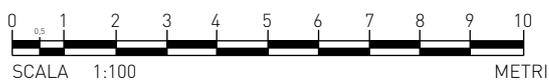
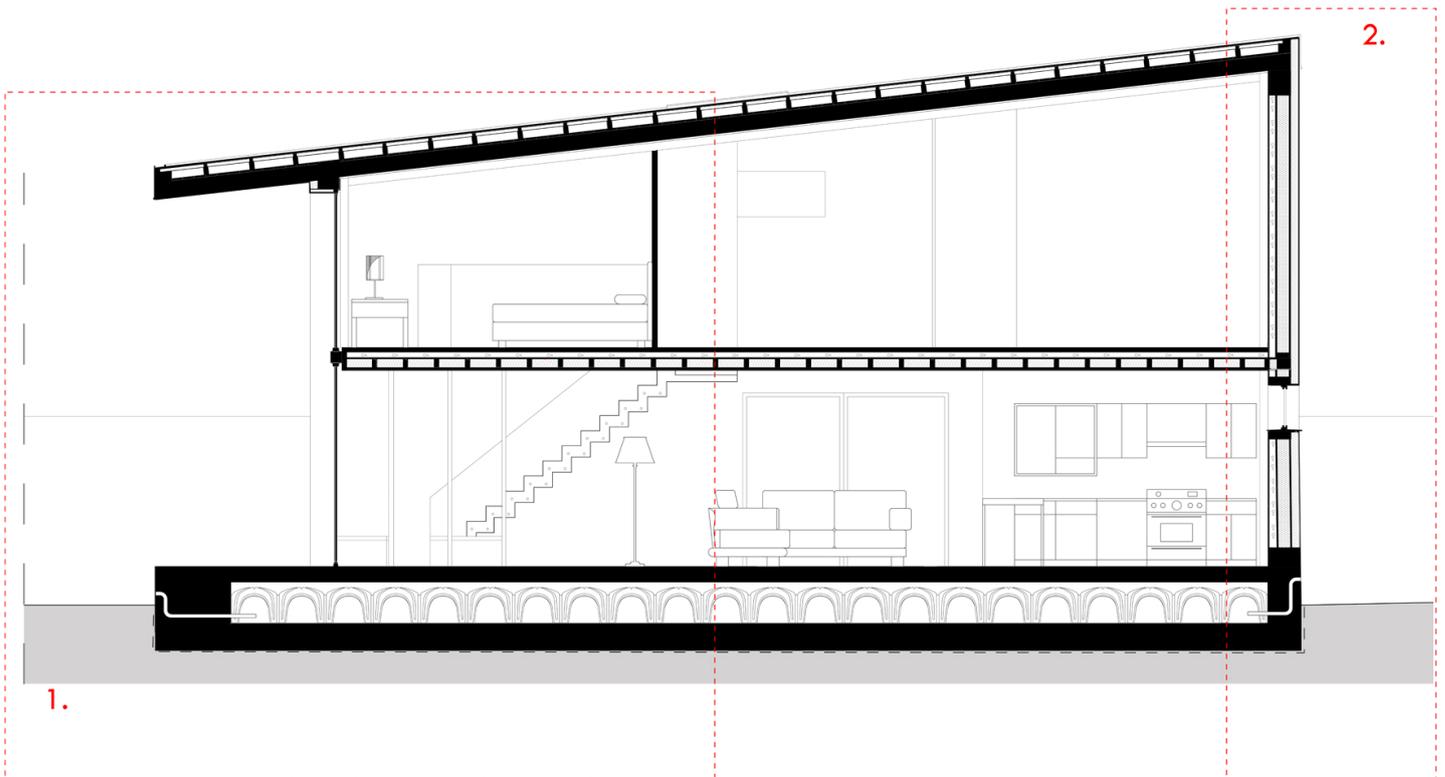
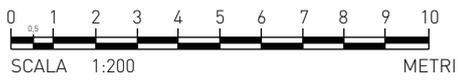
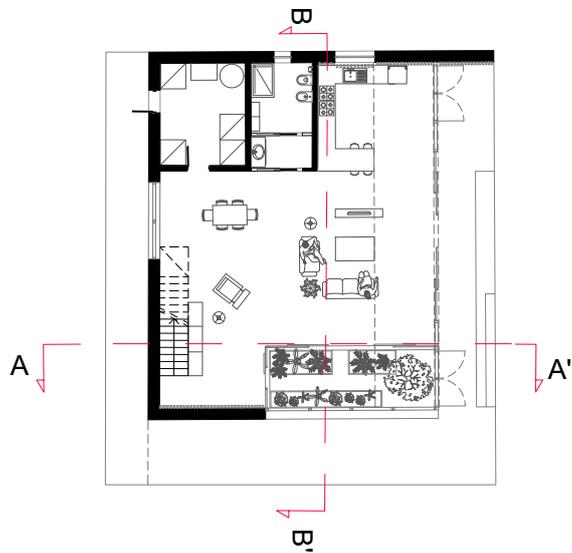
Sezione tecnologica AA'



Stralcio con dettagli tecnologici della sezione AA'

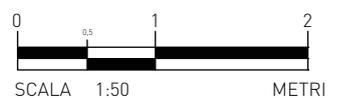
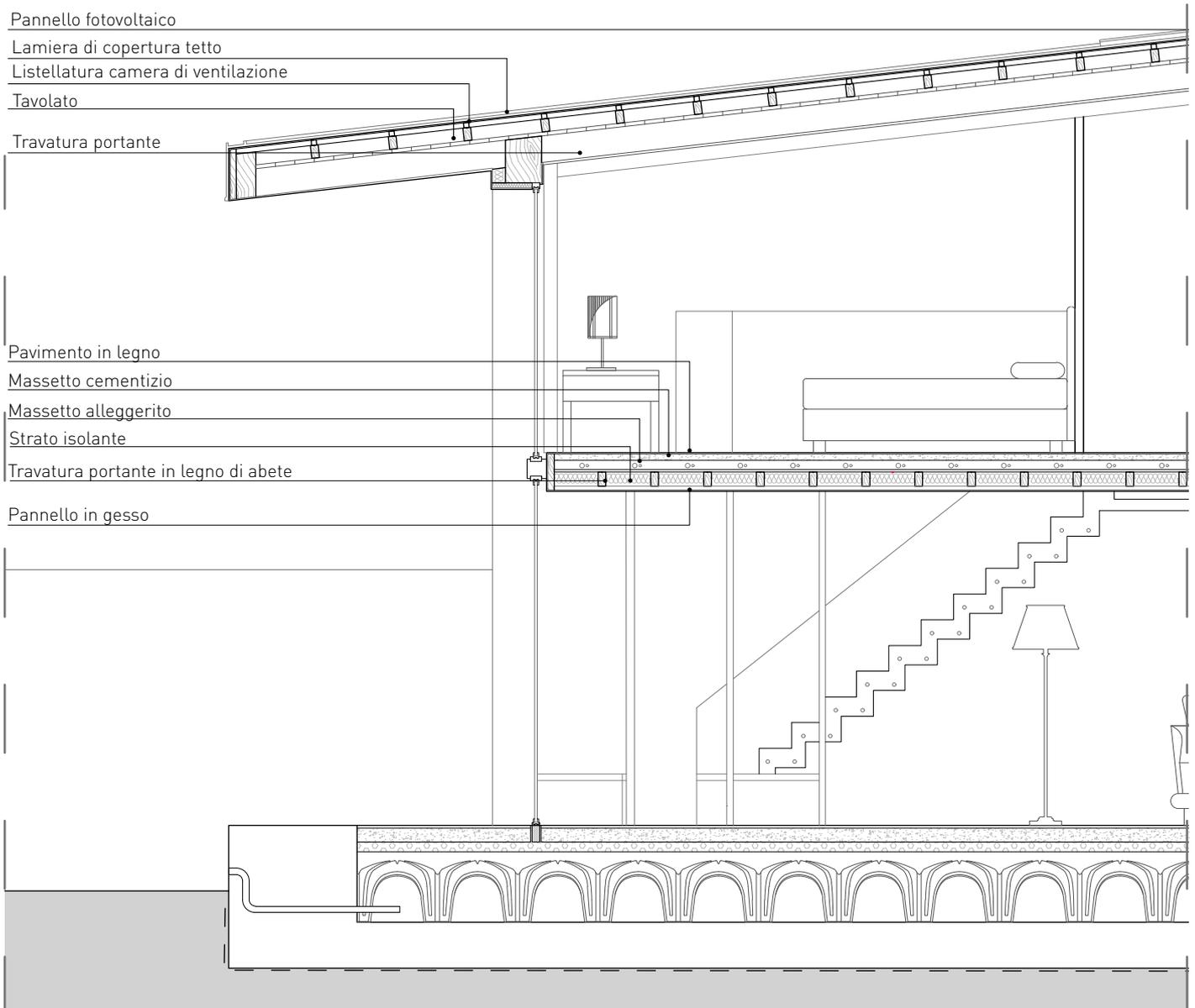


Sezione tecnologica BB'



Stralcio con dettagli tecnologici della sezione BB'

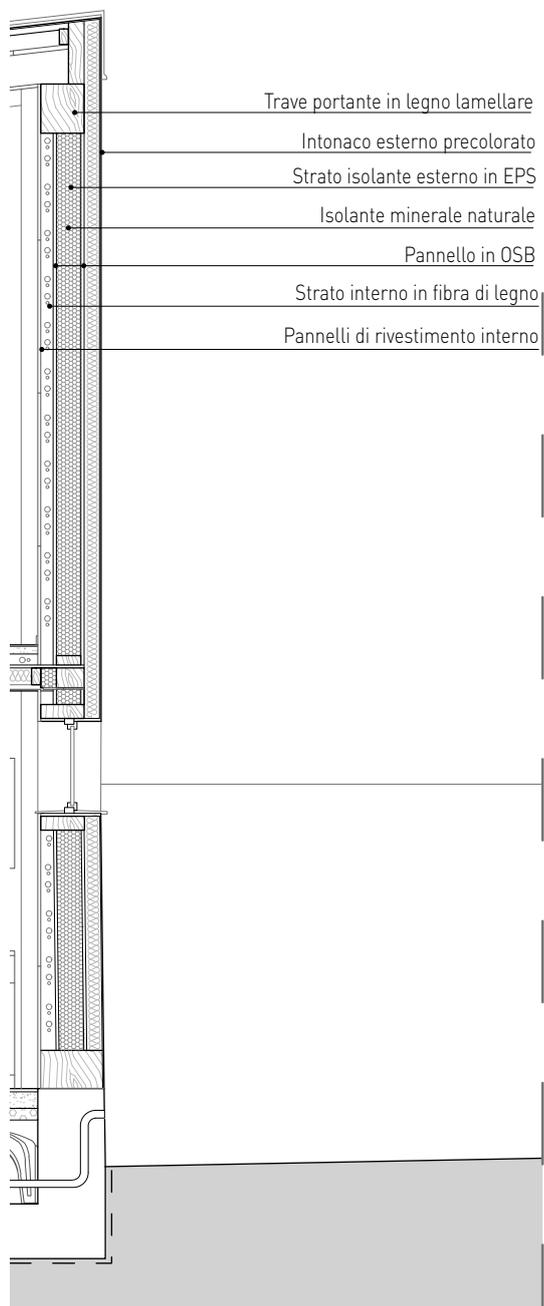
Dettaglio 1



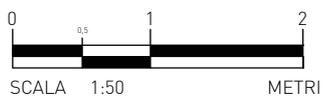
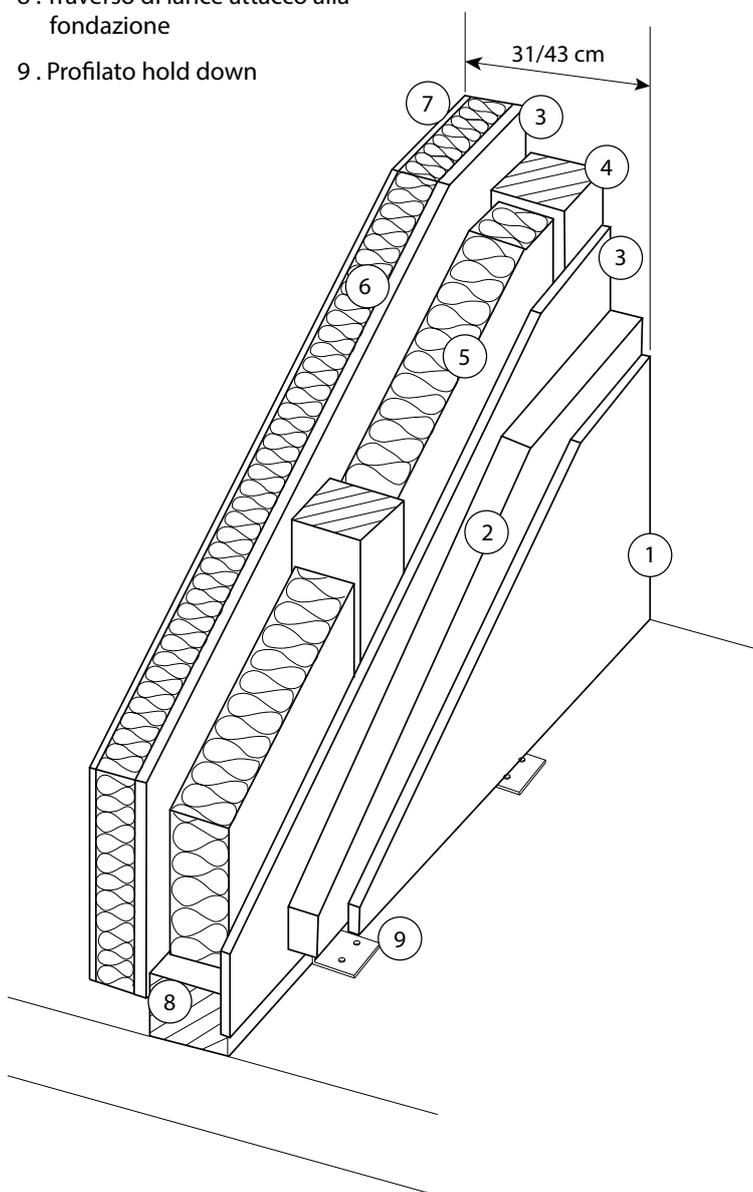
Stralcio con dettagli tecnologici della sezione BB'

Dettaglio 2

Stratigrafia della parete esterna di progetto



- 1 . Pannello di rivestimento interno
- 2 . Strato isolante interno
- 3 . Pannello in OSB
- 4 . Struttura portante a telaio
- 5 . Pannello isolante in fibra minerale
- 6 . Strato isolante esterno
- 7 . Intonaco esterno
- 8 . Traverso di larice attacco alla fondazione
- 9 . Profilato hold down



10.2 Scelte tecnologiche del sistema HVAC

10.2.1. I sistemi HVAC

HVAC è una sigla inglese, molto usata in tutti i campi dell'industria, che sta ad indicare quei sistemi all'interno degli edifici che si occupano di *Heating, Ventilation & Air Conditioning* (Riscaldamento, Ventilazione e Condizionamento dell'aria), e in alcuni casi la si può trovare scritta con l'aggiunta della R finale, che indica il termine *Refrigeration* (Raffrescamento). Questa dicitura sta ad indicare quei sistemi utilizzati sia per il condizionamento (inteso come raffrescamento) degli ambienti, sia per il loro riscaldamento, occupandosi anche di trattamento della qualità dell'aria, attraverso il controllo di alcune sue caratteristiche, in particolar modo l'umidità. L'obiettivo perseguito nel progetto di questo tipo di sistemi è il risparmio energetico attraverso l'utilizzo dei principi della fluidodinamica e termodinamica per ottimizzare il funzionamento di tali sistemi.

Riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria sono tutti fattori strettamente correlati tra loro, assicurando una qualità dell'aria accettabile e garantendo il comfort termico per gli occupanti degli ambienti regolati tramite questi sistemi. Negli ultimi tempi il mercato edile si è evoluto in maniera tale che in ambito progettuale si studiasse soluzioni innovative per poter permettere a tutti gli edifici di poter essere dotati di impianti intelligenti e all'avanguardia, in grado di far raggiungere standard elevati di benessere con un minimo dispendio a livello energetico, in linea con i requisiti prestazionali richiesti dalla normativa odierna. Inoltre, la tipologia di impianto prevede anche che si riescano a garantire dei costi di installazione, operazione e manutenzione contenuti.

Il risparmio energetico dato dai sistemi HVAC è indubbiamente molto significativo, soprattutto se paragonato ai sistemi tradizionali: gli studi condotti su tali impianti affermano che il risparmio complessivo di energia ottenibile da essi oscilla tra il 30 e il 50 %. Questo avviene poiché i sistemi HVAC utilizzano delle strategie di risparmio complesse: ad esempio, l'utilizzo di una camera d'aria nel caso del raffreddamento che possa permettere di riutilizzare l'aria fredda senza far lavorare senza sosta i compressori d'aria.

Per farsi un'idea chiara di come si possano risparmiare energia e costi utilizzando questo tipo di tecnologia, è necessario descrivere i componenti principali di tale sistema, per far capire come sia possibile un funzionamento efficiente del complesso di climatizzazione di un edificio tramite questo sistema.

I componenti di un sistema HVAC sono caratterizzati da funzioni eterogenee: di seguito si elencano i principali componenti di un impianto HVAC, anche se non necessariamente essi sono sempre tutti presenti nello stesso complesso. Ecco i principali elementi:

- **Chiller:** un Chiller o refrigeratore è una macchina usata per rimuovere calore da un liquido attraverso un ciclo di compressione del vapore o tramite un ciclo di assorbimento del calore. All'interno la macchina è composta da compressore, radiatore, scambiatore, pompe, e può essere sia assemblata in loco, dopo che il proprietario abbia acquistato i pezzi separatamente, sia venduta già assemblata, come "monoblocco". A seconda delle modalità di scambio di calore tra il refrigeratore e l'ambiente esterno, i chiller possono essere distinti tra macchine a condensazione ad aria, nelle quali attraverso un sistema di ventole il calore viene ceduto all'aria esterna, e ad acqua, detto anche a condensazione remota, in cui il calore viene estratto appunto dall'acqua presente nell'impianto. La maggior parte di questi macchinari ha la possibilità di funzionare anche in modalità invernale, quindi riscaldando l'acqua del circuito idrico dell'utenza: questo sistema viene detto "pompa di calore": si può ottenere questa funzione aggiungendo delle valvole che invertano il senso di circolazione del fluido compresso, in modo tale da riscaldarlo;

- **Condizionatori d'aria:** è una macchina progettata per estrarre calore da una determinata area (o fornirlo alla stessa) usando il ciclo frigorifero. Le applicazioni più comuni di questi sistemi sono naturalmente all'interno degli edifici per il loro riscaldamento e raffreddamento, ma può capitare che essi vengano usati anche all'interno di veicoli;
- **Condotti d'areazione:** essi vengono usati per immettere o aspirare l'aria dagli ambienti da climatizzare. Essi hanno una parte terminale costituita dai diffusori, che immettono aria nell'ambiente, e lungo il condotto o in corrispondenza della parte terminale sono sistemati dei sistemi di filtraggio che hanno in particolare lo scopo di rimuovere le polveri. Nella loro progettazione, è particolarmente importante la qualità dell'aria e la sua velocità, poiché questi due fattori sono importantissimi per determinare la sensazione termica degli occupanti;
- **Pannelli radianti:** sistemi usati sia per il riscaldamento che per il raffrescamento dell'ambiente, che utilizzano il calore delle tubazioni collocate dietro le superfici degli ambienti interessati. Con tale sistema, il calore viene fornito principalmente tramite l'irraggiamento e non per convezione. I pannelli radianti si suddividono principalmente in tre categorie:
 1. **pannelli radianti a pavimento:** presenti soprattutto in ambito residenziale, sono realizzati tramite un circuito idraulico, chiamato a chiocciola, a serpentina o a griglia, posizionato sotto la superficie del pavimento. All'interno delle tubazioni viene fatta scorrere acqua a temperatura più bassa rispetto ai sistemi a caloriferi, quindi circa sui 30-40 °C; per la refrigerazione l'acqua viene portata a una temperatura di 10°C e si affianca un sistema di deumidificazione per controllare la formazione di condensa;
 2. **pannelli radianti a parete:** di solito utilizzati come integrazione ad altri sistemi di riscaldamento, ad esempio quelli a pavimento. Il funzionamento avviene solitamente installando degli elementi radianti, costituiti da tubi in materiale resistente alle alte temperature, dietro alle pareti. Se integrati al sistema a pavimento, viene fatto passare un tubo all'interno del battiscopa, nel quale scorre del liquido riscaldato, che fa in modo che l'aria che entra a contatto col tubo si surriscaldi e salga verso le pareti;
 3. **pannelli radianti a soffitto:** costituiti da moduli a tubi o nastri radianti, si utilizzano soprattutto per il riscaldamento di ambienti molto estesi. Vi è solitamente un bruciatore esterno collegato a una condotta che scorre all'interno dell'edificio, riscaldandolo mediante irraggiamento. Questo sistema ha un rendimento minore rispetto agli altri sistemi di pannelli poiché si sviluppano dei moti convettivi sopra questi ultimi.
- **Pompe:** le pompe sono dei dispositivi che servono a mettere in circolo liquidi o gas: se è il liquido ad essere spostato, si definisce l'impianto come pompa, mentre invece se si tratta di un gas lo si chiama compressore. Le tipologie di pompe possono essere caratterizzate come volumetriche o fluidodinamiche: le prime funzionano sfruttando la variazione di volume per provocare un'aspirazione o una spinta sul fluido, mentre nel secondo caso è il fluido stesso a provocarsi il movimento;
- **Scambiatori di calore:** gli scambiatori sono apparecchi in grado di trasferire calore da un fluido ad un altro in modo naturale, ovvero senza ciclo frigorifero, e senza necessità di miscelare i due fluidi. Gli scambiatori vengono classificati in funzione della loro geometria, e sono divisi in:
 1. **scambiatori a fascio tubiero,** in cui uno dei fluidi passa all'interno dei tubi, solitamente a sezione circolare, mentre l'altro passa all'esterno, in una camera apposita;

2. *scambiatori a piastre*, dove i due fluidi passano sui lati opposti di una lamiera corrugata, all'interno di camere alternate e isolate tra loro;
 3. *scambiatori a spirale* (in inglese *coil*), analoga alla precedente, però la lamiera è solitamente liscia, e le camere hanno una grande lunghezza e sono avvolte a spirale per maggior comodità;
 4. *scambiatori a blocchi*, in cui i liquidi circolano in fori cilindrici, disposti ortogonalmente ai due lati;
 5. *scambiatori a pacco alettato*, dove uno dei due fluidi passa all'interno dei tubi, sempre preferibilmente a sezione circolare, e l'altro, allo stato gassoso, nel pacco alettato esterno ai tubi.
- *Unità di Trattamento Aria (UTA)*: le UTA sono definibili come cabine metalliche di elevata sezione rettangolare (spesso infatti possono occupare un intero locale tecnico) contenenti al loro interno uno o più ventilatori, elementi per il raffreddamento (scambiatori a serpentine o coil) e/o per il riscaldamento (bruciatori o le stesse serpentine ma percorse da acqua calda), poi filtri, limitatori di rumore e valvole. Questo macchinario è collegato ai condotti di distribuzione dell'aria in determinate zone dell'edificio, e in genere contemporaneamente a altrettanti condotti di aspirazione dell'aria "esausta", vale a dire quella in ambiente interno: essa infatti può essere utilizzata per preriscaldare l'aria "pulita", ovvero quella prelevata dall'esterno e non ancora "viziata". Se si tratta di UTA di dimensioni ridotte si parla di unità terminali, chiamate in genere ventil-convettori, che spesso sono formate solamente da un filtro, una serpentina e una ventola;
 - *Impianti di climatizzazione*: la classificazione di essi viene fatta in funzione del fluido usato per rimuovere il calore dall'ambiente, e vengono quindi distinti in:
 1. *Impianti a sola aria*: l'aria viene immessa nelle stanze grazie agli impianti di distribuzione, che trasferiscono il caldo o il freddo prodotti dal sistema centrale;
 2. *Impianti a sola acqua*: in questo caso l'acqua viene impiegata come vettore, sia caldo che freddo, e viene quindi prima riscaldata o raffreddata dal sistema centrale e poi distribuita nei vari ambienti utilizzando le pompe. In ogni ambiente vi sono poi dei ventil-convettori che permettono di regolare ulteriormente la temperatura;
 3. *Impianti misti aria-acqua*: poiché la regolazione dell'umidità tramite impianti a sola acqua è molto limitata, in casi in cui sia necessario un maggiore controllo di essa si utilizzano gli impianti misti. In centrale viene prelevata l'aria dall'esterno che viene opportunamente trattata in relazione alle condizioni climatiche del momento, mentre poi in ogni stanza dell'interno dell'edificio vi sono degli apparecchi alimentati con acqua calda o fredda, che portano la temperatura dell'aria al valore desiderato.
 - *Torri di raffreddamento*: queste torri sono classificate come un tipo di "raffreddatori evaporativi", che raffreddano i fluidi portandoli a una temperatura di bulbo umido vicina alla temperatura ambiente: all'interno del sistema, esse hanno principalmente lo scopo di smaltire il calore che il chiller sottrae agli ambienti;
 - *Sistemi di controllo per applicazioni HVAC*: essenzialmente si tratta di un apparecchio computerizzato che controlla le condizioni climatiche interne di un edificio. Vi sono dei sistemi di comunicazione che hanno lo scopo di trasmettere le informazioni tra sensori e altri sistemi di controllo di zona (cioè la zona termica) per fare in modo che il sistema centrale abbia accesso ai parametri dell'intero impianto. Sulla base delle informazioni trasmesse, si potranno impostare quindi degli algoritmi che hanno lo scopo di definire i

set-point e gli stati di un certo numero di componenti dell'impianto. L'ottica con cui viene programmato un sistema di controllo centrale è certamente quella di ottimizzare i costi e i consumi. e gli stati di un certo numero di componenti dell'impianto. L'ottica con cui viene programmato un sistema di controllo centrale è certamente quella di ottimizzare i costi e i consumi.

10.2.2. Raffrescamento e ventilazione

Descrizione generale di un sistema di raffrescamento ventilativo geotermico

In un sistema ventilativo geotermico il controllo della temperatura avviene per mezzo dell'aria di rinnovo: essa circola in condutture a contatto con il terreno a buona profondità e si raffredda prima di entrare in ambiente interno. Le condutture sono infatti interrato e all'interno di esse viene fatta circolare l'aria, principalmente secondo due concetti di impianto: per i sistemi ibridi, si utilizza un ventilatore; nel caso dei sistemi passivi o operanti per effetto Bernoulli-Venturi si utilizzano estrattori sottovento o si cerca di provocare un effetto camino, ad esempio tramite finestre alte o aperture di colmo.

I sistemi di raffrescamento ventilativo geotermico possono avere due modalità di circolazione dell'aria:

- *Ciclo diretto*: immissione di aria esterna direttamente negli ambienti, poiché essa viene raffrescata passando nei condotti sotterranei e poi, al momento del trasferimento in ambiente interno, incontra un filtro all'uscita di essi;
- *Ciclo indiretto*: l'aria prelevata dall'esterno viene raffreddata sempre tramite i condotti sotterranei, ma poi immessa nell'UTA (Unità di Trattamento Aria) dell'impianto di ventilazione meccanica e climatizzazione, determinando, tramite l'integrazione di questi passaggi, un notevole risparmio di energia.

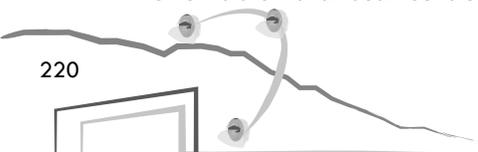
Il sistema ventilativo geotermico avviene attraverso lo scambio termico aria-terreno, veicolato tramite l'utilizzo di uno scambiatore geotermico ad aria, che permette di preriscaldare o di raffrescare, a seconda del bisogno e del periodo dell'anno, l'aria di ventilazione di un ambiente.

Le tipologie di scambiatori geotermici ad aria sono diverse, e si distinguono principalmente in relazione alla loro dimensione, che dipende da diversi fattori: la quantità dell'aria trattata, le caratteristiche di sito e lo spazio disponibile. La classificazione è la seguente:

- *Scambiatori a singola canna*: questo tipo di impianti sono molto utilizzati quando si parla di utenze di piccolo taglio, solitamente residenze, poiché permettono di trattare un quantitativo di volume d'aria non superiore ai 1000 m³/h. Sono composti da un unico tubo interrato che può avere un andamento rettilineo, perpendicolare a una delle chiusure del fabbricato, o poligonale, quindi parallelo ai lati del fabbricato. Queste applicazioni sfruttano generalmente lo scavo di sbancamento realizzato a monte per la costruzione dell'edificio, prevedendo al massimo un ampliamento al fine di poter contenere i costi.

Le parti che costituiscono il sistema a canna singola sono le seguenti:

1. la *testa di captazione* ed elemento di aspirazione verticale, comprendente un filtro;
2. il *condotto interrato orizzontale* e con pendenza costante;
3. un *sistema di scarico della condensa*;



4. i canali di distribuzione dell'aria interni all'edificio.

Il funzionamento è molto semplice: l'aria viene prelevata all'esterno tramite la testa di captazione, già dotata di un apposito sistema filtrante, e non appena giunge in profondità percorre il condotto orizzontale dove, per effetto dello scambio termico tra superfici della tubazione e terreno, diminuisce di temperatura. A valle del condotto, l'aria così raffrescata passa attraverso il pozzetto di scarico della condensa, che solitamente drena direttamente nel terreno, soprattutto in assenza di un piano interrato dell'edificio, oppure essere collegato alle acque bianche della rete fognaria domestica. Infine, l'aria trattata giunge all'ambiente da climatizzare attraversando i canali di distribuzione. Quest'ultimo passaggio può avvenire sia in modo diretto che attraverso il collegamento all'impianto di ventilazione meccanica che, solitamente dotato di UTA, riesce a controllare le caratteristiche microclimatiche.

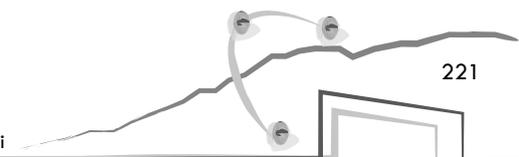
- *Scambiatori a collettore*: solitamente, avendo dimensioni maggiori rispetto agli scambiatori a canale unico, sono più indicati nel trattamento di grandi quantità d'aria. Nei sistemi più grandi inoltre, vi può essere più di uno scambiatore a collettore, cosa che permette di limitare le dimensioni dei canali di collegamento ottimizzando l'occupazione dell'area di cantiere da parte della terra di sbancamento.

Le parti che compongono questo secondo complesso geotermico sono:

1. la *testa di captazione*, in questo caso provvista di griglia per evitare che animali e foglie penetrino nei condotti;
2. la *camera di presa*;
3. il *filtro* per polveri grosse;
4. un *canale orizzontale* di distribuzione;
5. dei *condotti interrati orizzontali* a pendenza costante;
6. un *canale orizzontale di raccolta*;
7. la *camera di condensazione*;
8. la *camera di miscelazione* (che di solito compare solo quando si è in presenza di più collettori).

In questo caso, l'aria viene prelevata sempre dalla testa di captazione, ma viene prima filtrata grossolanamente per essere convogliata nella camera di presa, il primo elemento a essere interrato, e in essa vengono depositate le impurità presenti nell'aria esterna. Da qui l'aria viene introdotta in un canale orizzontale per poi essere distribuita, grazie a uno schema detto "a pettine", tra i condotti del campo geotermico. Dopo aver attraversato i condotti, l'aria confluisce in un canale orizzontale di raccolta e viene convogliata all'interno della camera di condensazione, che serve principalmente allo smaltimento dell'acqua che può venirsi a formare a causa dell'abbassamento della temperatura dell'aria al di sotto della temperatura di rugiada.

Nel caso di uno scambiatore geotermico con più di un collettore, un canale farà da collegamento tra la camera di condensazione e quella di miscelazione o di calma, dalla quale l'aria viene aspirata e trasferita nelle UTA, che ne correggono la temperatura e l'umidità prima di trasferirla all'interno dell'edificio.



Criteri di progettazione degli scambiatori geotermici ad aria: dimensionamento dei condotti

La portata d'aria di rinnovo richiesta, necessaria specialmente per esigenze igieniche e di raffrescamento, dall'impianto deve essere la base su cui eseguire il dimensionamento dei condotti nei sistemi a tutt'aria. La portata si può determinare in due modi: o considerando le caratteristiche degli spazi che saranno serviti dallo scambiatore, o partendo dal dimensionamento dell'UTA.

Le variabili da definire per dimensionare i condotti sono:

- sezione e area perpendicolare al flusso di ogni condotto;
- velocità dell'aria;
- numero di condotti.

La sezione tipica consigliata per i condotti interrati è quella circolare, in quanto riduce le perdite di carico e sopporta meglio la pressione del terreno. Vi sono alcuni parametri stabiliti come ottimali a cui riferirsi per questo calcolo: ad esempio, il diametro dei tubi che ottimizza sia la superficie di scambio sia i costi di fornitura dovrebbe misurare circa 20-25 cm, mentre la velocità dell'aria ottimale all'interno dei condotti varia tra i 3 e i 5 m/s, mentre velocità maggiori possono ridurre l'efficacia dello scambio termico e un incremento delle perdite di carico.

Basandosi su tali informazioni, si può dedurre il numero ottimale di condotti per uno scambiatore geotermici con questa formula:

$$n = G / (A_u * v_{pr})$$

dove:

G = portata d'aria [m³/s];

A_u = area di sezione del singolo condotto

v_{pr} = velocità di progetto dell'aria all'interno del condotto.

La portata che viene solitamente considerata per ciascun condotto è circa pari a 600/800 m³/h.

Disposizione dei condotti

La disposizione dei condotti deve seguire una serie di indicazioni che si riferiscono principalmente allo spazio disponibile e al tipo di prestazione termica che ci si aspetta. Tali criteri sono:

1. *Individuazione dell'area:* l'area deve essere individuata in funzione della posizione del fabbricato e della sistemazione del terreno. I condotti dovranno trovarsi infatti in una localizzazione vicina all'edificio che eviti collegamenti troppo lunghi, ma a una distanza sufficiente da non subire l'influenza termica dell'edificio stesso. Distanze di almeno 1,5 -2,0 m devono essere mantenute rispetto all'intercapedine dell'edificio, e qualora vi siano muri di contenimento del terreno bisognerà mantenere distanze ancora maggiori. In caso di sistemazione del terreno a verde, bisogna però considerare di mantenere una fascia di rispetto

entro la quale non impiantare arbusti poiché le loro radici potrebbero danneggiare i condotti. Inoltre, qualora si voglia usare una pavimentazione, essa dovrà avere una finitura poco assorbente rispetto alla radiazione solare e caratteristiche di permeabilità all'acqua. Infine, la posizione della testa di presa dovrà essere distante da bocche inquinanti, situata in un'area ombreggiata e raggiungere un'altezza variabile tra 1 e 4 m;

2. *Profondità*: essa dipende specialmente dal volume di terra che si deve movimentare e dal tipo di terreno che compone l'area. In generale, le prestazioni termiche migliori lungo il corso dell'anno si ottengono quando i condotti si trovano a una profondità non inferiore ai 2 m rispetto al piano di campagna;

3. *Distanza*: se ci troviamo in presenza di un collettore termico, la posizione reciproca dei condotti deve rispettare una distanza minima per evitare che avvenga un reciproco disturbo termico. L'interasse consigliato dovrebbe essere circa 5-6 volte inferiore al diametro del condotto, rapportando però tale distanza all'area di intervento disponibile e all'entità dello sbancamento richiesto;

4. *Pendenza*: la pendenza dei condotti è un espediente importante per lo smaltimento e il raccoglimento condensa che si può formare sulla loro superficie. La pendenza dei condotti può essere pari a circa l'1%, ma considerando che l'acqua viene in parte trascinata dall'aria, in presenza di condotti molto lunghi si possono adottare anche pendenze inferiori, pari a circa lo 0,6%;

5. *Lunghezza*: lo sviluppo in lunghezza dello scambiatore determina anche l'entità delle prestazioni dello scambiatore geotermico nella stagione di raffrescamento. La lunghezza infatti definisce sia la superficie di scambio termico, da cui dipende la riduzione della temperatura dell'aria, sia il volume, che determina la capacità termica del terreno coinvolto in tali scambi. La lunghezza ottimale dei condotti dovrebbe essere compresa tra i 50-70 m, poiché sviluppi inferiori si rivelano poco efficaci, mentre sviluppi superiori non compensano l'extracosto sostenuto per la costruzione dell'impianto.

Materiali dei condotti

Il tipo di tubazione che può essere scelta per realizzare lo scambiatore geotermico è quella impiegata nel campo delle reti di adduzione e scarico delle acque civili e industriali. Per scegliere correttamente la composizione dei tubi bisogna però fare attenzione alle seguenti caratteristiche:

- il *tipo di giunto*, che può essere saldato o ad innesto, e deve garantire la tenuta rispetto a potenziali infiltrazioni d'acqua dal terreno;
- la *resistenza meccanica a schiacciamento*, questo soprattutto in relazione alla profondità del terreno che esercita indubbiamente una pressione sui tubi;
- la *conducibilità termica del materiale*, che chiaramente è essenziale per facilitare lo scambio termico aria-terreno.

A seconda delle necessità del progetto, vi sono diverse tipologie di materiali tra cui scegliere:

- Per la reperibilità, la curabilità nel tempo e il costo, si prediligono in genere materiali plastici, come il polipropilene e il polietilene, che rispetto al pvc hanno un minor impatto ambientale e migliori prestazioni di conducibilità termica, solitamente compresi tra 0,20 e 0,35 W/(mK);

- Gli acciai ad esempio, pur avendo valori elevatissimi di conducibilità termica ($\lambda = 170 \text{ W}/(\text{mK})$), ma sono maggiormente sensibili all'attacco degli agenti aggressivi presenti nel terreno;
- Nella realizzazione di camere di presa e condensa invece l'impiego dei calcestruzzi, gettato in opera o prefabbricato, è piuttosto diffuso. L'unica attenzione da prestare è che le pareti interne della camera siano lisce e trattate in modo da evitare la formazione di muffe o altri danni causati da agenti fisici o organici, a causa del fatto che il trattamento dell'aria avviene in ambiente umido.

Sistema di filtraggio e ventilazione

Per quanto riguarda i sistemi di ventilazione, la movimentazione dell'aria all'interno di uno scambiatore geotermico avviene solitamente per mezzo di ventilatori alimentati elettricamente. Per scegliere i ventilatori adatti bisogna considerare la prevalenza caratteristica, ovvero la loro capacità di vincere le perdite di carico.

A seconda del tipo di rapporto tra lo scambiatore geotermico e l'edificio, si rende necessario prevedere un ventilatore apposito oppure si può sfruttare uno già esistente, che può essere ad esempio quello presente nelle UTA. L'utilizzazione di un ventilatore legato al funzionamento delle UTA non è però particolarmente raccomandabile poiché crea un'eccessiva dipendenza tra questi due sistemi, pertanto è preferibile prevedere comunque nel progetto un ventilatore dedicato. Esso può essere collocato a monte o a valle dello scambiatore, e a seconda dell'obiettivo da perseguire si può preferire l'una o l'altra soluzione: a monte vi è una maggiore facilità di installazione e manutenzione, mentre per quanto riguarda l'efficienza globale dello scambiatore bisogna posizionare il ventilatore in prossimità della camera di aspirazione. In questo secondo caso infatti, il vantaggio sta nella dissipazione del calore derivante dall'energia elettrica utilizzata dal ventilatore durante il suo funzionamento, per effetto dello scambio con il terreno.

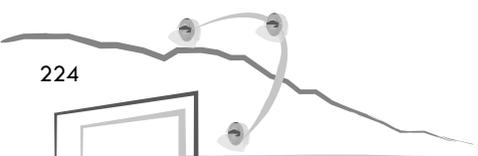
I sistemi di filtraggio invece sono sempre posti in prossimità della presa d'aria esterna, per evitare che i condotti si sporchino a monte del processo. Essi sono solitamente composti da due elementi:

- *Griglia d'areazione*: essa è provvista di alette per la protezione della pioggia e di una griglia antitopo, che grazie alla larghezza ridotta delle maglie impedisce che qualsiasi tipo di oggetto estraneo penetri all'interno del condotto;
- *Filtro per polvere grossa*: serve a evitare che il pulviscolo entri e favorisca la proliferazione di agenti organici, ad esempio muffe e batteri. Questo elemento viene solitamente collocato in prossimità di una sezione maggiore o su un piano inclinato rispetto alla sezione del condotto, per ridurre la velocità di attraversamento che determina la perdita di carico del filtro stesso.

Descrizione generale dei sistemi di ventilazione naturale controllata - VNC

La movimentazione controllata dei flussi d'aria può essere creata agendo sulla differenza di pressione che si stabilisce tra due aperture, la prima d'ingresso dell'aria e la seconda di uscita. Questo tipo di azione viene definita VNC - ventilazione naturale controllata, poiché viene usato il flusso d'aria naturale per la ventilazione ma si cerca di modularlo modificandone la portata e la direzione attraverso alcuni meccanismi.

Per rendere efficace questa tecnica di ventilazione è necessario riuscire a realizzare un flusso "passante", ovvero tra aperture collocate su chiusure diverse dello stesso edificio o ad altezze diverse della stessa parete. A seconda del "motore" utilizzato per realizzare il sistema, la VNC si distingue in:



- *passante da vento*: il flusso d'aria attraversa aperture su pareti opposte che si trovano alla stessa altezza;
- *passante da gradiente termico*: il flusso attraversa aperture su pareti opposte ad altezze diverse, e si creano correnti ascendenti o discendenti a seconda di come sono collocate le aperture e della relazione esistente tra le temperature interne e quelle esterne;
- *passante combinata*: i due meccanismi precedenti agiscono insieme.

Nel primo caso, il flusso d'aria viene immesso dall'apertura che si trova nella parete sopravvento ed esce dall'apertura sulla parete sottovento, attraversando nel frattempo uno o più locali - si parla infatti di ventilazione monozonale o plurizonale. Tale tecnica cambia di efficacia in relazione alla profondità del vano libero e in base alla presenza o meno di partizioni, che aumentano la resistenza al flusso.

La VNC da gradiente termico è caratterizzata solitamente da un flusso effetto camino, quindi ascendente, quando la temperatura dell'aria esterna risulta minore di quella dell'aria interna; nel caso opposto invece possono crearsi dei flussi discendenti.

I sistemi VNC si distinguono in sistemi a VNC diretta e sistemi a VNC indiretta:

- *sistemi a ventilazione diretta*: il flusso d'aria generato entra ed esce da aperture situate su pareti esterne che racchiudono un'unica zona. In questa categoria rientrano i sistemi a torre (come descritti negli archetipi *bàdgir, malqaf, qa'a*), che siano sistemi a immissione per caduta d'aria o ad estrazione per effetto camino. Questa tipologia è particolarmente efficace in contesti urbani ad alta densità, quando non è così semplice ottenere delle aperture collocate al livello del vano per immissione d'aria, e poi anche quando vi siano condizioni di vento prevalente costante nei periodi più caldi;
- *sistemi a ventilazione indiretta*: l'immissione o l'estrazione d'aria non avvengono direttamente nei vani da ventilare ma in ambienti adiacenti, spesso appositamente costruiti a questo scopo (chiamati appunto ambienti specializzati). I sistemi di ventilazione da atrio o da vano scala fanno parte di questo secondo gruppo: entrambi applicati a edifici multipiano, essi sfruttano le notevoli differenze di altezza tra i vani da ventilare e anche le aperture apposite per l'estrazione, quelle cioè collocate a livello copertura.

La VNC è efficace come mezzo di raffrescamento corporeo, che implica un abbassamento della temperatura corporea degli individui, e quindi dipende dalla differenza di temperatura tra pelle e aria e dalla velocità del flusso. Si parla infatti di raffrescamento ventilativo corporeo noto come RVC.

Se si prende come esempio un individuo sano, la temperatura della pelle si aggira mediamente attorno ai 33°C: per generare lo scambio termico dal corpo verso l'esterno, quindi negativo, è sufficiente condurre una ventilazione con aria a temperature di poco inferiori. Chiaramente il raggiungimento di condizioni di comfort dovute all'abbassamento della temperatura operante dipende da molteplici fattori correlati tra loro.

In generale, l'abbassamento della temperatura percepita dell'aria si ha quando cresce la velocità dell'aria: se si pone il limite di velocità dell'aria a 1 m/s, si ottiene un effetto di percezione dell'abbassamento della temperatura di circa 3°C. Oltre alla velocità, un altro fattore importante che influenza l'RVC è la posizione delle aperture, che deve poter consentire uno scambio convettivo a livello del busto senza generare situazioni di discomfort termico in cui la temperatura dell'aria in entrata è eccessivamente più bassa di quella in uscita.

Il raffrescamento ventilativo ambientale (RVA) invece si ottiene immettendo in ambiente aria più fredda di quella interna, stando entro certi limiti sia di temperatura che di umidità relativa, come del resto accade anche per tutte le altre tecniche di raffrescamento ventilativo.

L'efficacia dell'RVA dipende sia dalla temperatura che dalla velocità dell'aria in ingresso, e i limiti di temperatura in cui riesce ad operare il raffrescamento ventilativo ambientale sono inferiori a quelli in cui opera il raffrescamento corporeo: in genere il limite superiore è pari a 26°C mentre quello inferiore è di 20°C. L'RVA ha un effetto di tipo istantaneo, e in assenza del volano termico dell'inerzia termica funziona solo ed esclusivamente quando l'aria entrante ha una temperatura inferiore a quella interna e c'è una scarsa produzione di calore endogeno: un raffrescamento ventilativo efficace si ha infatti in presenza di massa termica elevata, soprattutto quando essa viene esposta all'aria interna.

Le tecniche di raffrescamento ventilativo sono inoltre complementari, poichè la prima (RVC) si attua in presenza degli occupanti di una stanza e la seconda (RVA) può essere attuata anche in assenza, però una non può sostituire l'altra: con RVC si attua sempre anche RVA, mentre in alcuni casi RVA permette di creare condizioni tali da rendere superflua l'azione di RVC.

L'ultima tecnica di raffrescamento ventilativo di cui parleremo è quello strutturale RVS: essa viene di solito applicata a edifici non residenziali, ad esempio uffici, che in genere non vengono occupati durante la notte. Il funzionamento consiste nell'immissione di aria in ambiente nelle ore serali e notturne, tramite aperture localizzate in modo tale da generare un flusso che lambisce le superfici interne delle strutture massive, ovvero solai, pareti e pavimenti.

Nel caso della RVS, essa viene sempre indotta dalla RVA, in casi in cui l'edificio abbia una massa edilizia sufficiente da soddisfare i requisiti del meccanismo; l'RVS può essere attuata anche da sola, grazie a tecnologie finalizzate a questo specifico scopo.

Automazione dei serramenti

Per aumentare l'efficienza di un sistema VNC l'automazione dei serramenti è ormai una componente fondamentale per gli edifici termicamente controllati; i motivi dietro a tale operazione sono principalmente due: semplificare l'utilizzo dei serramenti e controllare la ventilazione in ambiente programmando aperture/chiusure dei componenti trasparenti, in modo tale da creare una perfetta coincidenza tra l'impianto di riscaldamento/raffrescamento automatico e l'utilizzo della ventilazione naturale.

Il termine "serramento motorizzato" descrive quindi un serramento, di qualsiasi natura e posto in qualunque punto dell'edificio, che si apre e si chiude grazie a una forza motrice di natura elettrica, e che può essere controllato tramite pulsanti, comandi e, qualora vi sia un sistema di controllo completo su tutto l'edificio, tramite l'attuazione di sistemi domotici. Tale soluzione può essere particolarmente efficace qualora in casa vi siano aperture particolarmente difficili da raggiungere o persone disabili, per cui a volte la scelta della motorizzazione risulta necessaria, ma può essere utile anche per l'aspetto del risparmio energetico.

In materia di regolazione del raffrescamento notturno nella stagione più calda ad esempio, il principio di base è quello di far entrare aria fresca di notte in ambiente tramite l'apertura automatica del serramento: in questo modo viene scambiato calore con la struttura interna per raffrescare l'ambiente e, accumulando il fresco, si ottiene una temperatura minore negli ambienti interni che viene sfruttata nel corso della giornata successiva. Questo processo permette di ridurre l'utilizzo del condizionamento automatizzato.

La ventilazione automatica può essere quindi integrata con quella naturale, e in questo caso si parla di ventilazione ibrida, che consente di ottenere i ricambi d'aria richiesti. Automatizzando i serramenti quindi si hanno dei sensori, sia interni che esterni, che controllano la temperatura e l'umidità e che, a seconda delle necessità di bilanciamento endoclimatico dell'edificio, possono far entrare o meno aria di rinnovo tramite il serramento controllato. Grazie a questo espediente, l'involucro dell'edificio, già progettato in modo efficiente, diventa attivo nel controllo della situazione termica interna, contribuendo alla riduzione delle perdite di efficienza causate da valutazioni sbagliate.

L'automatizzazione avviene quindi tramite l'installazione di vere e proprie macchine di "controllo" meccanico del sistema serramento, macchine dotate di sensori che, opportunamente programmati, percepiscono i valori fisici caratterizzanti il clima interno e se essi siano nella norma o meno rispetto a ciò che ci si aspetta dalla situazione di comfort di riferimento settata dal programma di controllo. L'impianto è quindi considerato una vera e propria macchina che agisce cercando di creare una situazione complessiva vantaggiosa per l'intero organismo dell'edificio. Questo sistema può essere applicato a qualsiasi tipo di edificio, di qualsiasi dimensione e destinazione d'uso: maggiore è l'integrazione con il resto degli impianti della casa, migliore sarà il controllo assunto da tali macchine.

10.2.3 Strategie per il riscaldamento e ACS

Descrizione dell'impianto solare termico

Tramite l'utilizzo di pannelli solari termici posizionati nel punto di maggior esposizione solare dell'edificio, ovvero sulla copertura, è possibile raccogliere, immagazzinare e riutilizzare l'energia raccolta per molteplici scopi: la si può utilizzare ad esempio per il riscaldamento delle abitazioni e per la fornitura di Acqua Calda Sanitaria.

Il pannello solare termico è un dispositivo che viene posizionato sul tetto delle abitazioni, falda esposta a sud, e contiene un fluido che, riscaldato dal sole, trasferisce calore all'acqua generalmente per produrre riscaldamento o acqua calda sanitaria. L'impianto solare termico è composto da tutti i dispositivi che insieme permettono di scaldare acqua, e i componenti essenziali sono:

- il collettore solare;
- lo scambiatore di calore;
- il serbatoio per immagazzinamento dell'acqua;
- impiantistica.

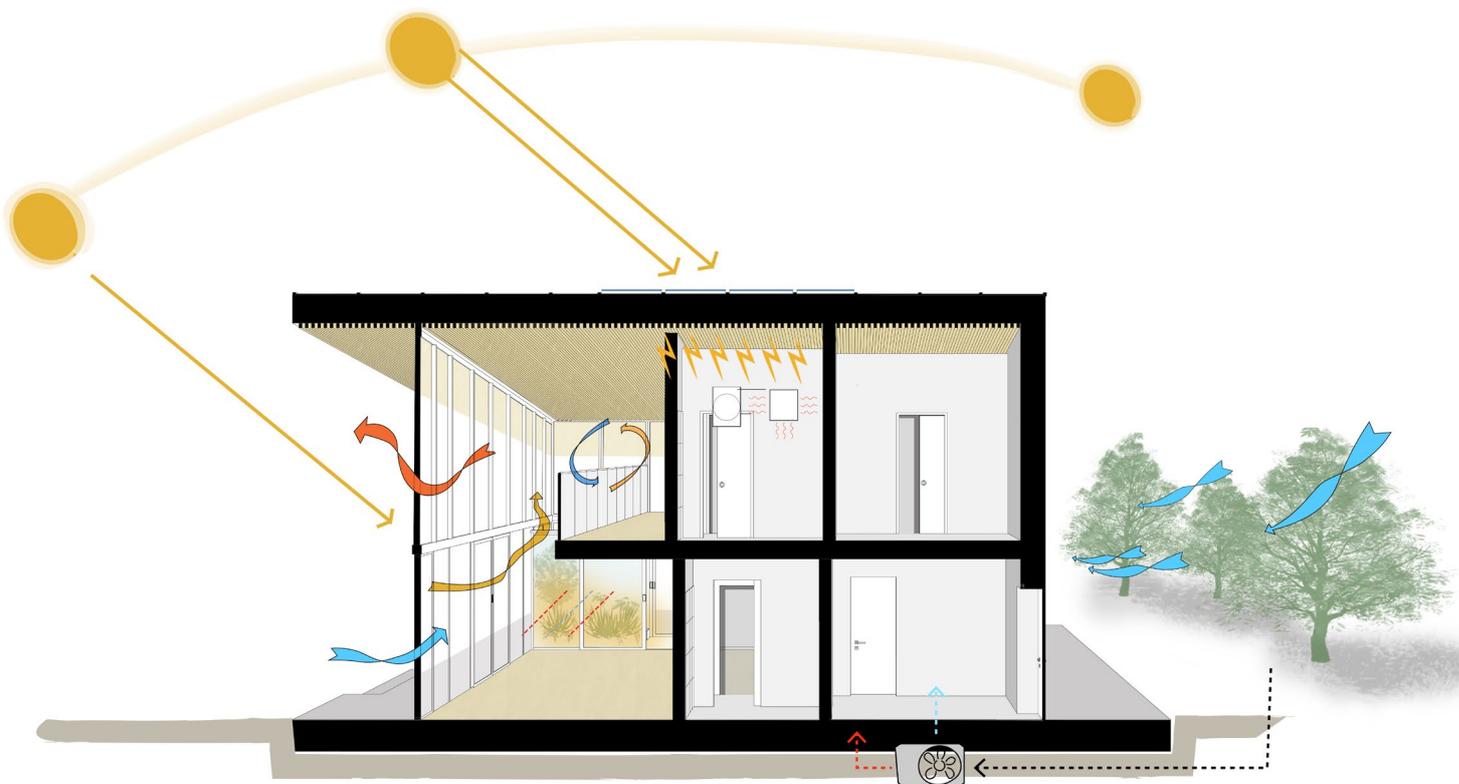
Vi sono diverse tipologie di pannelli solari che hanno una resa differente: esistono i pannelli solari vetrati, i primi ad esser stati sviluppati e installati nelle abitazioni, e poi i pannelli a tubi sottovuoto, che si adattano anche a climi più freddi come quelli nordici. A loro volta esistono anche due diverse tipologie di impianto solare termico a seconda del metodo di riscaldamento dell'acqua utilizzato: l'Impianto Solare Termico a Circolazione Naturale, che ha la caratteristica di essere più economico e di occupare meno spazio, e quello a Circolazione Forzata, che pur avendo costi di installazione più elevati ha il vantaggio di avere una resa migliore. Negli edifici di progetto si è scelto di utilizzare la seconda tipologia, che viene utilizzata specialmente quando sono necessarie quantità maggiori di acqua riscaldata, ed è più indicato in presenza di climi più freddi, ed è quindi

perfetto per funzionare nella stagione invernale del Nord Italia.

Il funzionamento si basa sull'utilizzo della tecnologia a circuito chiuso: in genere una miscela di acqua e anti-gelo viene fatta riscaldare e circolare nei tubi grazie a una pompa elettrica. Il liquido che attraversa i tubi rilascia il suo calore all'interno del serbatoio di raccolta acqua, ottimizzando lo scambio di calore grazie all'utilizzo di una serpentina. Grazie alla pompa elettrica è possibile posizionare il serbatoio ovunque, poiché essa permette di modificare la circolazione naturale a circuito chiuso, che invece si basa semplicemente sul fatto che l'acqua calda tende a risalire prendendo il posto di quella fredda.

Vi è inoltre una piccola centralina elettrica che controlla la temperatura del liquido nel pannello e dell'acqua nel serbatoio.

Rappresentazione schematica del sistema HVAC applicato all'edificio



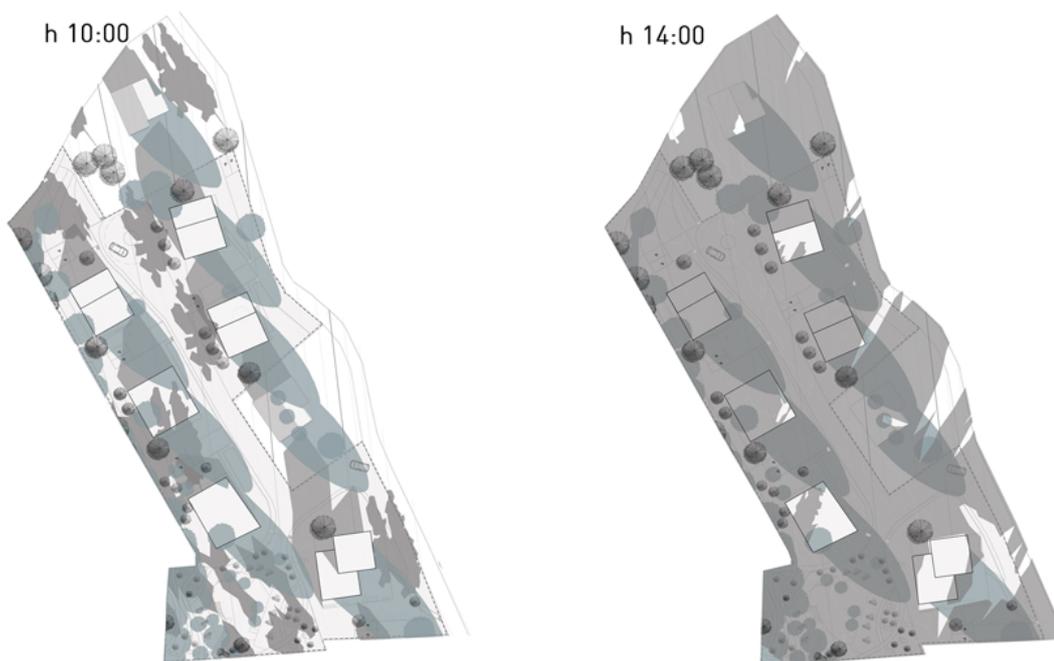
VERIFICHE PRESTAZIONALI

11.1 Elaborazione della matrice microclimatica di sito allo stato di progetto

A seguito del percorso progettuale compiuto, è stata elaborata una seconda matrice microclimatica di sito, per verificare le scelte progettuali effettuate e ottenere informazioni sui cambiamenti di interazione sito-clima causati dalle modifiche effettuate nel luogo.

Analisi congiunta delle ombre e delle zone di calma del vento di sito

21 Dicembre



21 Giugno



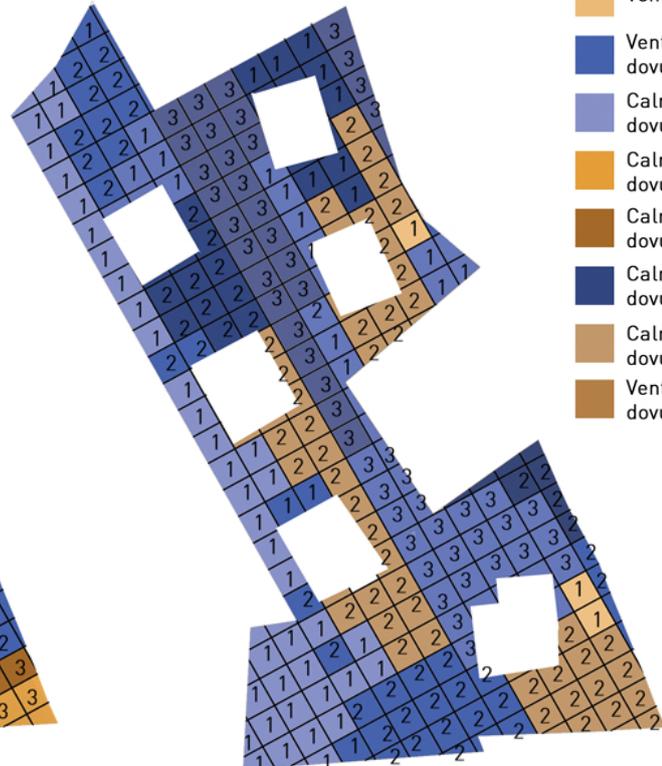
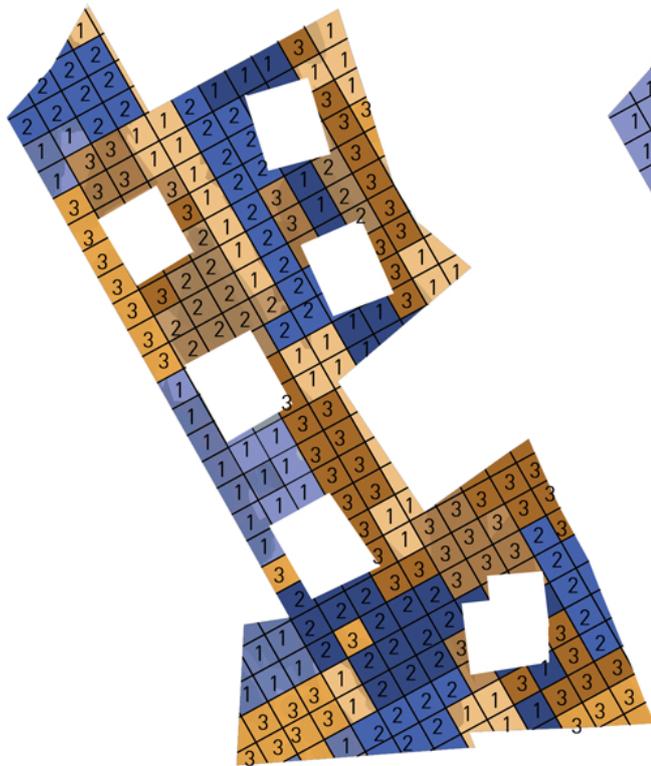
Elaborazione delle quattro matrici stagionali

21 Dicembre

h. 10:00

h. 14:00

Legenda delle aree



- Vento + sole
- Vento + ombra dovuta a alberi
- Calma + ombra dovuta a alberi
- Calma + sole dovuta a alberi
- Calma + sole dovuta a edifici
- Calma + ombra dovuta a ed.+ alb
- Calma + ombra dovuta a edifici
- Vento + ombra dovuta a edifici

21 Giugno

h. 8:00

h. 16:00

Legenda delle condizioni di benessere

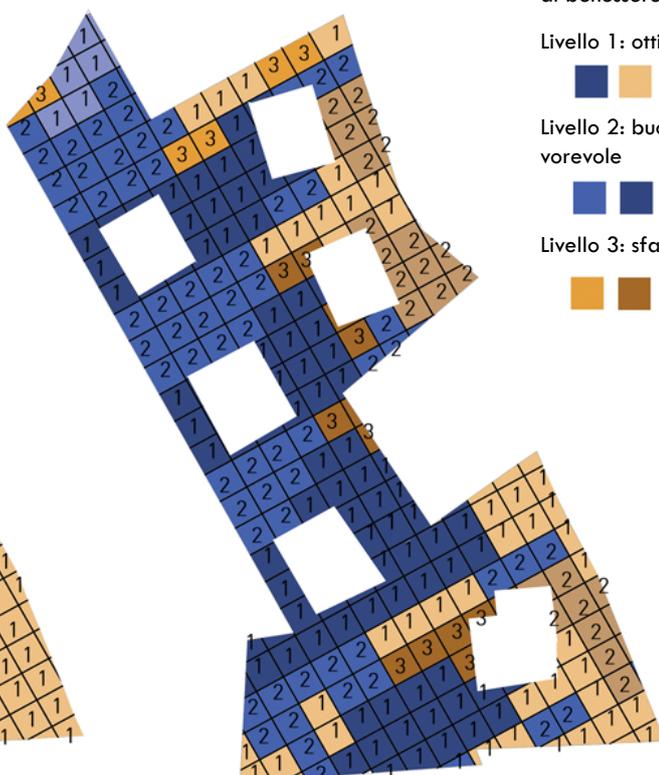
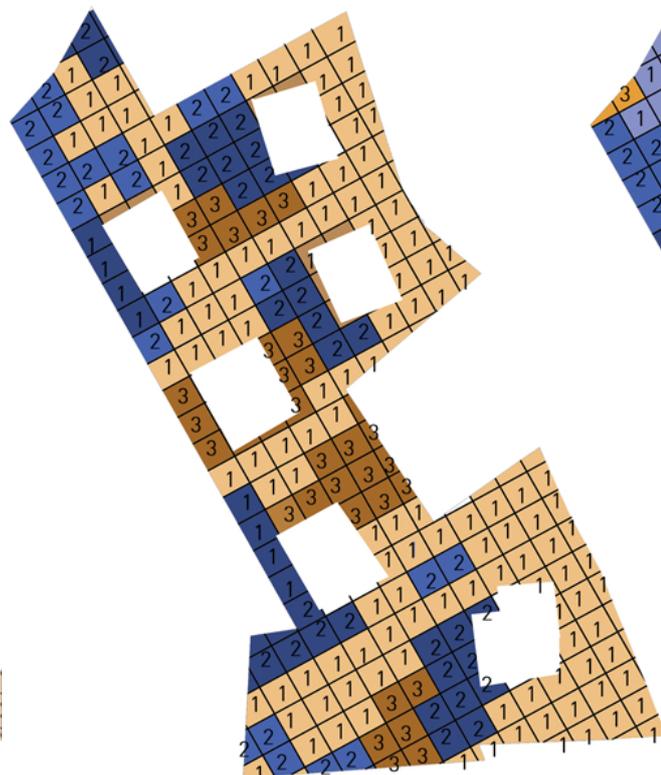
Livello 1: ottimale



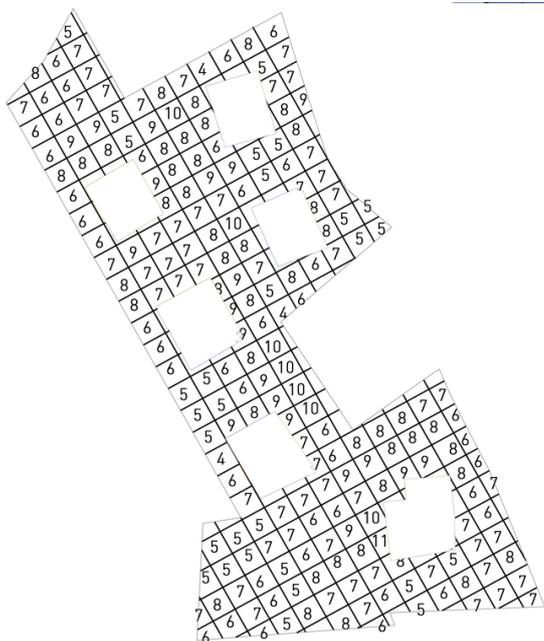
Livello 2: buono non sfavorevole



Livello 3: sfavorevole



Sommatoria dei punteggi



Legenda dei punteggi finali

- Da 4 a 6: ottimale
- Da 7 a 8: buono non sfavorevole
- Da 9 a 11: sfavorevole

Come per la precedente matrice antecedente al progetto, viene fatta la sommatoria dei punteggi precedentemente assegnati ad ogni microarea per ciascuna delle quattro matrici stagionali/orarie elaborate durante il processo.

La scala di valutazione rimane la stessa utilizzata per lo stato di fatto, come anche i fattori climatici (direzione e intensità del vento, percorso e intensità solare...) coinvolti nell'elaborazione.

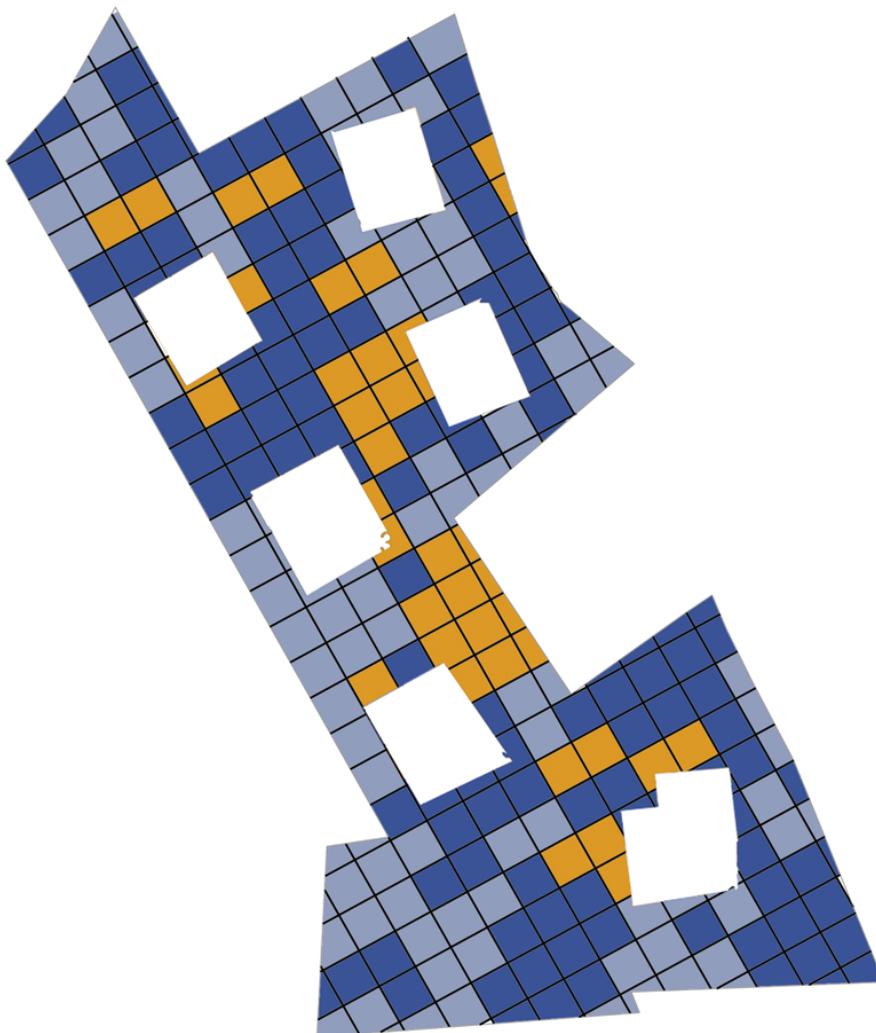
Legenda delle aree

- Ottimale
- Buono non sfavorevole
- Sfavorevole

La matrice microclimatica dello stato di progetto non presenta sostanziali differenze rispetto a quella elaborata per lo stato di fatto.

La zona di insediamento maggiormente favorevole, a livello climatico, risulta essere sempre quella a Ovest del lotto, protetta dalle correnti fredde dalla fascia boschiva retrostante, e dalla eccessiva esposizione solare dalla presenza degli stessi alberi.

L'area maggiormente sfavorevole all'insediamento di nuovi edifici risulta invece essere quella più a est confinante con uno dei due lotti preesistenti abitati: questa zona è stata infatti utilizzata per la circolazione interna al sito.



11.2 Soddisfacimento dei livelli di comfort

Il *comfort termico* percepito all'interno degli edifici viene definito in base a due tipi di variabili: variabili soggettive, dipendenti dal singolo individuo e dalle sue caratteristiche fisiche, biologiche e dalle condizioni psico-emozionali in un dato momento, e variabili oggettive, connesse esclusivamente alle variabili microclimatiche misurabili dell'ambiente interno. In definitiva, esso è esprimibile come una sensazione di benessere fisico e mentale provata dall'individuo in un certo ambiente, che è legata alla capacità del corpo di mantenere un equilibrio termico.

La temperatura corporea ideale dovrebbe aggirarsi attorno ai 37°C, compatibilmente con la produzione interna di energia e le perdite di calore dovute agli scambi con l'ambiente esterno: si raggiunge una situazione di neutralità termica quando il corpo di un individuo non necessita nè di apporti nè di dispersioni di calore per mantenere l'equilibrio termico. Questa condizione di neutralità non è purtroppo sufficiente alla percezione del comfort, poichè vi sono diversi parametri che concorrono al raggiungimento di tale condizione.

11.2.1 Indici di Fanger: PMV e PPD

PMV: Voto Medio Previsto (Predicted Medium Vote)

Metodo alla base della norma internazionale ISO 7730 sin dal 1984, è utilizzato per la valutazione del comfort termico in ambienti termicamente moderati, ovvero quelli che presentano condizioni termiche controllate e in regime stazionario. Lo studioso Fanger sviluppò quella che venne chiamata l'equazione di bilancio termico, che combina le variabili principali che concorrono alla percezione climatica in un ambiente combinato per il raggiungimento del comfort termico ideale.

Fanger parte dall'assunto che la sensazione termica è funzione del carico termico del corpo, ovvero la differenza tra produzione interna di calore e dispersioni verso l'ambiente circostante, in condizioni ambientali omeoterme.

Nella normativa, l'equazione di Fanger si presenta in questa forma:

$$PMV = CT (0,303 \times e^{-0,036M} + 0,028)$$

in cui:

CT= carico termico;

M= dispendio metabolico dell'organismo.

Il valore di PMV esprime quindi la differenza tra la situazione termica reale di un ambiente confinato e la sensazione di benessere percepita da un'organismo umano: le due cose non corrispondono mai completamente.

Per misurare la sensazione termica espressa dall'indice PMV viene adottata una scala psico-fisica che comprende cinque livelli di valutazione, con valori che vanno da +3 a -3, dove il valore massimo indica una percezione di calore eccessiva, mentre il valore minimo rappresenta all'opposto una importante percezione di freddo.

Tabella 11.1 - Scala dei valori di PMV.

Tabella rielaborata dal documento "Conoscere il rischio. Ergonomia del comfort termico", Inail, 2017.

Indice	Sensazione
+3	molto caldo
+2	caldo
+1	leggermente caldo
0	benessere termico
-1	leggermente freddo
-2	freddo
-3	molto freddo

Questa tabella è presente all'interno della norma UNI EN 7730, in cui viene spiegato il metodo di Fanger, e rappresenta ovviamente una convenzione normativa.

All'interno dello stesso documento vi sono altre tabelle che determinano il range di valori utilizzabili all'interno dell'equazione di Fanger per ciascun componente a seconda dell'attività svolta e del tipo di ambiente che si intende valutare.

PPD: Percentuale Prevista di Insoddisfatti (Predicted Percentage of Disappointed). E' l'indice, in percentuale, di valutazione del quantitativo di persone che risulano insoddisfatte delle condizioni termiche di un ambiente confinato.

Questo secondo indice di valutazione è correlato al precedente, attraverso la seguente equazione:

$$PPD = 100 - 95 \times e^{(0,03353 \times PMV^4 - 0,2179 \times PMV^2)}$$

Immagine 11.1 - Grafico di andamento dell'indice PPD al variare di PMV.

Tabella rielaborata dal documento "Conoscere il rischio. Ergonomia del comfort termico", Inail, 2017.

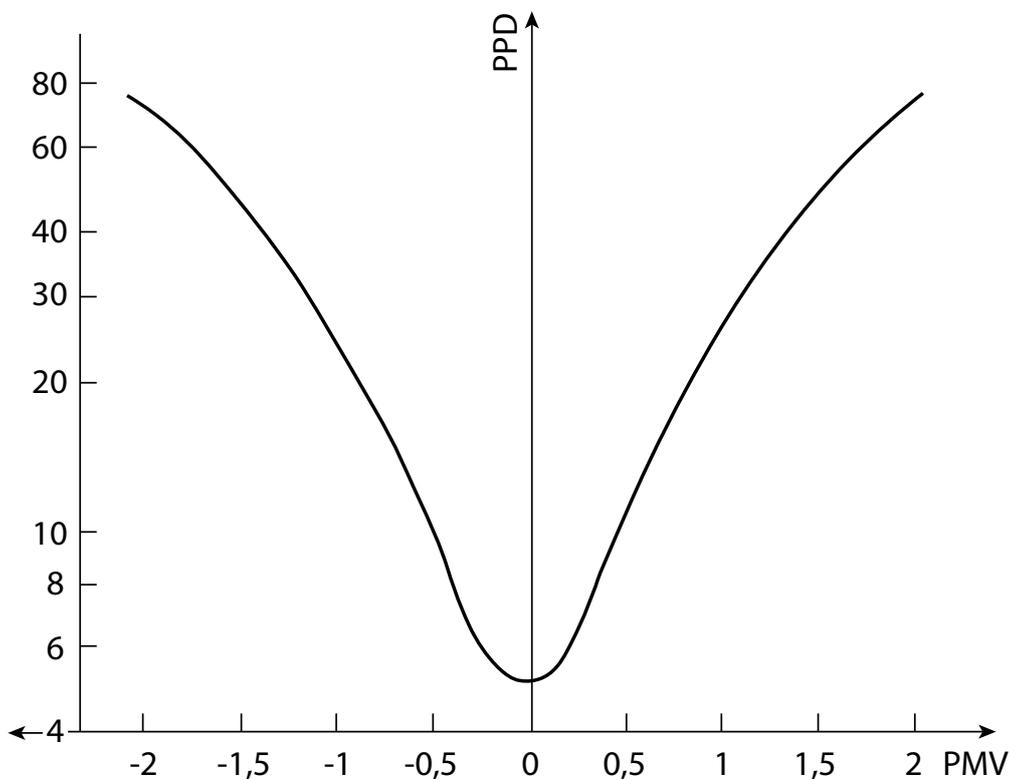


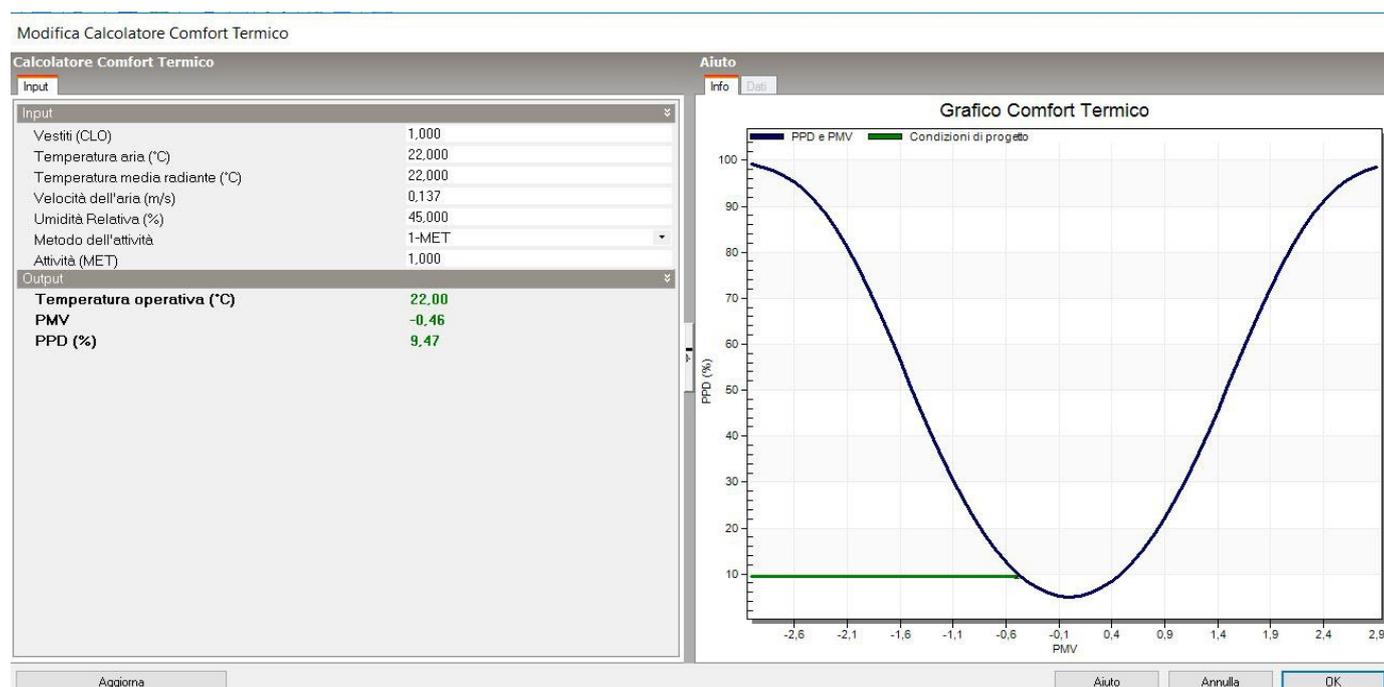
Tabella 11.2 - Parametri di valutazione per ambienti moderati per PMV e PPD.
Tabella rielaborata dal documento "Conoscere il rischio. Ergonomia del comfort termico", Inail, 2017.

Parametri	Valori limite	dove:
M	= da 0,8 a 4 met	M= attività metabolica
I _{cl}	= da 0 a 2 clo	I _{cl} = indice di resistenza del vestiario
T _a	= da 10 a 30° C	T _a = temperatura dell'aria interna
V _{ar}	= da 0 a 1 m/s	V _{ar} = velocità dell'aria

Il calcolo degli indici può essere effettuato manualmente, riferendosi alle tabelle della normativa vigente, oppure con l'aiuto di un software di analisi energetica per ingegneria e architettura.

Utilizzando il software di simulazione dinamica Design Builder per analizzare il fabbisogno energetico dell'edificio, è possibile ottenere anche il grafico di rapporto tra i due indici: il programma, disponendo di fondamentali informazioni riguardanti l'assetto climatico del sito e degli edifici in esame, compie automaticamente anche un'analisi del benessere termico dell'edificio, elaborando il grafico indicativo del comfort termico.

Immagine 11.2 - Grafico del Comfort Termico elaborato da DB.



Il grafico valuta che all'interno del nostro edificio-tipo, per una temperatura operante media di 22°C, il valore di PMV è tra lo 0 e il -1, con l'ambiente percepito come leggermente fresco, e l'indice PPD è minore del 10%. Il quadro del comfort termico è quindi nel complesso positivo, in quanto anche il valore medio di UR - Umidità Relativa pari al 45% risulta perfettamente nel range accettabile per i valori di UR medi, che comprende l'intervallo tra il 40 % e il 60% .

Nel prossimo paragrafo verrà approfondito l'utilizzo del software Design Builder e verrà spiegato in maniera più chiara il suo funzionamento nella valutazione dei carichi energetici dell'edificio.

11.2.2 Il modello di Comfort adattivo

Il Comfort adattivo è un modello di studio del comfort degli ambienti interni derivante da una serie di studi statistici applicati a edifici reali, che suggeriscono una metodologia di valutazione più “elastica” per così dire rispetto a quella suggerita dalla scala di tolleranza di Fanger. Esso è stato introdotto nel nuovo standard europeo per gli edifici raffrescati naturalmente e permette di ottenere alti livelli di comfort a costi energetici significativamente più contenuti.

Il modello adattivo di comfort si basa sulla definizione data in psicologia di benessere e sulla percezione termica degli ambienti: l'assunzione fondamentale è che gli esseri umani sono in grado di adattarsi termicamente agli ambienti in cui si trovano agendo su variabili di loro competenza. La capacità di adattamento è fondata sulle aspettative climatiche degli occupanti e sull'osservazione del ruolo attivo e responsabile che essi assumono nella gestione del microclima, dimostrando anche una gestione più responsabile degli impianti, con il ricorso alle risorse disponibili nell'edificio stesso.

I meccanismi di adattamento si dividono in tre categorie:

- *comportamentale*: tutte le azioni, sia automatiche che condotte con coscienza, dell'individuo volte a interagire con l'ambiente e i flussi termici. Queste azioni possono essere classificate ulteriormente come personali, quando ad esempio riguardano la rimozione di un indumento; tecnologiche, se implicano un intervento sull'impianto; culturali, di cui un esempio significativo può essere la *siesta* pomeridiana, in uso nei paesi dal clima particolarmente caldo nelle ore di picco di calore della giornata;
- *fisiologico*: riguarda la capacità del corpo umano di adattarsi al microclima di un ambiente a livello metabolico, reazione particolarmente sviluppata nelle popolazioni che vivono costantemente a contatto con condizioni climatiche estreme;
- *psicologico*: si riferisce all'alterazione percettiva delle condizioni di benessere, dovuta anche a esperienze pregresse, che possono causare una reazione di adattamento e percezione termica diverse da individuo a individuo, che si può tradurre anche in un notevole divario tra la temperatura di comfort “personale” e quella termostatica.

Si è quindi cercato di individuare una correlazione tra la sensazione termica e le effettive grandezze climatiche, e questa operazione è significativa specialmente per quanto riguarda gli edifici privi di condizionamento meccanizzato. Grazie agli studi condotti da Humphrey, che già a partire dagli anni '70 ha effettuato una serie di analisi relative allo scostamento tra le condizioni climatiche e la sensazione termica, si è riuscita a individuare una correlazione diretta tra la temperatura di comfort interno e la temperatura esterna, sintetizzata da questa equazione:

$$T_{co} = a \times T_{out} + b$$

dove:

T_{co} = temperatura di comfort

T_{out} = temperatura esterna di riferimento

a = costante che rappresenta la relazione tra T_{co} e T_{out}

b = costante che rappresenta la temperatura min. accettabile

Come temperatura di riferimento si può prendere sia la temperatura media mensile, guardando i dati climatici, che la *Running mean external temperature*, calcolata tramite l'equazione semplificata

$$T_{mr} = 0,2 \times T_{dm,n} + 0,8 \times T_{mr, n-1}$$

che rappresenta la combinazione lineare delle temperature medie giornaliere dei giorni precedenti.

A livello europeo il calcolo della Temperatura di comfort secondo il modello di comfort adattativo è regolato dalla norma UNI ISO 15251, in cui l'equazione di riferimento per il calcolo della temperatura di comfort è la seguente:

$$T_{co} = 0,33 \times T_{out} + 18,8$$

per $T_{\text{limite superiore}} > 10^{\circ} \text{C}$
 $T_{\text{limite inferiore}} > 15^{\circ} \text{C}$

per una Fascia di Accettabilità (che riguarda la differenza di temperatura calcolata con PPD) pari a:

$\Delta T = \pm 2^{\circ} \text{C}$, Categoria I
 $\Delta T = \pm 3^{\circ} \text{C}$, Categoria II
 $\Delta T = \pm 4^{\circ} \text{C}$, Categoria III

dove la temperatura esterna di riferimento è la *Running mean external temperature*.

La normativa ASHRAE Statunitense utilizza la stessa equazione con indici a e b diversi, che prende come temperatura esterna di riferimento la Temperatura media mensile. La forma dell'equazione ASHRAE è la seguente:

$$T_{co} = 0,31 \times T_{out} + 17,8$$

Poichè noi conosciamo la temperatura media mensile della località di Torino, che è di circa 13°C , possiamo ad esempio usare l'equazione ASHRAE per definire la temperatura di comfort all'interno del nostro edificio. Il calcolo sarà quindi pari a:

$$T_{co} = 0,31 \times 13 + 17,8 = 21,8$$

La temperatura di comfort all'interno del nostro edificio dovrebbe essere di circa 22°C . Sappiamo, dalle precedenti analisi tramite indici di Fanger, che la temperatura media operativa interna al nostro edificio è di circa 22°C , quindi possiamo dire di aver raggiunto la temperatura di comfort.

Il modello di Comfort adattativo presenta dei limiti di applicabilità rispetto a quello di Fanger, che riguardano principalmente la propria efficacia nel valutare il comfort all'interno degli edifici dotati di impianti di climatizzazione e di sistemi di ventilazione meccanizzata. Tuttavia ha dimostrato la propria efficacia nel riuscire a tenere in considerazione alcune variabili importanti per la determinazione di un risparmio energetico nel controllo microclimatico degli edifici, come ad esempio la variabilità delle condizioni climatiche, le strategie di controllo passivo della ventilazione e il comportamento dell'utenza nei confronti delle condizioni climatiche. E' stato inoltre messo a punto, tramite questo modello, un algoritmo in grado di prevedere la temperatura di comfort in funzione della temperatura esterna, controllando quindi il setpoint dei meccanismi impiantistici che riescono a risparmiare in questo modo il 25 % di energia. Si può quindi beneficiare dell'efficacia di questo modello da un punto di vista progettuale, normativo ma soprattutto impiantistico.

11.3 Carichi Energetici

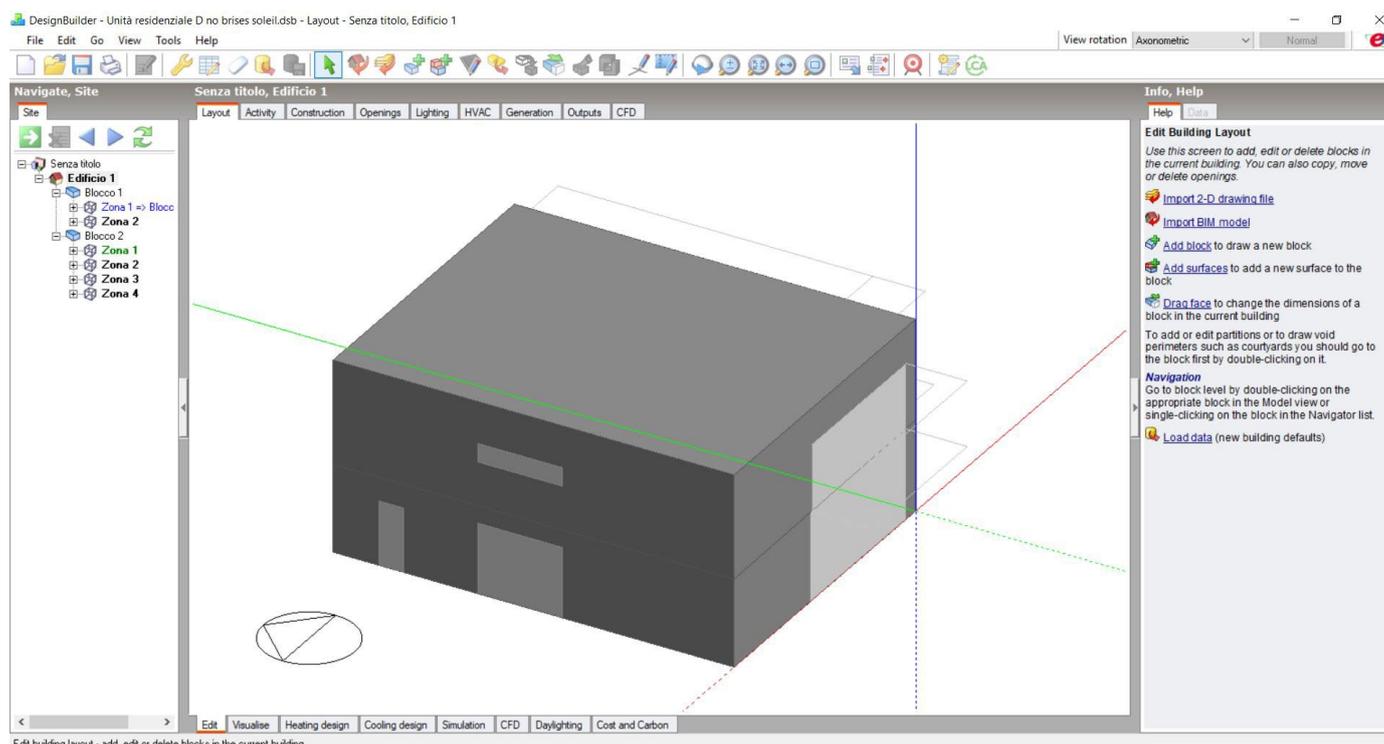
11.3.1 Il Calcolo dei carichi energetici tramite il software Design Builder

Simulazione dei carichi sull'Edificio D

In primo luogo, si provvede a simulare su Design Builder un modello dell'edificio D, assunto come rappresentativo anche degli edifici C ed E per dimension, distribuzione e posizione nel lotto. Design Builder è un software di simulazione dinamica che permette di modellare in modo rapido l'edificio di progetto e effettuare delle analisi dal punto di vista energetico tramite simulazione EnergyPlus, e viene utilizzato sia da architetti che da ingegneri. Il modello che viene costruito tramite questo software è una versione "semplificata" dell'edifici, cioè ottenuta schematizzando le partizioni opache principali e le aperture e facendo un'ipotesi il più esatta possibile dell'impianto HVAC. All'interno del modello è possibile anche inserire la stratigrafia degli elementi opachi poichè è presente un database di materiali dell'edilizia che consente di calcolare anche la trasmittanza termica. Anche per i serramenti è possibile fare una simulazione realistica, scegliendo il materiale e la stratigrafia del vetro, nonchè determinare l'efficienza del programma VNC.

Modellazione dell'edificio - Schermata iniziale di Design Builder

Immagine 11.3 - Edificio D visto nel suo complesso.



Nell'area di lavoro centrale sono presenti degli assi di riferimento cartesiani che forniscono le direttrici per il disegno del volume. Il programma ragiona considerando un oggetto come un blocco, perciò partendo dal disegno in pianta si estrude il blocco iniziale, che poi in questo caso ad esempio viene diviso in due parti, disegnando il solaio interpiano, e successivamente creando un buco nello stesso che indica che le due aree della casa, zona giorno e zona notte, comunicano.

Il programma chiede poi di determinare le tecnologie costruttive per ciascun elemento edilizio, compresi i vetri delle finestre. Nel caso in esame verrà quindi riproposta la stratigrafia di progetto illustrata nel capitolo 9 e determinata la trasmittanza termica della finestra con un valore $U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Immagine 11.4 - Vista del Blocco 1 del modello di DB.

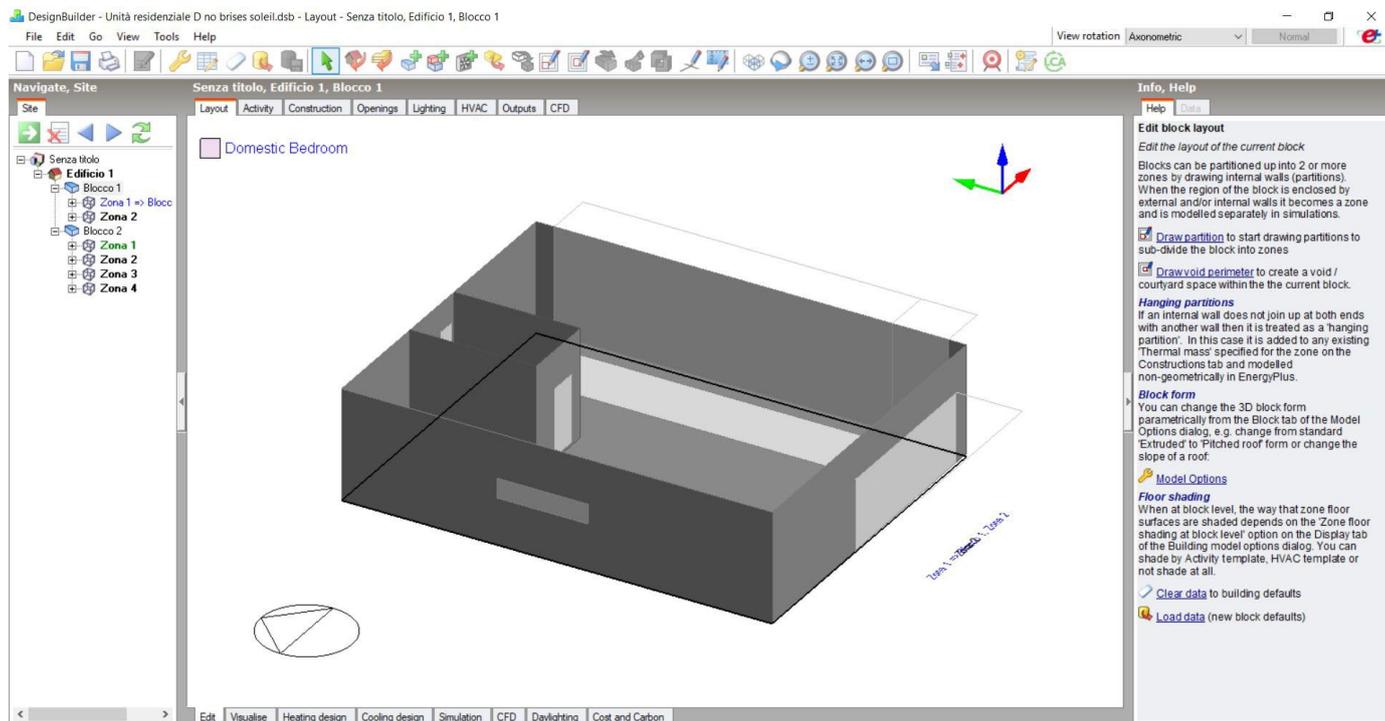
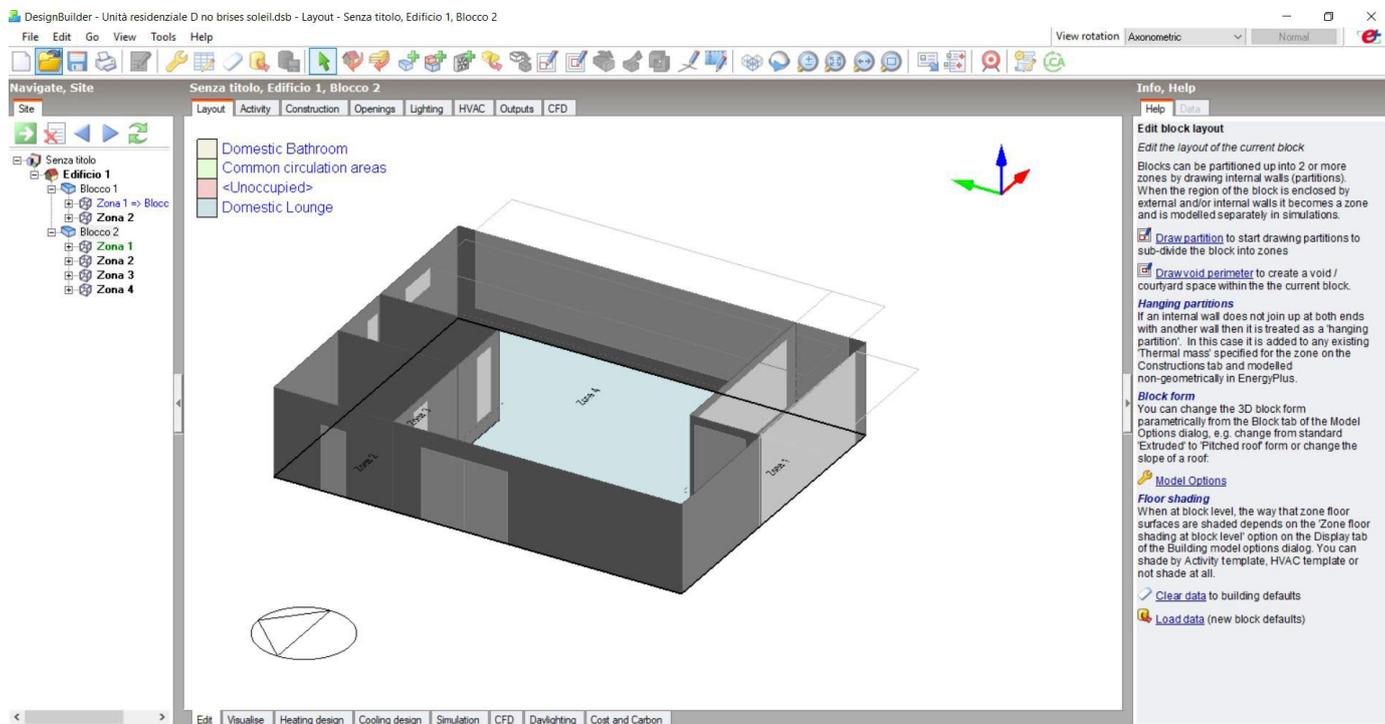


Immagine 11.5 - Vista del Blocco 2 del modello di DB.

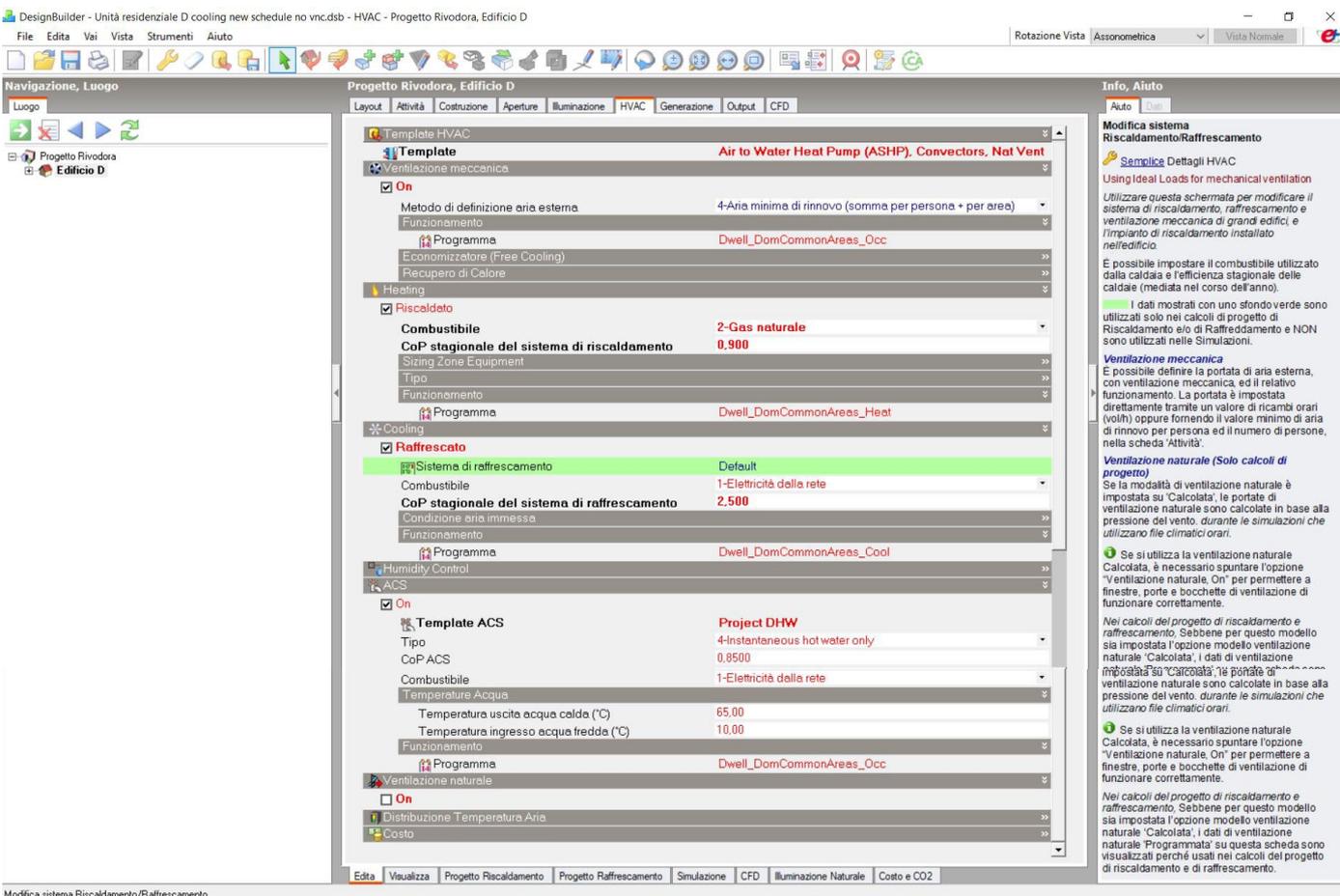


Conclusa la modellazione architettonica, si danno informazioni sul tipo di impianto HVAC che si prevede per l'edificio, nel caso del progetto è stato scelto il metodo semplificato in cui l'impianto è autodimensionato, ovvero si danno dei valori standard, con indici di ottimizzazione dell'impianto, e si prevedono le fonti di energia utilizzate per l'alimentazione dello stesso. Dopo aver definito il funzionamento dell'impianto nel dettaglio viene fatta partire una simulazione di funzionamento che alla fine deve determinare il fabbisogno energetico dell'edificio.

Nel caso in esame è stato deciso di simulare il funzionamento dell'impianto dell'edificio sia nel caso in cui all'impianto di riscaldamento e raffrescamento non viene aggiunta la VNC, e quindi solo con il sistema di ventilazione meccanica, sia quello nel quale si utilizza la VNC. Entrambi i casi vengono simulati su base annuale, tramite la simulazione EnergyPlus. Viene inoltre proposta una scheda oraria formulata a seconda dell'ambiente della casa, ipotizzando l'occupazione di ciascuno spazio nelle diverse fasce della giornata.

Caso 1 - Simulazione del sistema HVAC con ventilazione meccanica

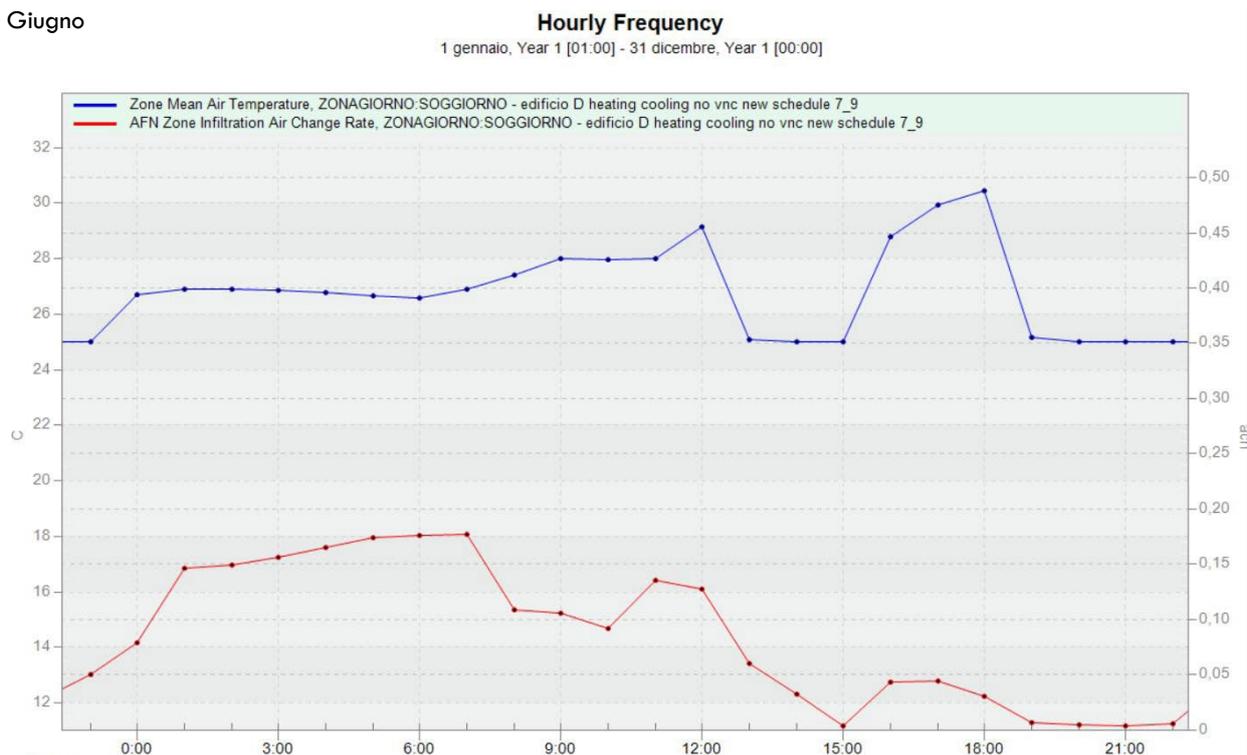
Immagine 11.6 - Impostazioni del sistema HVAC dell'edificio oggetto della simulazione.



Viene inoltre predisposto il consumo ACS - Acqua Calda Sanitaria, tramite l'utilizzo del solare termico, che va ad aggiungersi all'intero fabbisogno annuale. Dopo aver determinato tutte le caratteristiche per l'HVAC, viene fatta partire la simulazione, che genera automaticamente i risultati sia sotto forma di grafici sull'andamento dei consumi, che permettono di considerare l'aspetto più che altro qualitativo, sia sotto forma di tabelle di calcolo, grazie alle quali si potranno fare dei confronti quantitativi. I risultati ottenuti vengono riportati sotto forma di tabelle excel e lo scopo è quello di confrontare quale sia la soluzione più efficiente dal punto di vista energetico, se quella con VNC o quella che non la utilizza, e quale sia poi il contributo del geotermico su tutto l'insieme.

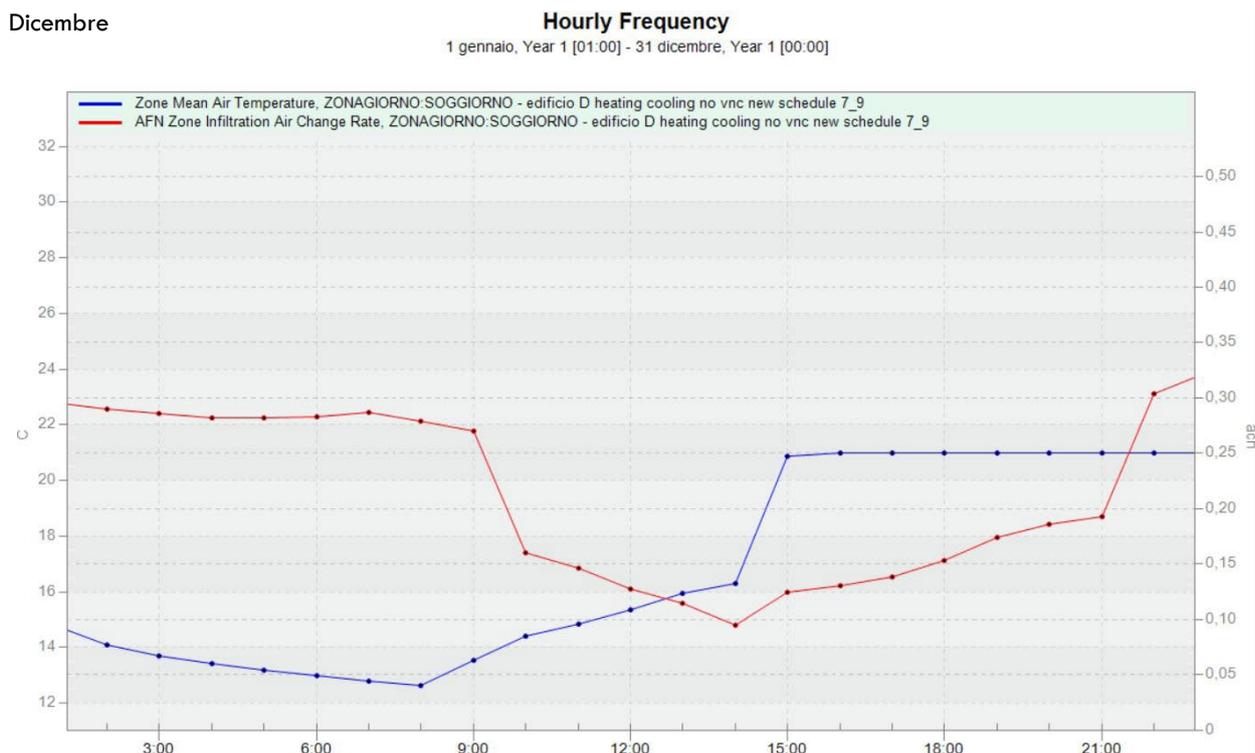
Immagine 11.7 - Grafici elaborati dalla simulazione di design builder: (a) riferito al 21 giugno; (b) riferito al 21 dicembre; (c) riferito a un giorno della stagione estiva avente i più alti livelli di temperatura.

(a) 21 Giugno



Il grafico illustra l'andamento orario dei valori di temperatura media dell'aria nell'ambiente del soggiorno nell'edificio D in relazione alle infiltrazioni d'aria in ambiente: è stato scelto di analizzare il soggiorno poiché è l'ambiente principale della casa, in cui si passa la maggior parte del tempo della giornata. Dal grafico si evince che per ogni aumento della temperatura dell'aria corrisponde un abbassamento dell'entità delle infiltrazioni di aria in ambiente.

(b) 21 Dicembre



(c) 14 Luglio

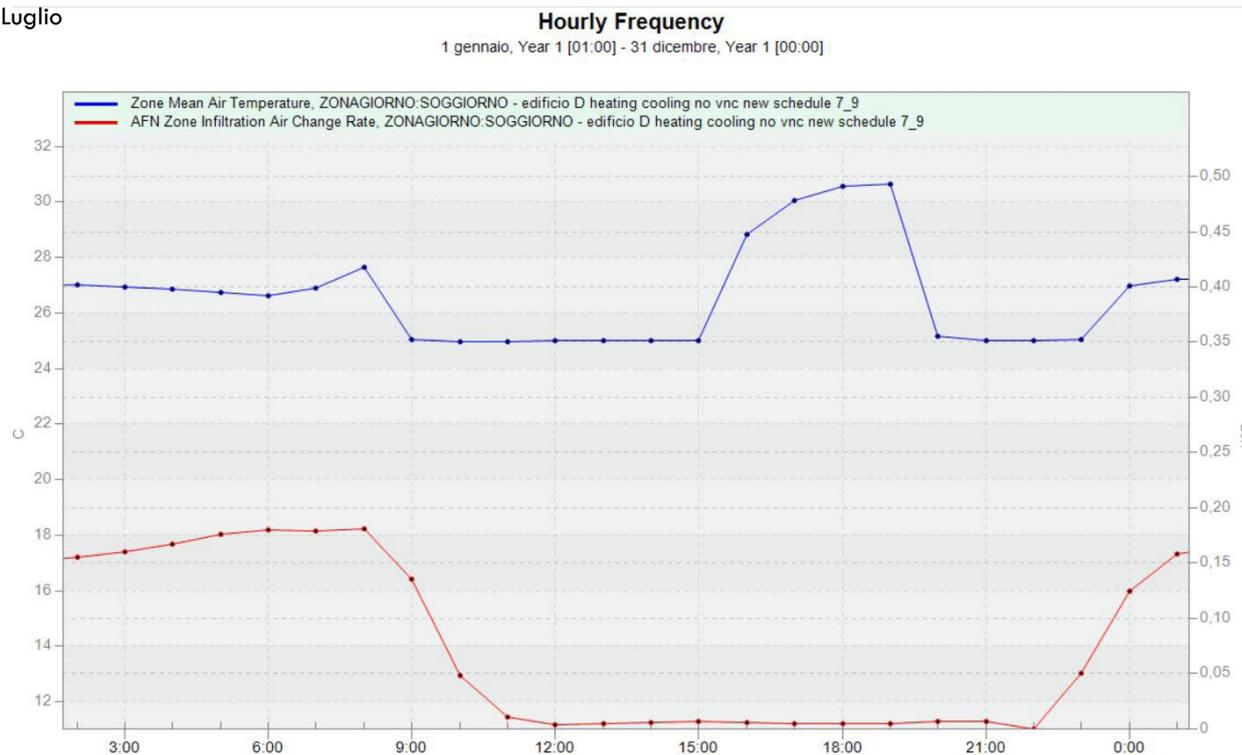


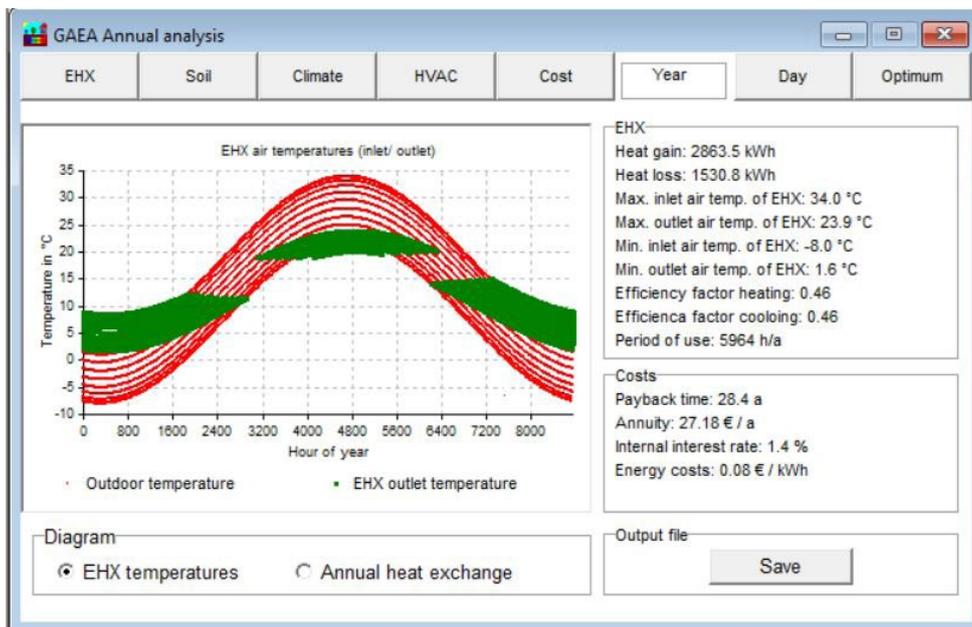
Tabella 11.1 - Tabella con la somma dei valori annuali rappresentativi del consumo energetico dell'edificio.

Data/Ora	Riscaldamento Sensibile di Zona	Raffrescamento Sensibile di Zona	Temperatura Aria	Temperatura Radiante	Temperatura Operante	Riscaldamento (Gas)	Raffrescamento (Elettricità)	ACS (Elettricità)
	kWh	kWh	°C	°C	°C	kWh	kWh	kWh
01/01/2002	1071,44	0,00	15,73	15,21	15,47	1195,99	0,00	153,97
01/02/2002	759,38	0,00	16,44	16,07	16,26	847,54	0,00	139,07
01/03/2002	97,44	0,00	19,06	19,33	19,19	108,35	0,00	153,97
01/04/2002	0,03	38,91	22,59	23,11	22,85	0,04	15,57	149,00
01/05/2002	0,00	501,28	24,97	25,92	25,44	0,00	204,99	153,97
01/06/2002	0,00	1088,26	26,18	27,47	26,83	0,00	461,11	149,00
01/07/2002	0,00	1429,17	26,72	28,11	27,42	0,00	604,35	153,97
01/08/2002	0,00	1127,73	26,39	27,62	27,00	0,00	487,69	153,97
01/09/2002	0,00	406,26	25,17	26,00	25,59	0,00	172,58	149,00
01/10/2002	14,18	6,01	21,78	22,03	21,90	15,78	2,53	153,97
01/11/2002	501,40	0,00	17,69	17,41	17,55	558,73	0,00	149,00
01/12/2002	939,94	0,00	16,12	15,61	15,87	1049,09	0,00	149,00
SOMMA	3383,81	4597,62				3775,52	1948,81	1807,90
A MQ	26,03	35,37				29,04	14,99	13,91

Nella tabella vengono mostrati i risultati della simulazione: già state fatte le somme dei carichi sensibili e di quelli dovuti all'impianto. Per avere un'idea effettiva dei consumi della casa, supponendo di utilizzare un impianto di geotermia ad aria per ottimizzare i consumi, è opportuno calcolare gli apporti di raffrescamento e riscaldamento all'edificio del geotermico e sottrarli al consumo dell'HVAC.

L'apporto del geotermico all'edificio può essere calcolato grazie al software GAEA, che disponendo dei dati riguardanti il predimensionamento di massima dei tubi interrati, la temperatura annuale del sito, il volume del fabbricato da servire e la tipologia di terreno, riesce a fare un calcolo dell'energia annuale da fornire all'edificio.

Immagine 11.8 - Risultati del calcolo del geotermico per l'edificio D tramite il software GAEA.



L'impianto geotermico ad aria, rifornendosi dall'area boschiva che si trova nei pressi del sito, può offrire un apporto annuale in termini di riscaldamento pari a circa 2863,5 kWh, mentre per il raffrescamento si ha un valore di 1530,8 kWh. Tali dati vanno a integrare gli apporti dati all'edificio.

Il dimensionamento è stato fatto considerando l'utilizzo di almeno 2 tubi interrati e considerando un volume di 712 m³.

Calcolo carichi integrati con l'apporto geotermico

Tabella 11.2 - Tabella del calcolo del carico energetico annuale dell'edificio, considerando le differenze tra gli apporti del geotermico e quelle del resto dell'impianto.

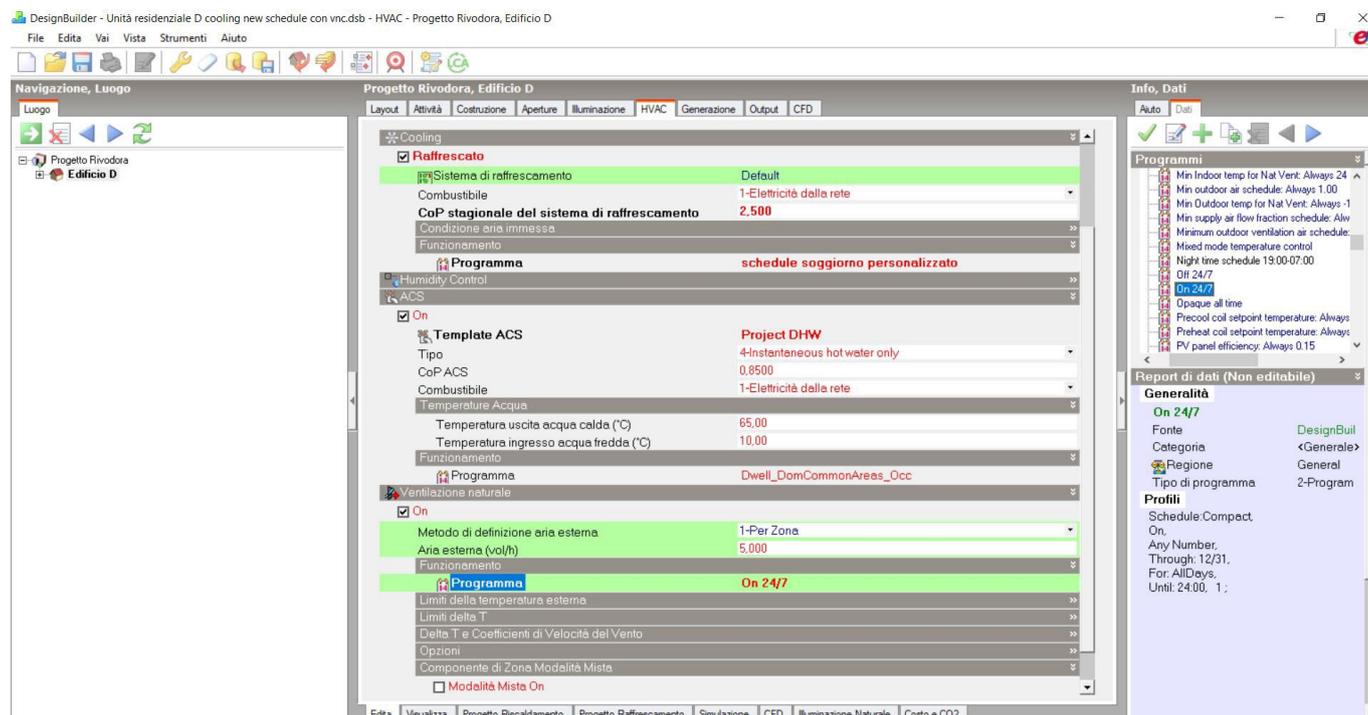
Parametro	U.M.	Riscaldamento	Raffrescamento
FAN (Fabbisogno annuo netto)	kWh	3384	4598
Contributo del sistema EHX	kWh	2863,5	1138
Riduzione del FAN dovuta a EHX	%	84,6	33,3
	kWh	520,3	3066,8
Indici efficienza	-	0,9	2,5
Fabbisogno di Energia consegnata con EHX	kWh	578,1	1226,7
Consumo a m ²	$\frac{kWh}{m^2}$	4,45	9,44

Il carico annuale effettivo dell'edificio è pari a circa 578,1 kWh, mentre per il raffrescamento si ha un valore di 1226,7 kWh.

Il contributo di energia dato dall'impianto geotermico all'edificio per il riscaldamento è pari a circa il 84,6%, mentre per il raffrescamento si parla del 33,3%.

Caso 2 - Caso di valutazione del sistema HVAC con l'uso della VNC

Immagine 11.9 - Impostazioni del sistema HVAC dell'edificio oggetto della simulazione.



In questo secondo caso la simulazione è svolta sempre su periodo annuale, ma invece dell'utilizzo della ventilazione meccanica si ipotizza di utilizzare la VNC: è quindi importante settare le impostazioni di controllo della ventilazione, programmando sempre in base all'occupazione dei locali abitativi. Il sistema risulta comunque ibrido in quanto è in funzione l'impianto di raffrescamento, ma la VNC integra con il suo apporto il fabbisogno complessivo dell'edificio.

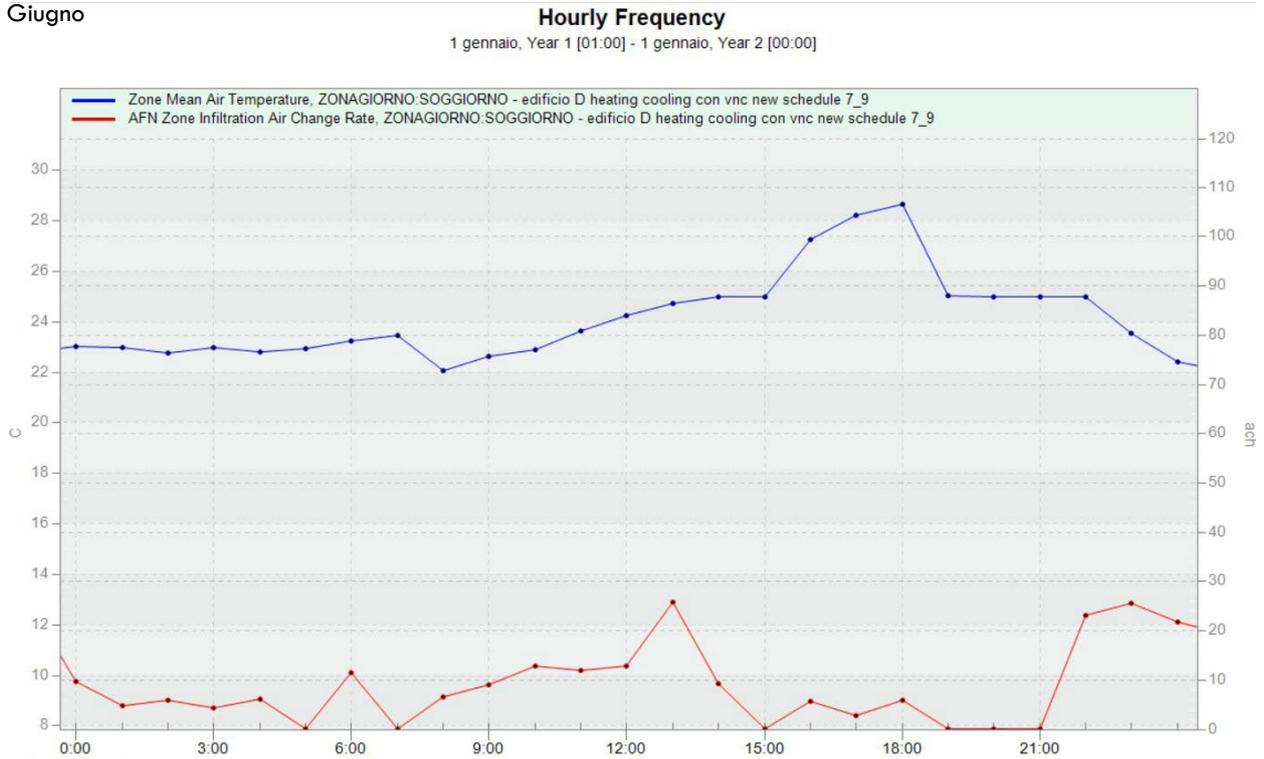
Come già nel caso precedente, sono stati impostati gli schedule, ovvero tabelle orarie, di funzionamento dell'impianto in modo tale da avere il minor quantitativo possibile di sprechi e consumi. La modifica delle tabelle orarie è fatta partendo dal modello predefinito offerto dal programma che, come accennato all'inizio del paragrafo riferito a questo argomento, autodimensiona l'impianto HVAC sulla base di normative standard di requisiti. La caratteristica particolarmente interessante di Design Builder è proprio il fatto che ciascun modello può essere implementato secondo i requisiti richiesti dallo specifico progetto, fino a poter dimensionare autonomamente gli impianti richiesti.

Nel caso presente la programmazione oraria di funzionamento dell'impianto è stata decisa sulla base delle supposizioni riguardanti gli orari di occupazione dell'ambiente, il che fa supporre che, in un normale giorno lavorativo la parte centrale della giornata veda una drastica riduzione della presenza di occupanti, ad esempio, del soggiorno, mentre mattino e sera sono le ore di maggior densità abitativa dell'area, considerando inoltre che il soggiorno è composto da un enorme open space in cui è compresa anche la cucina. La stessa operazione è stata condotta nella pianificazione dell'impianto per la camera da letto, prediligendo però in questo caso le tarde ore della sera e le prime ore del mattino come momento di massima occupazione.

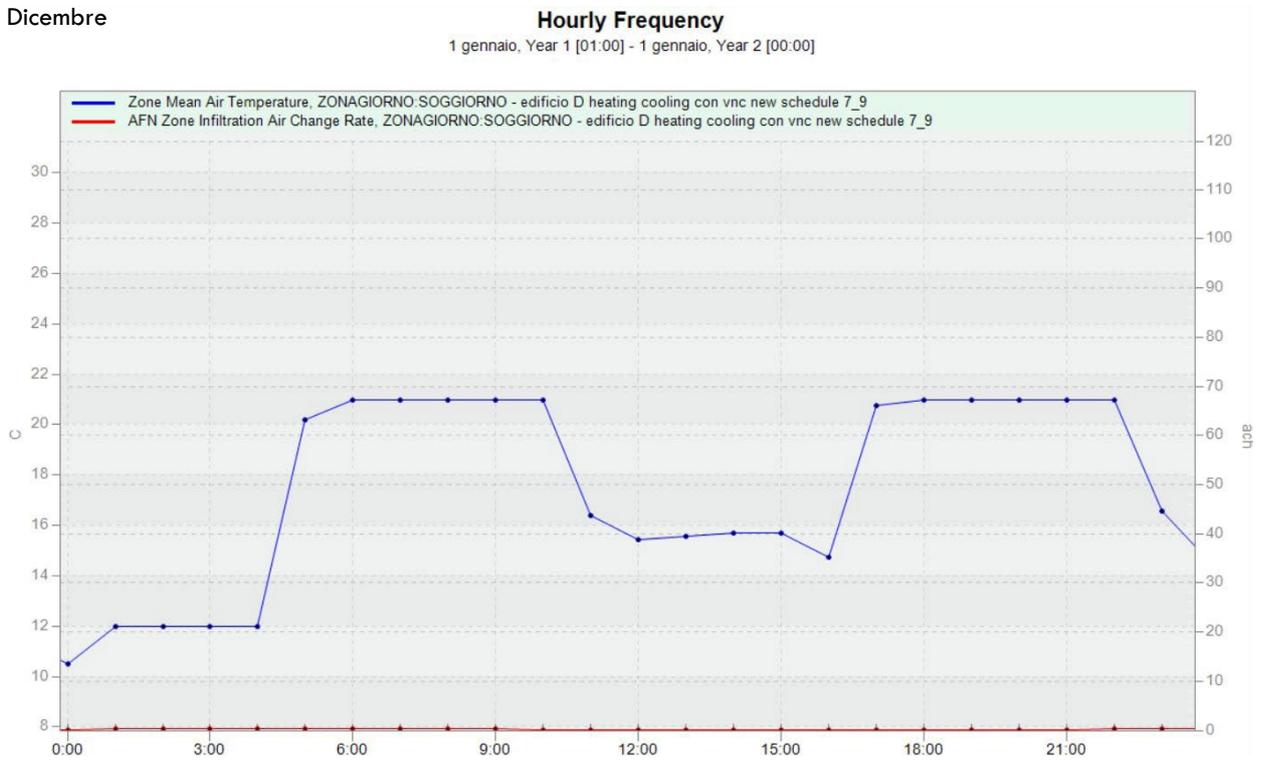
Tutti questi valori sono suddivisi per giorni lavorativi, weekends e giorni di vacanza: in ogni momento dell'anno quindi, è possibile riprogrammare l'impianto in funzione delle variazioni delle abitudini dei suoi occupanti, il che permette di ricreare condizioni il più realistiche possibili.

Immagine 11.10 - Grafici a frequenza oraria generati da DB che illustrano la situazione termica dell'edificio: (a) riferito al 21 Giugno; (b) riferito al 21 Dicembre; (c) riferito a un giorno estivo con il più alto valore di temperatura.

(a) 21 Giugno



(b) 21 Dicembre



(c) 14 Luglio

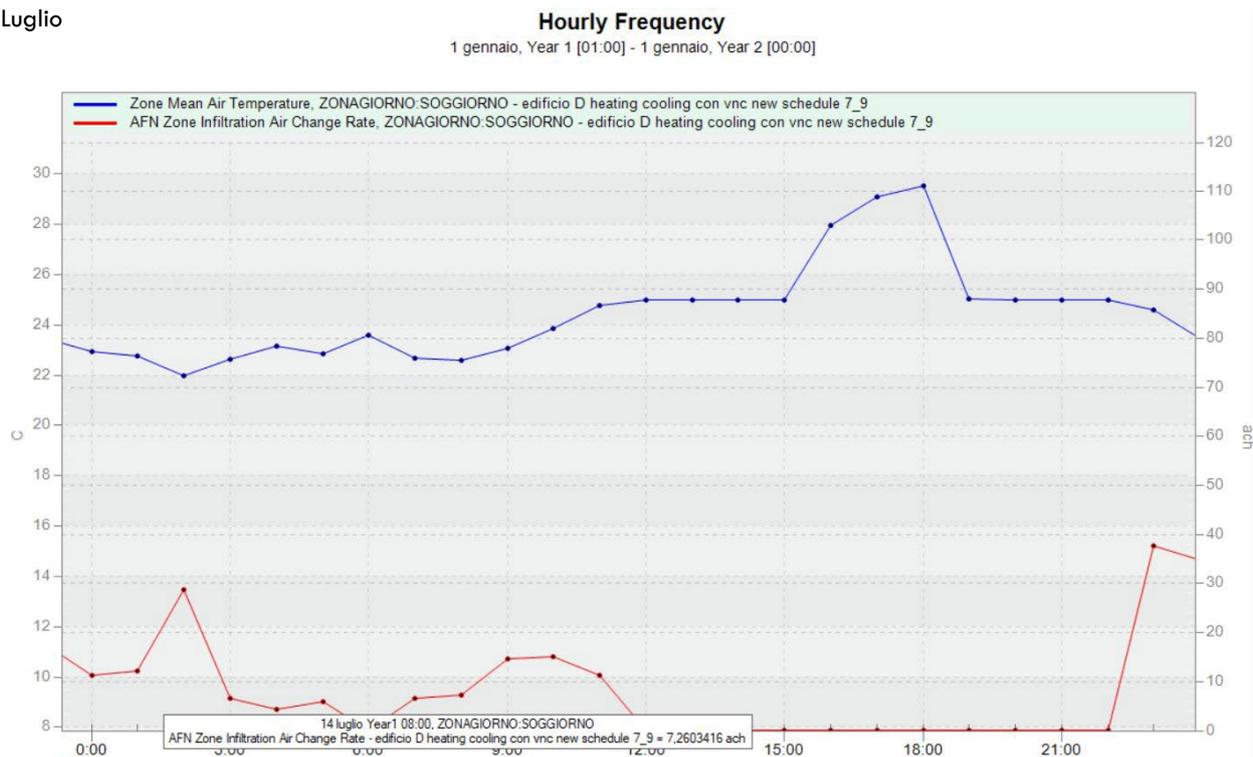


Tabella 11.3 - Tabella con la somma dei valori annuali rappresentativi del consumo energetico dell'edificio.

Data/Ora	Riscaldamento Sensibile di Zona	Raffrescamento Sensibile di Zona	Temperatura Aria	Temperatura Radiante	Temperatura Operante	Riscaldamento (Gas)	Raffrescamento (Elettricità)	ACS (Elettricità)	Temperatura Esterna a Bulbo Secco
	kWh	kWh	°C	°C	°C	kWh	kWh	kWh	°C
01/01/2002	585,66	0,00	12,54	12,45	12,50	657,12	0,00	145,64	-0,15
01/02/2002	489,49	0,00	13,95	13,84	13,90	549,16	0,00	131,69	1,51
01/03/2002	101,28	0,00	18,90	19,17	19,03	113,45	0,00	146,01	7,03
01/04/2002	20,6	0,95	21,60	22,27	21,94	39,54	0,47	140,99	10,67
01/05/2002	0,00	24,11	22,78	23,92	23,35	51,11	10,97	145,64	15,51
01/06/2002	0,00	163,61	23,70	25,18	24,44	53,95	95,53	141,36	19,06
01/07/2002	0,00	292,73	24,40	26,05	25,23	28,84	152,48	145,64	21,66
01/08/2002	0,00	189,77	24,05	25,51	24,78	30,78	115,34	145,83	20,36
01/09/2002	0,00	20,39	23,13	24,09	23,61	39,57	11,17	141,17	17,01
01/10/2002	100,6	0,00	21,25	21,53	21,39	22,25	0,00	145,64	11,63
01/11/2002	290,64	0,00	16,28	16,26	16,27	325,63	0,00	141,17	5,65
01/12/2002	547,42	0,00	13,38	13,26	13,32	614,12	0,00	145,83	1,40
SOMMA	4232	691,57				4702	385,96	1716,62	
a mq	15,64	5,32				19,43	2,97	13,20	

Anche in questo secondo caso sono già state fatte le somme e il calcolo al metro quadro degli apporti sensibili e di quelli dovuti all'impianto. Dopo aver sommato questi carichi si possono sottrarre tali risultati a quelli ottenuti tramite la simulazione dei carichi dell'impianto geotermico, per vedere l'entità della riduzione apportata al fabbisogno energetico dell'edificio dalla geotermia.

Calcolo carichi integrati con l'apporto geotermico

Tabella 11.4 - Tabella del calcolo del carico energetico effettivo dell'edificio, considerando le differenze tra gli apporti del geotermico e quelle del resto dell'impianto.

Parametro	U.M.	Riscaldamento	Raffrescamento
FAN (Fabbisogno annuo netto)	kWh	4232 ¹	691,5
Contributo del sistema EHX	kWh	2863,5	1530,8
Riduzione del FAN dovuta a EHX	%	67,7	221,4
	kWh	1368,5	0
Indici efficienza	-	0,9	2,5
Fabbisogno di Energia consegnata con EHX	kWh	809	0
Consumo a m ²	$\frac{kWh}{m^2}$	6,22	0

1. Il carico di riscaldamento risulta aumentato rispetto a quello ottenuto nel caso senza VNC poiché nel progetto sono inclusi anche i carichi di stagioni intermedie, per cui il carico di riscaldamento comprende anche lo scendere delle temperature notturne.

Il guadagno annuale in termini di riscaldamento dato dalla combinazione di geotermico con l'impianto HVAC combinato all'uso di VNC è pari a circa 809 kWh, mentre quello del raffrescamento è addirittura superiore al fabbisogno, poiché esso viene ridotto proprio grazie al geotermico.

La riduzione del fabbisogno annuale netto di riscaldamento dell'edificio grazie al geotermico è del 77 %, mentre per il raffrescamento si riduce del 34 %.

Rispetto ai risultati ottenuti con il sistema che non utilizzava la VNC, i consumi vengono considerevolmente ridotti, e quindi la conclusione è che il secondo caso presenti un impianto più efficiente del primo.

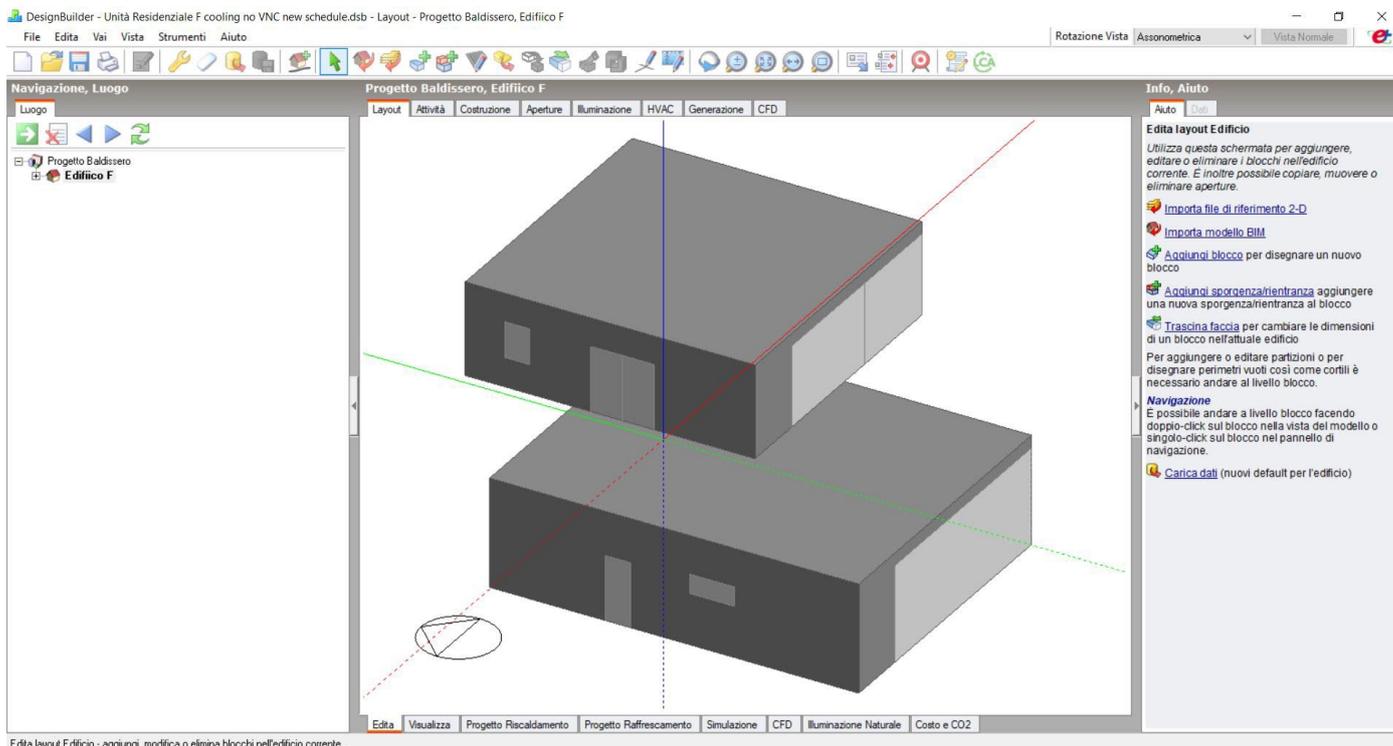
Simulazione dei carichi sull'Edificio F

La stessa procedura viene eseguita per la simulazione dell'edificio F, che per volumetria e conformazione geometrica è molto diverso rispetto alle altre residenze progettate, quindi il fabbisogno energetico ha necessariamente dei valori differenti rispetto agli altri tre edifici, soprattutto in termini di dispersioni termiche maggiori dovute al fatto che il fabbricato in questione ha una conformazione meno regolare e compatta e una grossa percentuale di superficie vetrata.

L'impostazione del modello è la stessa dell'edificio D, quindi sia la descrizione dell'assetto tecnologico e costruttivo dell'edificio sia le caratteristiche dell'impianto HVAC rimangono le stesse: anche in questo caso vengono studiate le condizioni termiche dell'edificio nelle due condizioni già utilizzate per la simulazione energetica dell'edificio D.

Modellazione dell'edificio - Schermata iniziale di Design Builder

Immagine 11.11 - Edificio F visto nel suo complesso.



Lo scopo della simulazione è quello di ricreare le stesse condizioni e osservare le differenze nei consumi all'interno delle due tipologie: data la conformazione geometrica meno compatta del volume F rispetto agli altri, si suppone che necessiti di un fabbisogno maggiore di energia per il proprio sostentamento. L'obiettivo finale, a seguito del confronto, è poi quello di fare una stima del fabbisogno energetico complessivo del lotto di progetto, per diverse condizioni di carico analizzate, che sottolineino le differenze nell'utilizzo delle diverse fonti di energia.

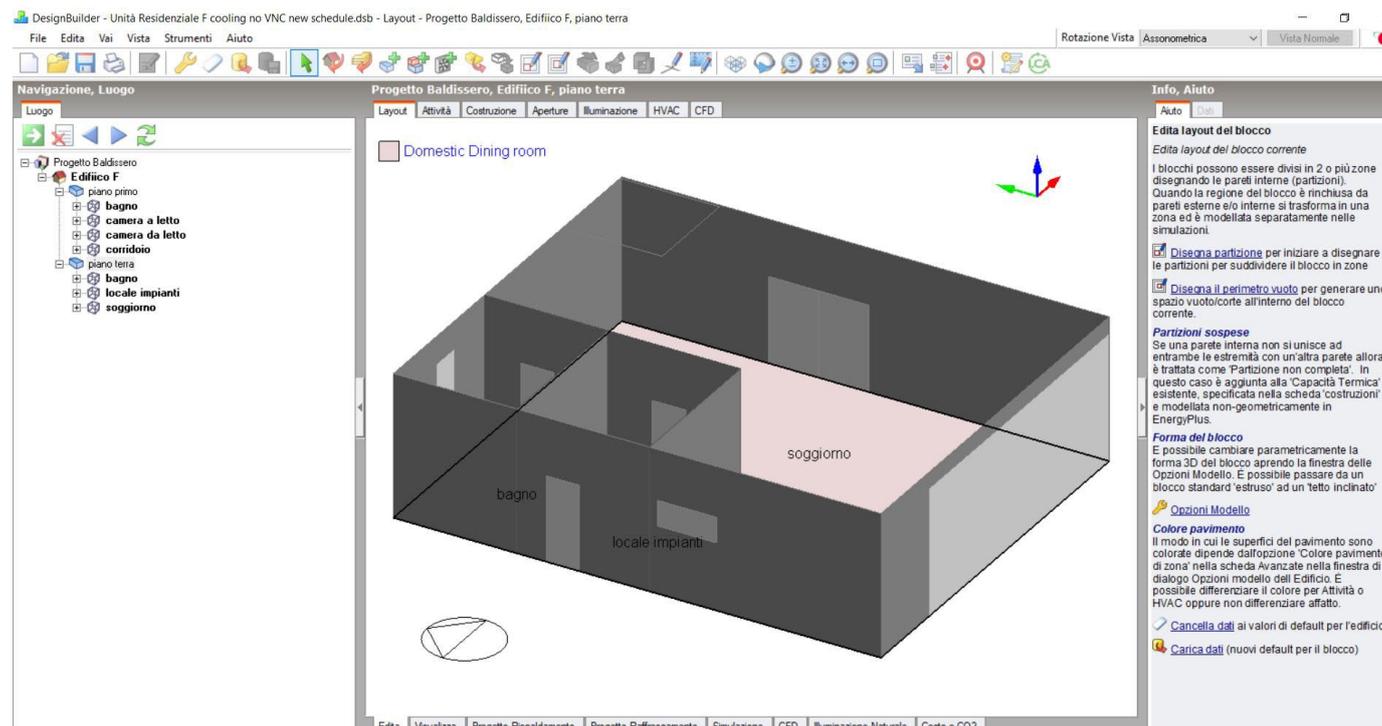
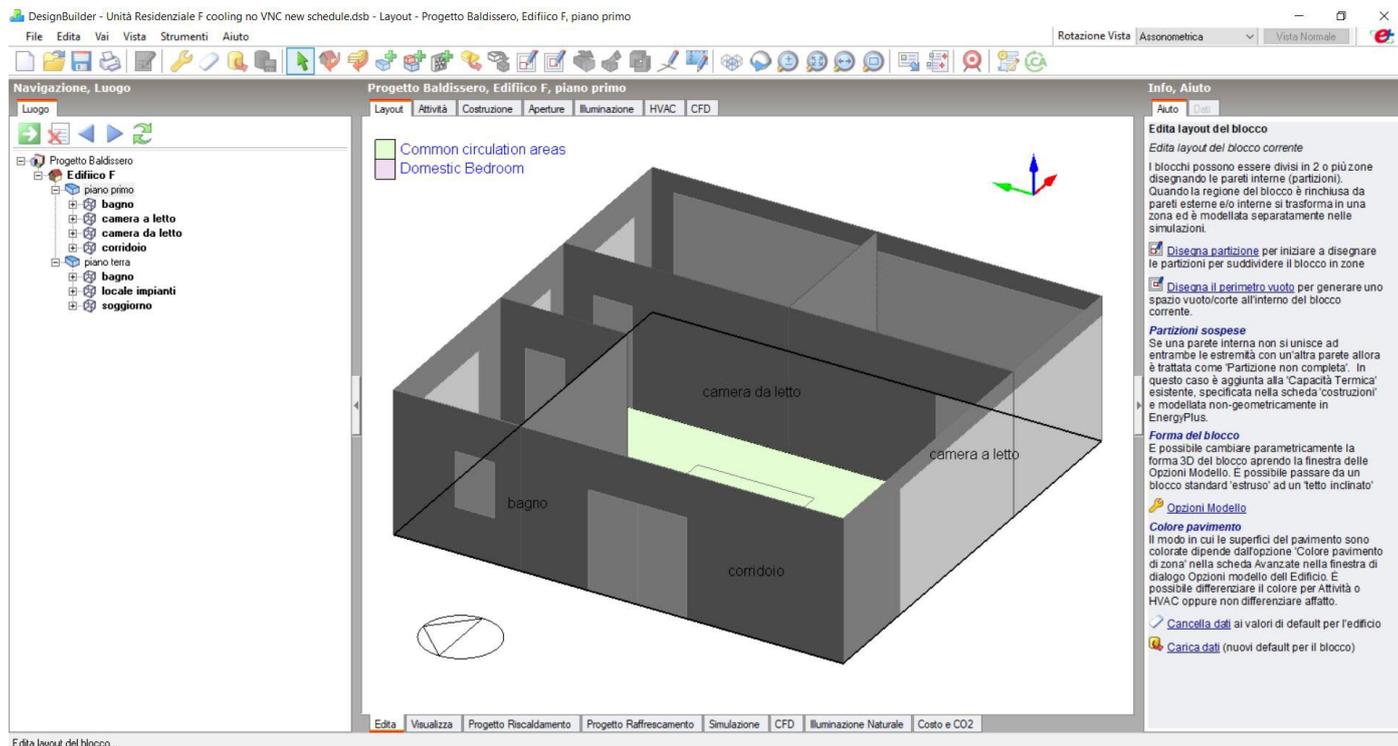


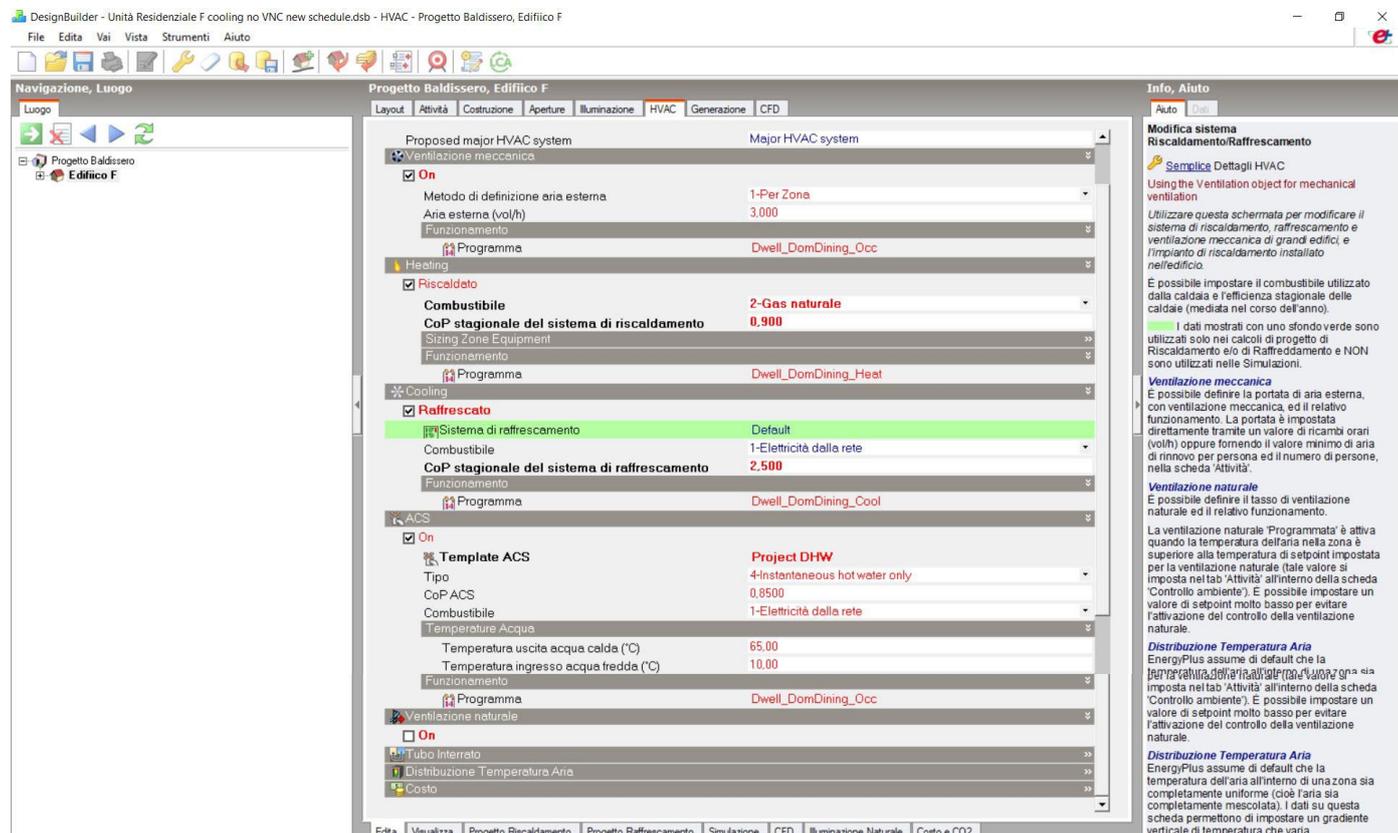
Immagine 11.12 - Vista del Blocco 1 del modello.

Immagine 11.13- Vista del Blocco 2 del modello.



Caso 1 - Simulazione del sistema HVAC senza l'utilizzo di VNC

Immagine 11.14 - Impostazioni del sistema HVAC dell'edificio oggetto della simulazione.

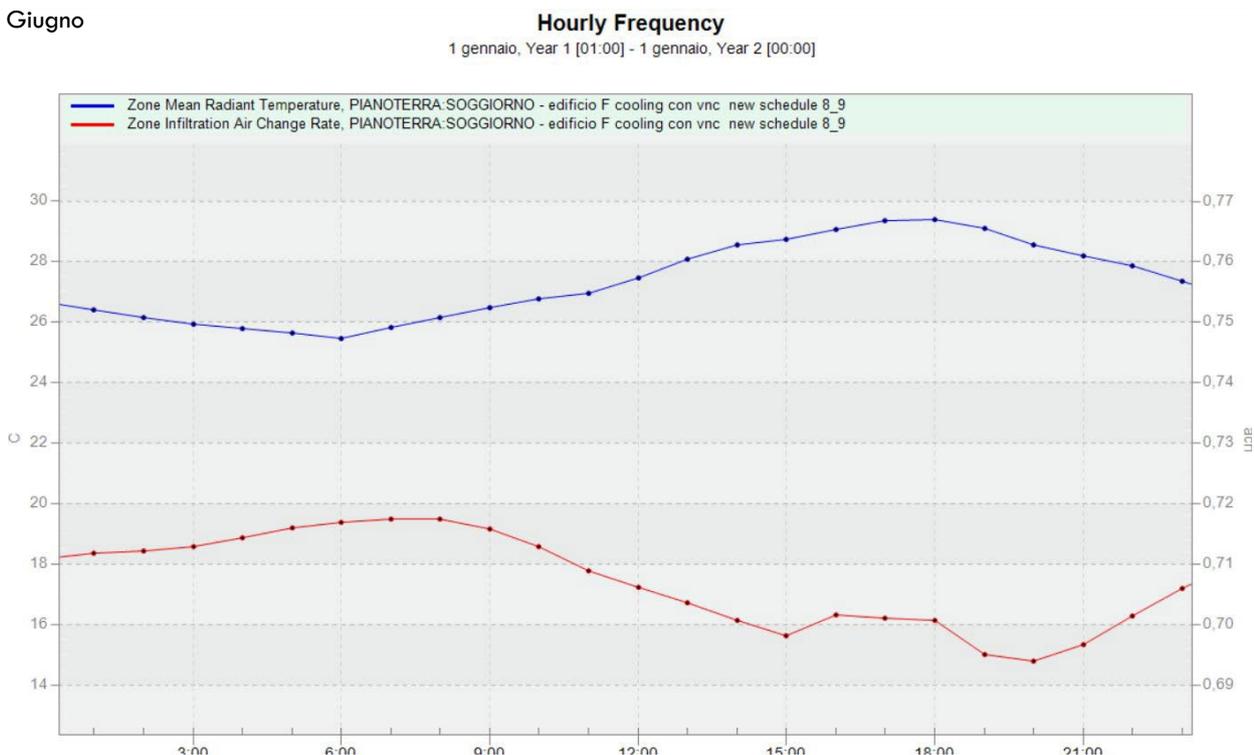


Anche in questo caso viene eseguita la simulazione dei consumi dell'ACS - Acqua Calda Sanitaria.

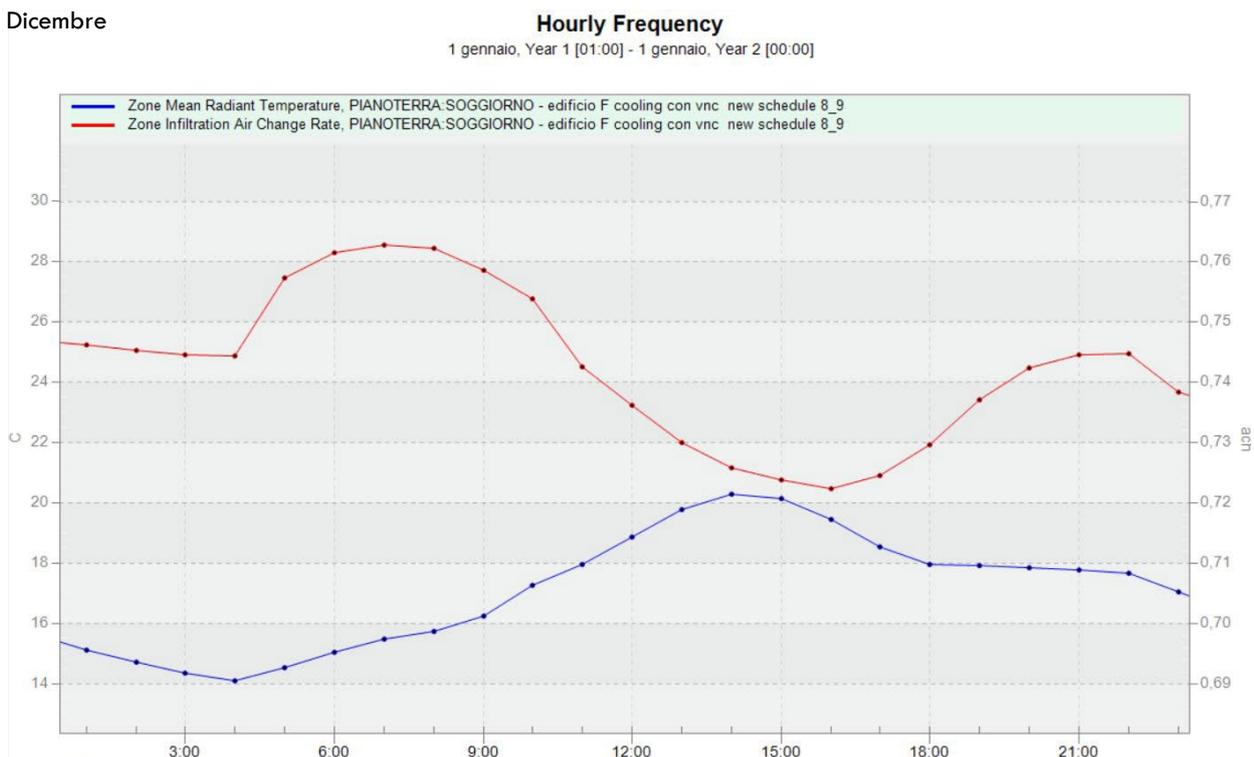
I valori per l'HVAC sono gli stessi settati per la simulazione sull'edificio D, e viene quindi avviata la simulazione per il fabbisogno annuale come nel precedente caso.

Immagine 11.15 - Grafici orari generati da DB che illustrano la situazione termica dell'edificio: (a) riferito al 21 Giugno; (b) riferito al 21 Dicembre; (c) riferito a un giorno avente il valore più alto di temperatura.

(a) 21 Giugno



(b) 21 Dicembre



(c) 14 Luglio

Hourly Frequency

1 gennaio, Year 1 [01:00] - 1 gennaio, Year 2 [00:00]

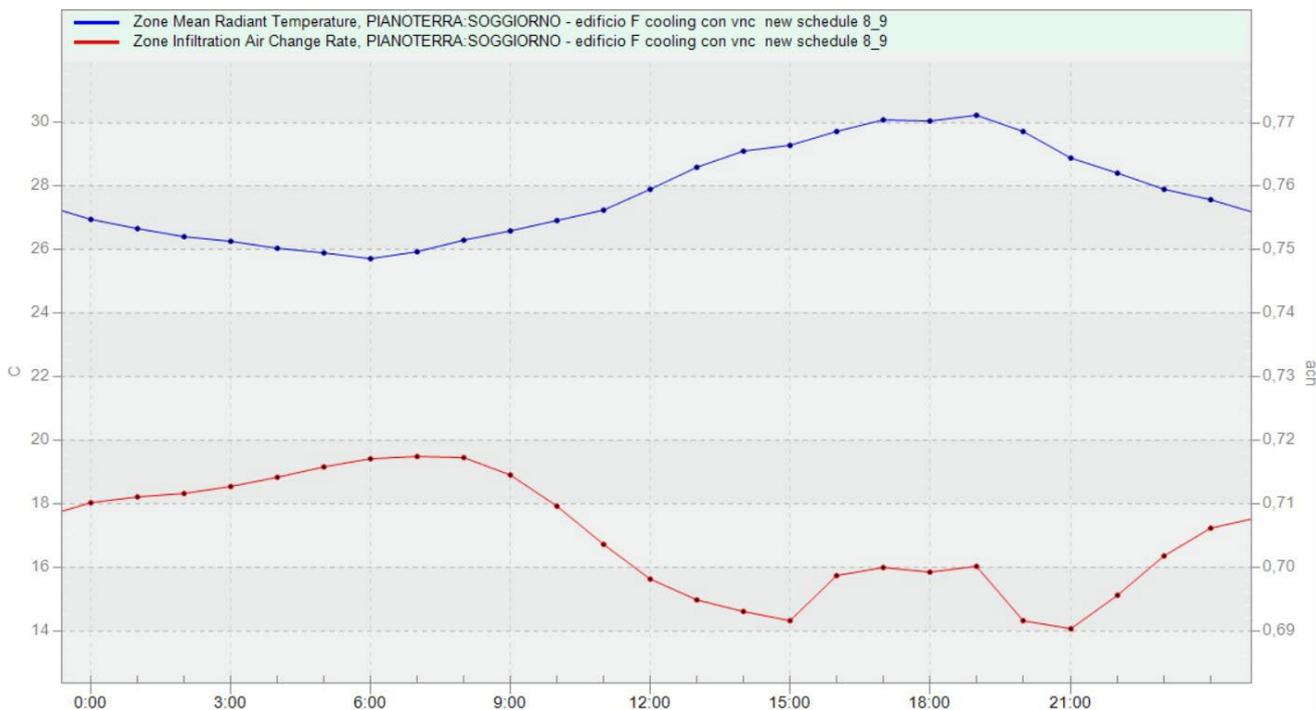


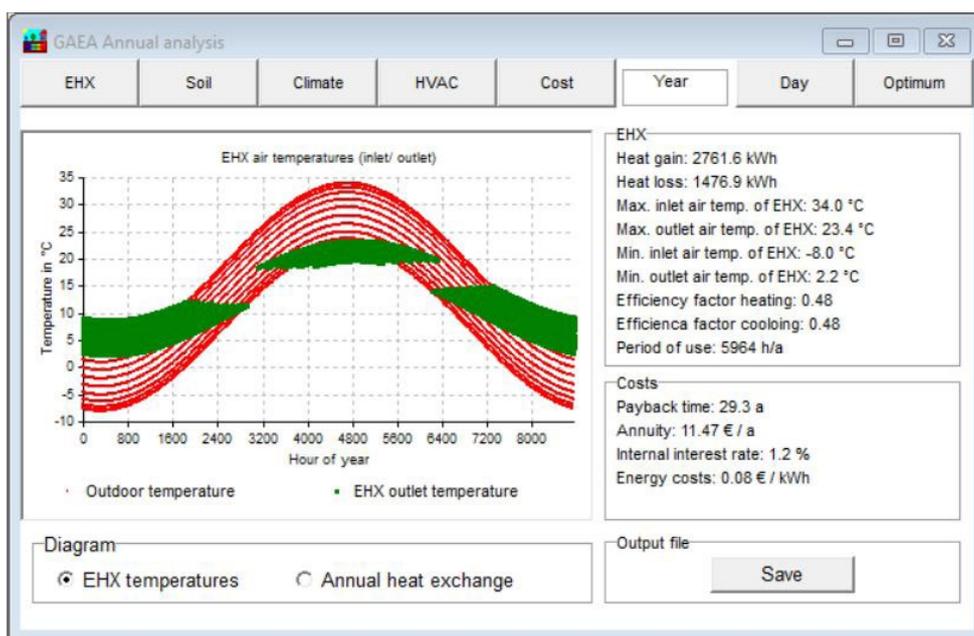
Tabella 11.5 - Tabella con la somma dei valori annuali rappresentativi del consumo energetico dell'edificio.

Data/Ora	Riscaldamento Sensibile di Zona	Raffrescamento Sensibile di Zona	Temperatura Aria	Temperatura Radiante	Temperatura Operante	Elettricità Stanza	Illuminazione	Riscaldamento (Gas)	Raffrescamento (Elettricità)	ACS (Elettricità)	Temperatura Esterna a Bulbo Secco
	kWh	kWh	°C	°C	°C	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	°C
01/01/2002	1720,12	0	14,42	14,62	14,52	150,87	477,97	1911,24	0	283,53	-0,15
01/02/2002	1194,78	0	15,62	16,1	15,86	136,27	432,37	1327,54	0	255,2	1,51
01/03/2002	220,94	6,01	19,85	21,16	20,51	150,87	479,66	245,49	2,51	281,24	7,03
01/04/2002	4,64	177,33	23,46	25,08	24,27	146	462,77	5,15	76,85	274,09	10,67
01/05/2002	0,13	703,99	25,7	27,45	26,58	150,87	477,97	0,15	320,36	283,53	15,51
01/06/2002	0	1376,08	27,22	29,26	28,24	146	464,46	0	661,38	271,8	19,06
01/07/2002	0	1885,62	27,96	30,13	29,05	150,87	477,97	0	903,92	283,53	21,66
01/08/2002	0	1688,82	27,68	29,83	28,76	150,87	478,82	0	827,69	282,38	20,36
01/09/2002	0	878,95	26,16	27,95	27,06	146	463,62	0	410,28	272,94	17,01
01/10/2002	54,24	50,68	21,86	23,06	22,46	150,87	477,97	60,27	23,11	283,53	11,63
01/11/2002	898,22	0	16,8	17,24	17,02	146	463,62	998,03	0	272,94	5,65
01/12/2002	1626,95	0	14,7	14,82	14,76	150,87	478,82	1807,73	0	282,38	1,4
SOMMA	5720,02	6767,48						6355,6	3226,1	3327,09	
A MQ	48,07	56,87						53,41	27,11	27,96	

Anche in questo caso sono già stati sommati i carichi sensibili e quelli dovuti all'impianto per ottenere il fabbisogno annuo netto. Per avere un'idea effettiva dei consumi della casa è opportuno calcolare gli apporti di raffrescamento e riscaldamento all'edificio dell'impianto geotermico ad aria e integrarli all'impianto principale.

L'apporto del geotermico viene, anche in questo caso, calcolato tramite il software GAEA, grazie al quale si ipotizza il contributo del geotermico da apportare all'edificio considerando un volume totale di circa 712 m³, supponendo di utilizzare due tubi interrati, e considerando come dati climatici e valori limite di temperatura gli stessi già precedentemente utilizzati per l'edificio D.

Immagine 11.16 - Risultati del calcolo del geotermico per l'edificio D tramite il software GAEA.



Il contributo annuale per il riscaldamento dell'edificio dato dal geotermico è pari a circa 2762 kWh, mentre per il raffrescamento si ha un valore di 1477 kWh.

Calcolo carichi integrati con l'apporto geotermico

Tabella 11.6 - Tabella del calcolo del carico energetico annuale effettivo dell'edificio, considerando le differenze tra gli apporti del geotermico e quelle del resto dell'impianto.

Parametro	U.M.	Riscaldamento	Raffrescamento
FAN (Fabbisogno annuo netto)	kWh	5720	6767
Contributo del sistema EHX	kWh	2761,7	1477
Riduzione del FAN dovuta a EHX	%	48,3	22
	kWh	2958	5290,6
Indici efficienza	-	0,9	2,5
Fabbisogno di Energia consegnata con EHX	kWh	3287	2116
Consumo a m ²	$\frac{kWh}{m^2}$	27,6	17,8

Il carico annuale effettivamente consegnato all'edificio è pari a circa 2958 kWh, mentre per il raffrescamento si ha un valore di 5290,6 kWh.

Il contributo di energia dato dall'impianto geotermico all'edificio per il riscaldamento è pari a circa il 48,3 % del fabbisogno effettivo, mentre per il raffrescamento si parla del 22 %.

Caso 2 - Simulazione del sistema HVAC con l'uso della VNC

Immagine 11.17 - Impostazioni del sistema HVAC dell'edificio oggetto della simulazione.

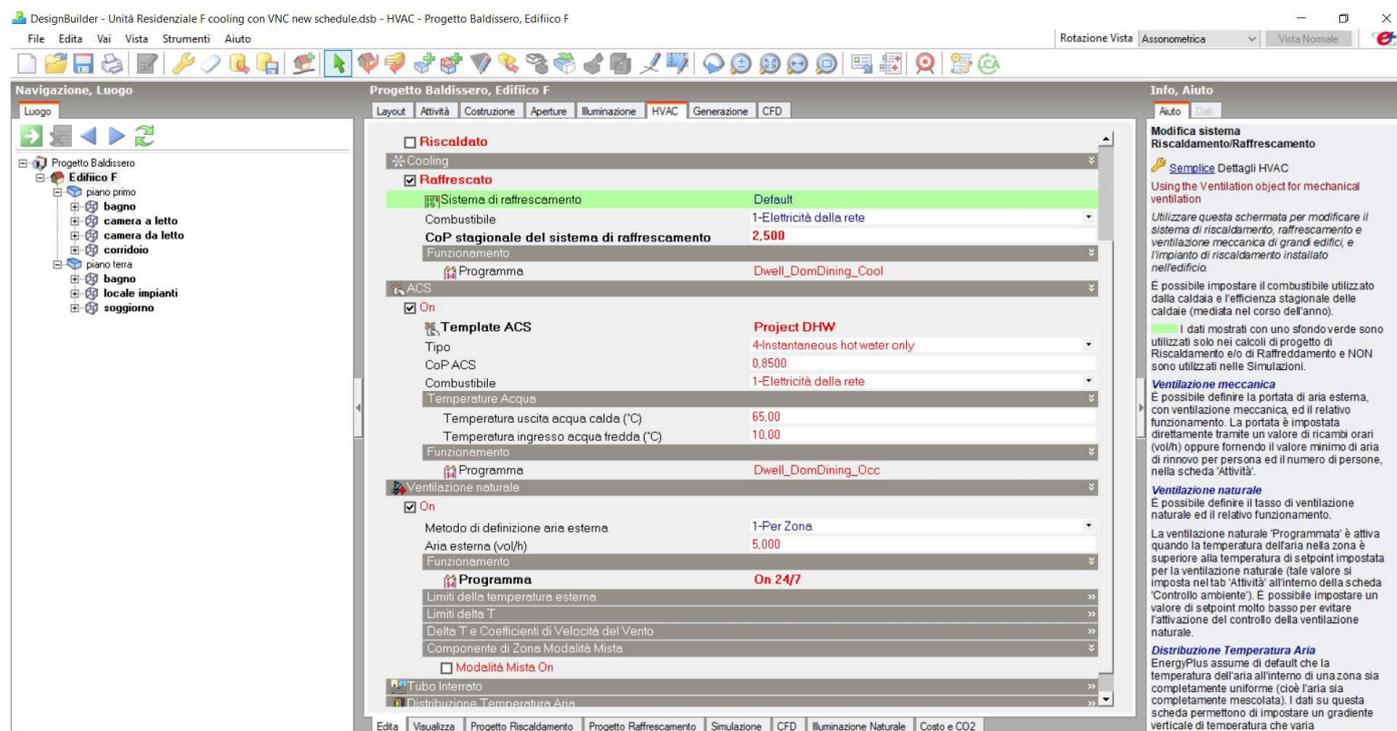
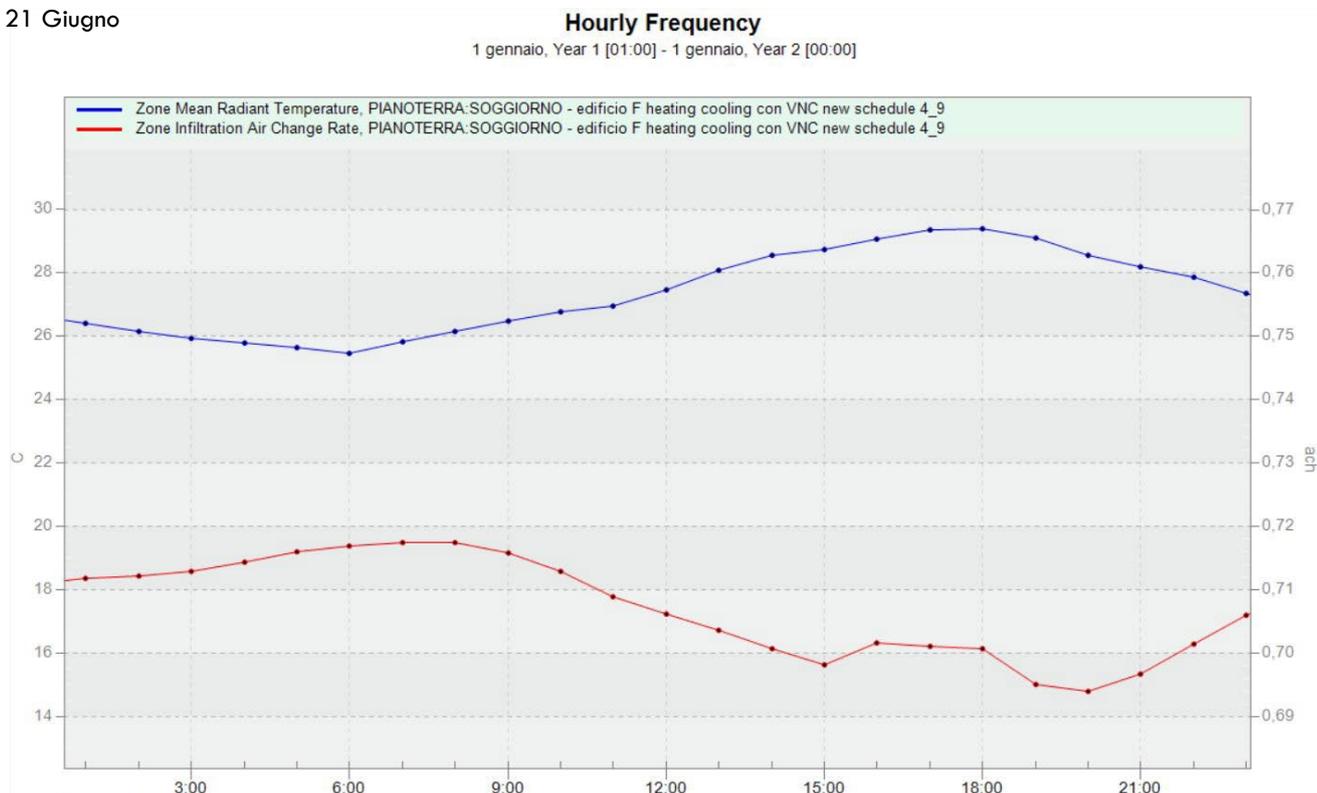


Immagine 11.18 - Grafici orari generati da DB che illustrano la situazione termica dell'edificio: (a) riferito al 21 Giugno; (b) riferito al 21 Dicembre; (c) riferito a un giorno dell'anno avente i più alti valori di temperatura.

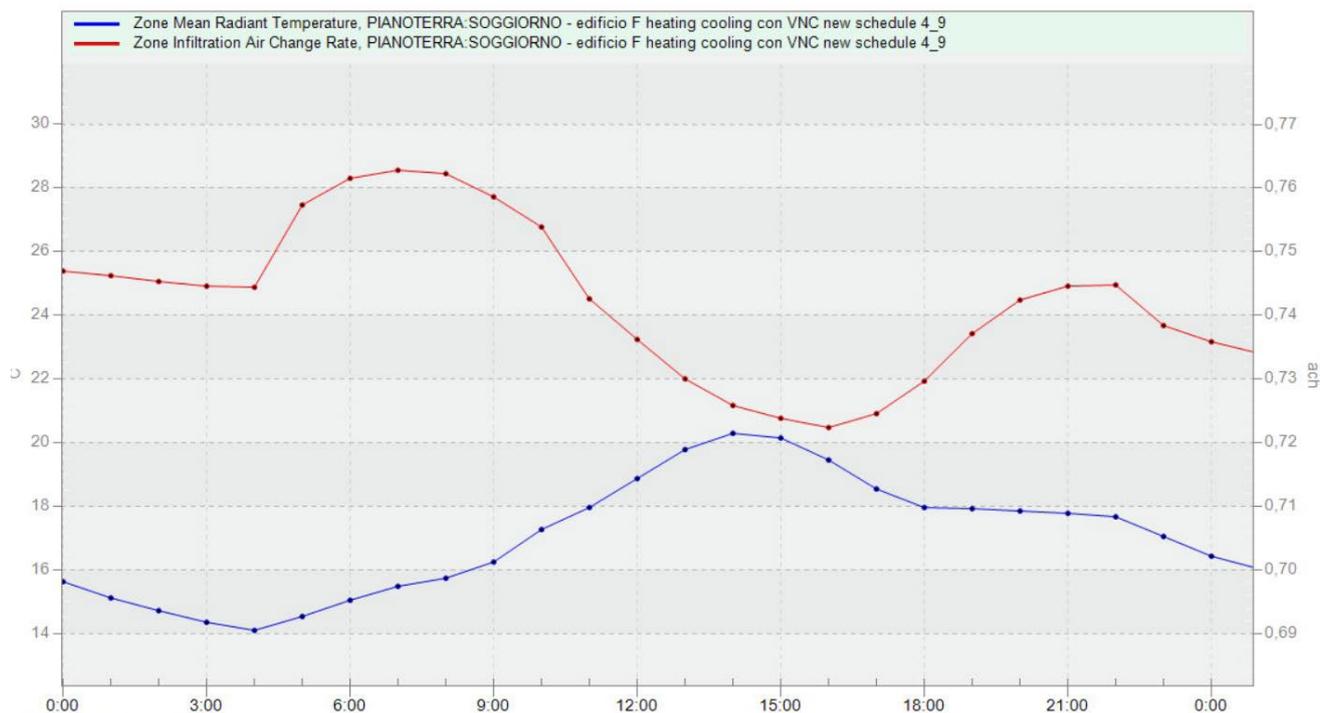
(a) 21 Giugno



(b) 21 Dicembre

Hourly Frequency

1 gennaio, Year 1 [01:00] - 1 gennaio, Year 2 [00:00]



(c) 14 Luglio

Hourly Frequency

1 gennaio, Year 1 [01:00] - 1 gennaio, Year 2 [00:00]

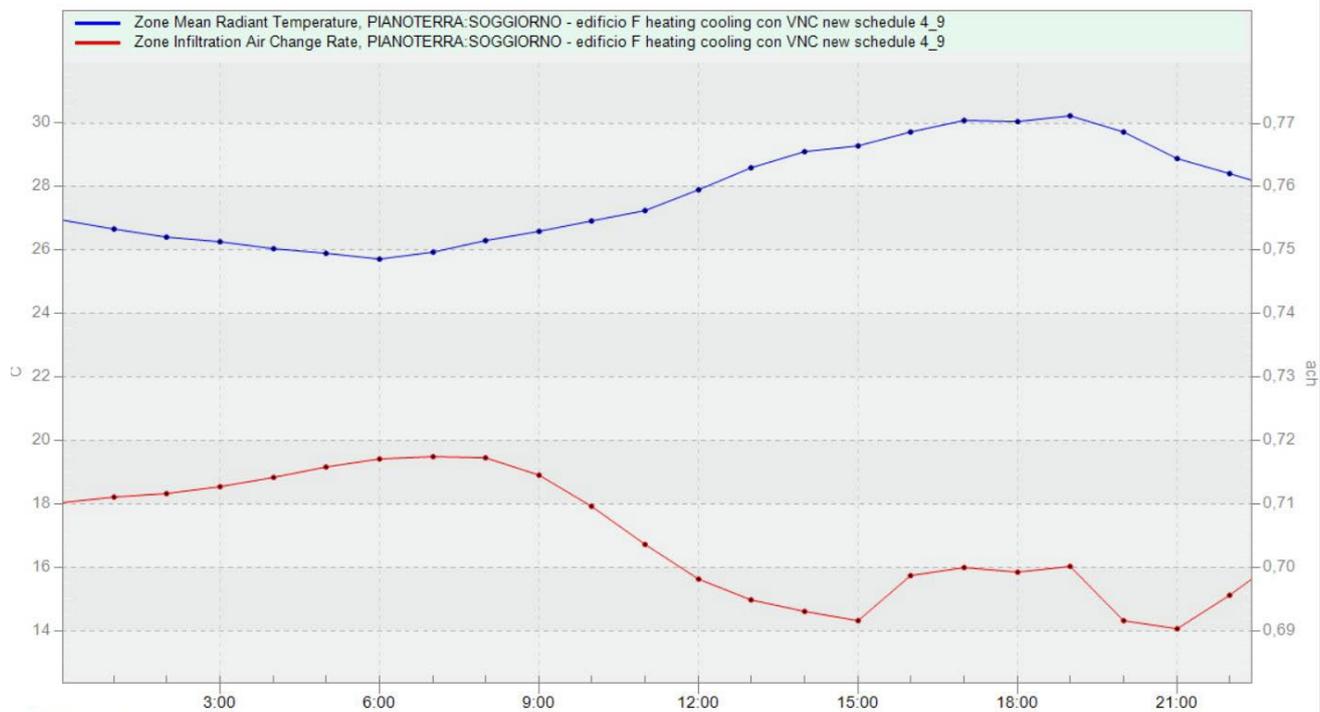


Tabella 11.7 - Tabella con la somma dei valori annuali di consumo energetico dell'edificio.

Data/Ora	Riscaldamento Sensibile di Zona	Raffrescamento Sensibile di Zona	Temperatura Aria	Temperatura Radiante	Temperatura Operante	Riscaldamento (Gas)	Raffrescamento (Elettricità)	ACS (Elettricità)	Temperatura Esterna a Bulbo Secco
	kWh	kWh	°C	°C	°C	kWh	kWh	kWh	°C
37257,00	2099,03	0,00	16,57	16,45	16,51	2332,25	0,00	296,35	-0,15
37288,00	1432,15	0,05	17,43	17,68	17,55	1591,28	0,02	267,35	1,51
37316,00	249,01	8,61	20,27	21,53	20,90	276,68	3,60	295,53	7,03
37347,00	8,93	4,88	22,26	24,03	23,15	9,93	2,14	286,68	10,67
37377,00	0,77	158,54	23,92	25,87	24,90	0,86	72,53	296,35	15,51
37408,00	0,00	520,25	25,11	27,41	26,26	0,00	262,16	285,86	19,06
37438,00	0,00	945,61	25,88	28,32	27,10	0,00	461,91	296,35	21,66
37469,00	0,00	746,64	25,40	27,85	26,62	0,00	373,74	295,94	20,36
37500,00	0,00	238,28	24,25	26,26	25,25	0,00	112,21	286,27	17,01
37530,00	61,18	0,08	21,29	22,54	21,92	67,98	0,04	296,35	11,63
37561,00	1001,29	0,00	17,62	17,91	17,77	1112,55	0,00	286,27	5,65
37591,00	1964,46	0,00	16,61	16,44	16,52	2182,73	0,00	295,94	1,40
SOMMA	6816,82	2622,93				7574,24	1288,34	3485,22	
A MQ	57,28	22,04				63,65	10,83	29,29	

Anche in questo secondo caso sono già state fatte le somme dei carichi sensibili e di quelli dovuti all'impianto. Dopo aver sommato questi carichi si possono sottrarre i carichi sensibili estivi a quelli dell'impianto geotermico annuale, per vedere qual'è il carico netto di energia apportata nella stagione estiva.

Calcolo carichi integrati con l'apporto geotermico

Tabella 11.8 - Tabella del calcolo del carico energetico estivo effettivo dell'edificio, considerando le differenze tra gli apporti del geotermico e quelle del resto dell'impianto.

Parametro	U.M.	Riscaldamento	Raffrescamento
FAN (Fabbisogno annuo netto)	kWh	6817	2623
Contributo del sistema EHX	kWh	2761,6	1477
Riduzione del FAN dovuta a EHX	%	40,5	56,3
	kWh	4055	1146
Indici efficienza	-	0,9	2,5
Fabbisogno di Energia consegnata con EHX	kWh	4089	458,4
Consumo a m ²	$\frac{kWh}{m^2}$	34,4	3,9

Il guadagno annuale in termini di riscaldamento dato dalla combinazione di geotermico con l'impianto HVAC combinato all'uso di VNC è pari a circa 4055 kWh, mentre quello del raffrescamento è di 1146 kWh.

La riduzione del fabbisogno annuale netto dell'edificio per il riscaldamento grazie al geotermico è del 40,5 %, mentre per il raffrescamento è del 56 %.

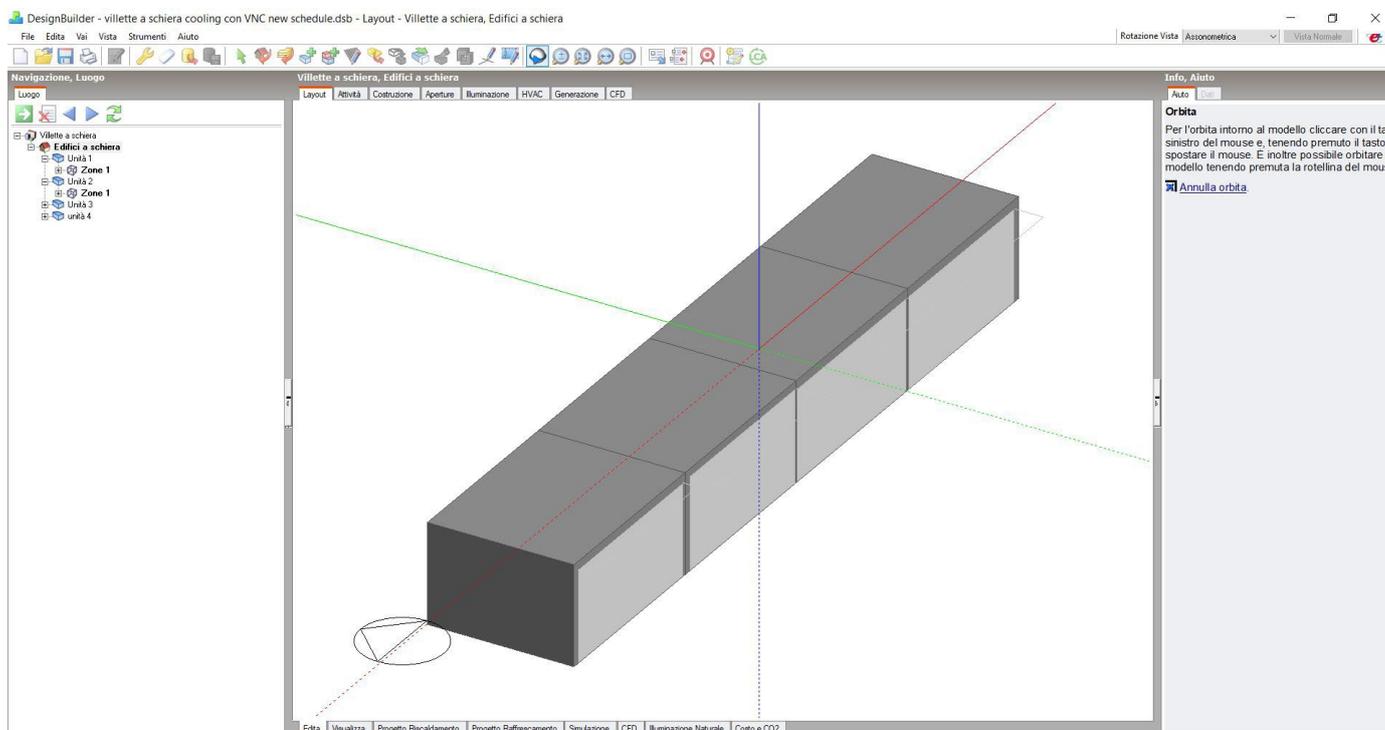
Rispetto ai risultati ottenuti con il sistema che non utilizzava la VNC, i consumi vengono considerevolmente ridotti, e quindi la conclusione è che il secondo caso presenti un impianto più efficiente del primo.

11.3.2 Confronto con un caso studio di una diversa tipologia edilizia

Simulazione del fabbisogno energetico di edifici residenziali a schiera

Dopo aver simulato i carichi dei singoli edifici in progetto, ci si è chiesti quali sarebbero stati i consumi se invece di avere molti edifici singoli si fosse progettata una stecca di edifici a schiera: avendo ogni unità abitativa delle superfici comunicanti con quelle affianco, in teoria le dispersioni energetiche avrebbero dovuto essere limitate grazie alla trasmissione interna di calore attraverso i muri comunicanti, che avrebbero dovuto accumularne una quantità maggiore. Si è deciso quindi di simulare il caso di edifici a schiera, nella quale ogni unità abitativa avesse lo stesso volume e distribuzione interna analoga a quelli dell'edificio D, così da fare un confronto più esatto. Anche in questo caso la simulazione è stata eseguita tramite il software Design Builder, in cui sono stati inseriti i medesimi dati dei casi studio precedenti, sia per quanto riguarda le scelte del sistema tecnologico, sia per il sistema HVAC..

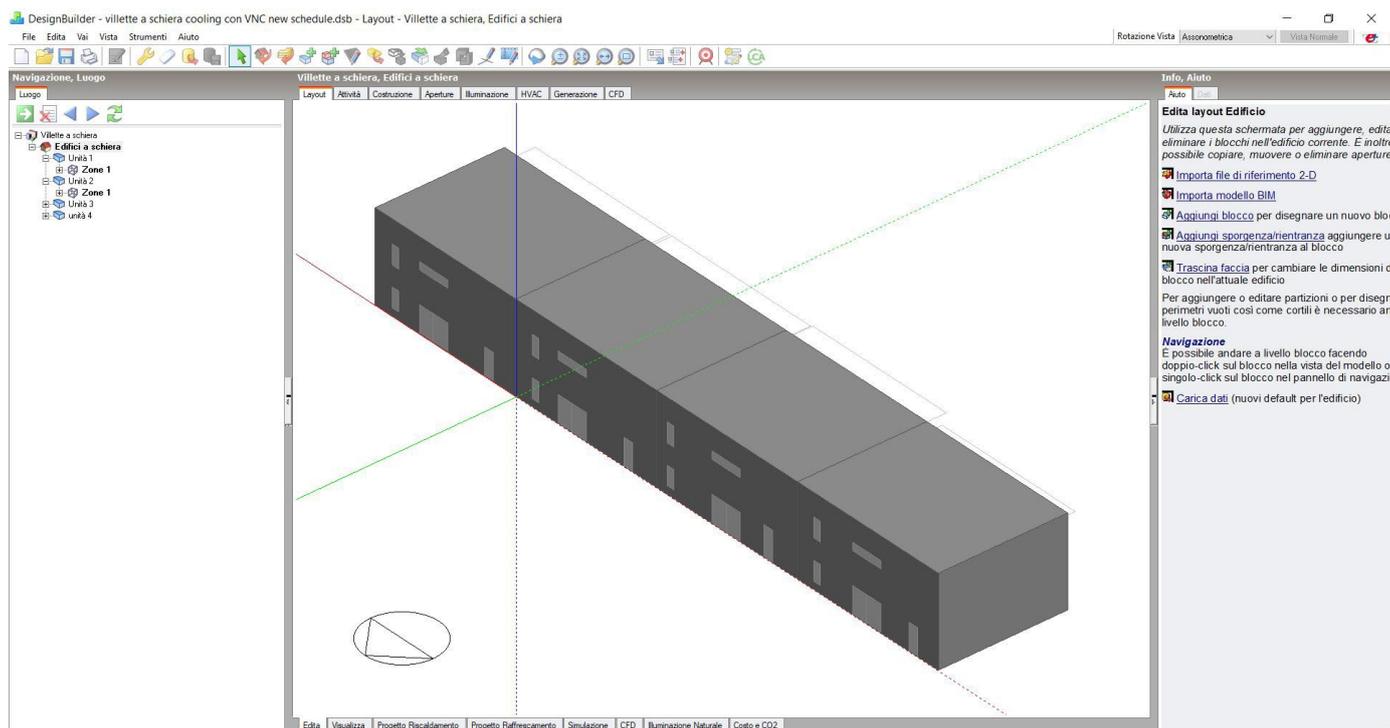
Immagine 11.19 - Immagine d'insieme del complesso di villette a schiera ipotizzato.



Per il confronto delle due diverse soluzioni progettuali è fondamentale che le scelte tecnologiche rimangano esattamente le stesse. Le schedule di programmazione oraria dell'impianto utilizzate per determinare il funzionamento dell'impianto sono rimaste invariate rispetto al caso in cui si analizzavano gli edifici isolati, poichè avendo sempre una destinazione residenziale, si presume che le unità abitative abbiano sempre le stesse caratteristiche di occupazione degli spazi, che sono determinate a seconda della zona dell'abitazione.

L'orientamento degli edifici è fatto in modo da avere quasi la totalità della superficie vetrata verso est, mentre in questo caso la parete sud e nord non hanno aperture perchè possono usufruirne solamente gli edifici più esterni, quindi altre aperture si trovano sulla parete ovest.

Immagine 11.20 - Immagine del lato ovest dell'insieme del complesso di villette a schiera ipotizzato.

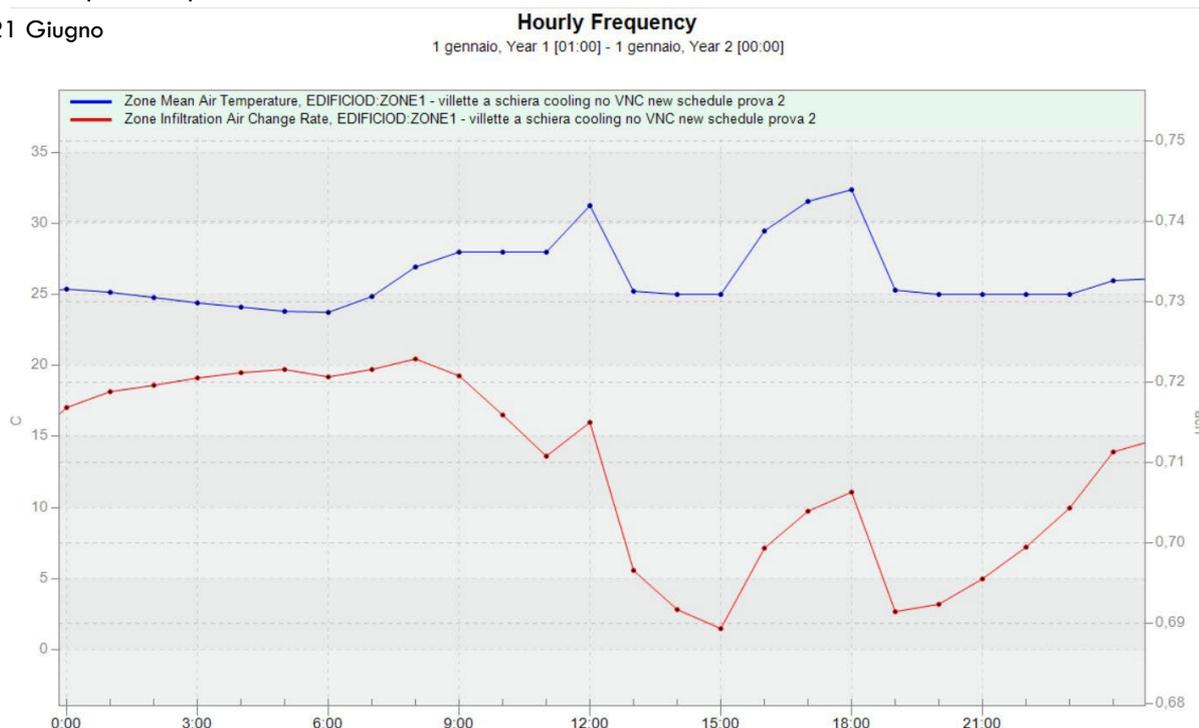


Caso 1 - Simulazione del sistema HVAC senza l'utilizzo di VNC

Dopo aver creato il modello tridimensionale viene fatta partire la prima simulazione, in cui si ipotizza di utilizzare un impianto HVAC che non utilizza la VNC, inserendo gli stessi dati di sistema che sono già stati impostati per le precedenti simulazioni. Vengono quindi generati dei grafici il cui principale scopo è quello di illustrare l'andamento del carico in relazione alla temperatura interna.

Immagine 11.21 - Grafici di andamento dei valori di temperatura dell'aria interna correlati al tasso di ventilazione naturale generati dalla simulazione del programma: (a) riferito al 21 Giugno; (b) riferito al 21 Dicembre; (c) riferito al giorno dell'anno con i valori di temperatura più alti.

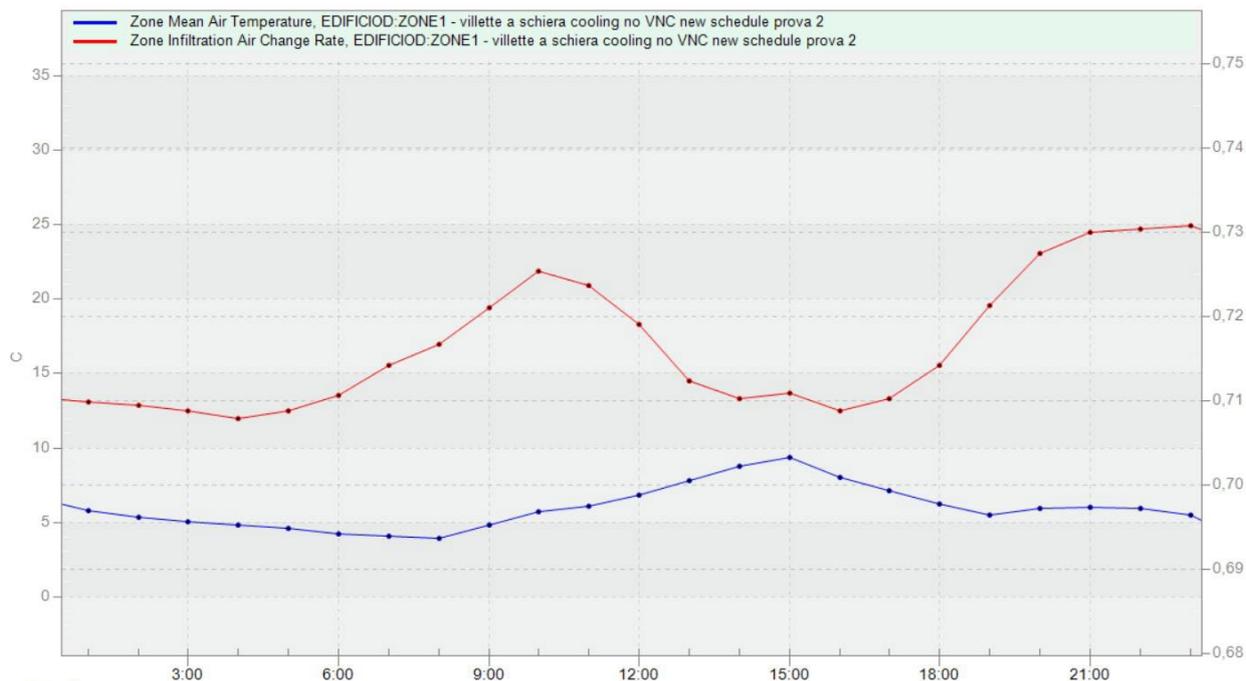
(a) 21 Giugno



(b) 21 Dicembre

Hourly Frequency

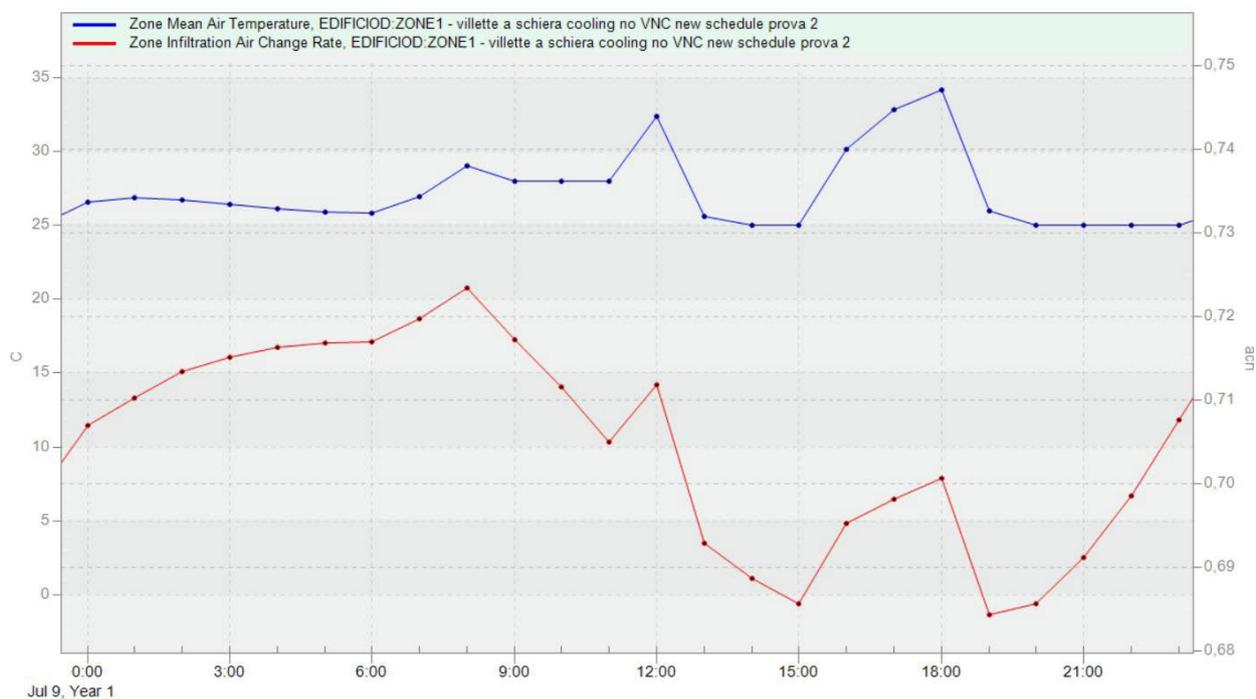
1 gennaio, Year 1 [01:00] - 1 gennaio, Year 2 [00:00]



(c) 3 Luglio

Hourly Frequency

1 gennaio, Year 1 [01:00] - 1 gennaio, Year 2 [00:00]



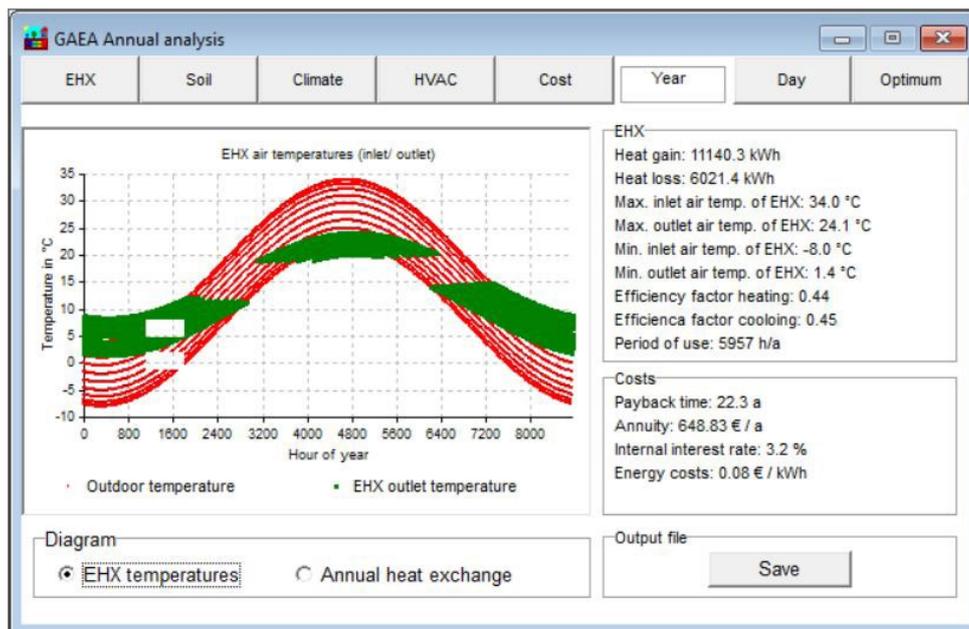
Dai grafici elaborati da DB sul caso degli edifici a schiera, si osserva un abbassamento della temperatura dell'aria rispetto ai casi precedenti, in cui i livelli di temperatura estivi avevano valori superiori di almeno 4°C rispetto a quello che riscontriamo in questo caso, in cui durante il giorno nelle ore più calde si raggiungono picchi di 28 °C. Questo significa che dal punto di vista del raffrescamento le strategie attuate risultano sicuramente più efficienti nel caso della stecca di edifici a schiera.

Tabella 11.9 - Tabella con la somma dei valori annuali del fabbisogno energetico.

Data/Ora	Riscaldamento Sensibile di Zona	Raffrescamento Sensibile di Zona	Temperatura Aria	Temperatura Radiante	Temperatura Operante	Elettricità Stanza	Illuminazione	Riscaldamento (Gas)	Raffrescamento (Elettricità)	ACS (Elettricità)
	kWh	kWh	°C	°C	°C	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
01/01/2002	2615,92	0,00	6,14	6,39	6,26	563,21	1205,85	3498,74	0,00	1072,59
01/02/2002	2162,85	0,00	10,39	10,94	10,67	508,71	1091,87	2832,26	0,00	964,21
01/03/2002	947,04	0,00	16,52	17,81	17,16	563,21	1212,86	1236,42	0,00	1060,76
01/04/2002	4,25	1032,95	21,62	23,62	22,62	545,04	1167,86	6,47	3,12	1036,46
01/05/2002	3,48	3960,20	24,25	26,80	25,53	563,21	1205,85	5,46	484,27	1072,59
01/06/2002	0,02	6541,20	25,54	28,59	27,06	545,04	1174,87	0,00	1389,35	1024,64
01/07/2002	0,21	8146,23	26,01	29,16	27,58	563,21	1205,85	0,00	2287,68	1072,59
01/08/2002	0,05	6115,88	25,65	28,41	27,03	563,21	1209,36	0,00	1348,74	1066,68
01/09/2002	0,02	2682,82	24,31	26,41	25,36	545,04	1171,36	0,00	235,95	1030,55
01/10/2002	571,34	276,72	18,52	19,73	19,12	563,21	1205,85	740,21	1,51	1072,59
01/11/2002	2049,12	0,00	11,77	12,17	11,97	545,04	1171,36	2659,41	0,00	1030,55
01/12/2002	2643,49	0,00	6,93	7,10	7,01	563,21	1209,36	3494,79	0,00	1066,68
SOMMA	10997,80	28755,99						14473,75	5750,62	12570,87
A MQ	21,15	55,30						27,83	11,06	24,17

La tabella mostra i carichi di fabbisogno energetico per l'intero complesso di unità abitative della fascia a schier. Per avere un'idea effettiva dei consumi viene fatto il calcolo al m², a cui vengono poi aggiunti gli apporti dell'impianto di geotermia, per il cui predimensionamento vengono tenute presenti le intere dimensioni della stecca e l'utilizzo di 8 condotti interrati, ovvero due tubi al servizio di ciascuna unità abitativa.

Immagine 11.22 - Risultati del calcolo del geotermico per l'edificio D tramite il software GAEA.



Il contributo annuale per il riscaldamento dell'edificio dato dal geotermico è pari a circa 11140,3 kWh, mentre per il raffrescamento si ha un valore di 6021,4 kWh.

Calcolo carichi integrati con l'apporto geotermico

Tabella 11.10 - Tabella con le modifiche apportate dal geotermico al fabbisogno energetico di ciascuna unità abitativa.

Parametro	U.M.	Riscaldamento	Raffrescamento
FAN (Fabbisogno annuo netto)	kWh	10997,8	28756
Contributo del sistema EHX	kWh	11140	6021
Riduzione del FAN dovuta a EHX	%	101,3	20,9
	kWh	0	22735
Indici efficienza	-	0,9	2,5
Fabbisogno di Energia consegnata con EHX	kWh	0	9094
Consumo a m ²	$\frac{kWh}{m^2}$	0	17,5

Il carico annuale effettivo di riscaldamento dell'edificio è pari a 0 kWh, mentre per il raffrescamento si ha un valore di 9094 kWh.

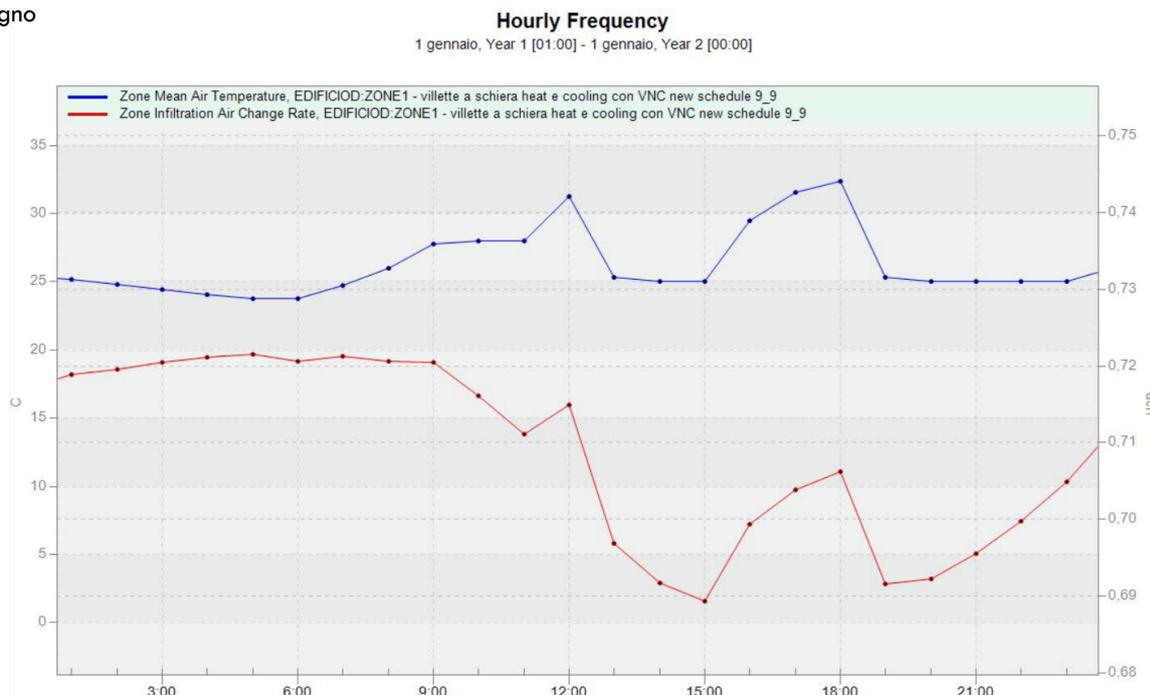
Il contributo di energia dato dall'impianto geotermico all'edificio per il riscaldamento è pari al 101% , mentre per il raffrescamento si parla circa del 30%.

Caso 2 - Simulazione del sistema HVAC con l'utilizzo di VNC

L'ultimo caso di simulazione sull'edificio a schiera è quello che ipotizza un'impianto ibrido con l'utilizzo di VNC integrata al sistema di controllo termico dell'edificio.

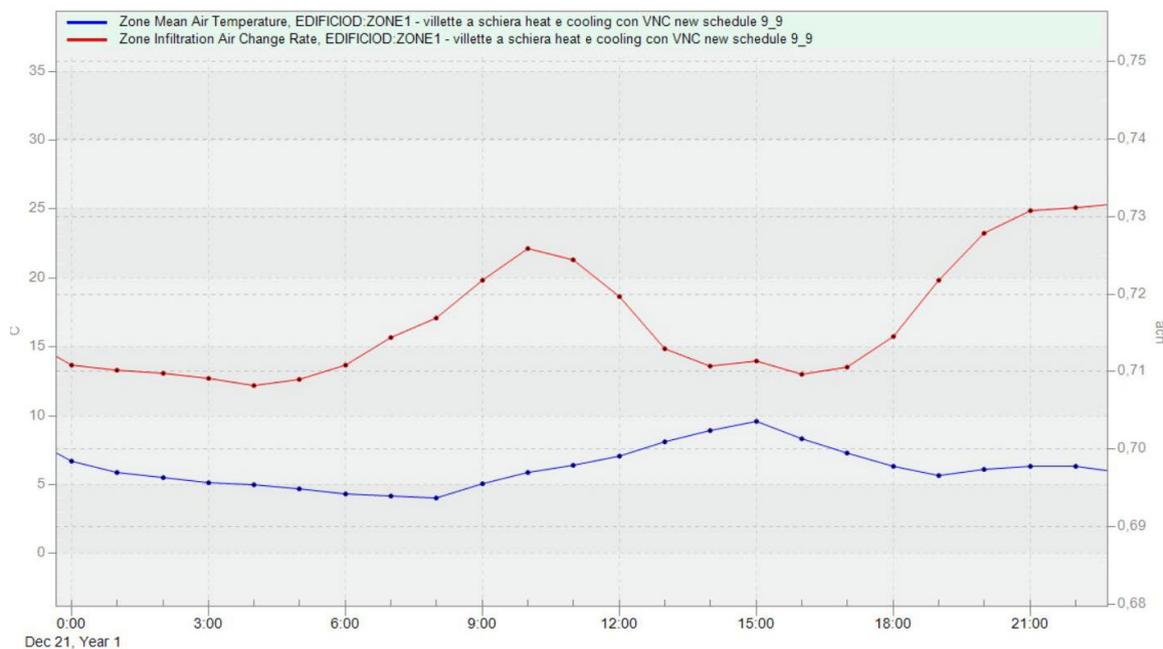
Immagine 11.23 - Grafici di andamento della temperatura correlati al tasso di ventilazione naturale generati dalla simulazione del programma: (a) riferito al 21 Giugno, (b) riferito al 21 Dicembre, (c) riferito a un giorno avente il valore di temperatura più alto nell'anno.

(a) 21 Giugno



(b) 21 Dicembre

1 gennaio, Year 1 [01:00] - 1 gennaio, Year 2 [00:00]



(c) 9 Luglio

Hourly Frequency

1 gennaio, Year 1 [01:00] - 1 gennaio, Year 2 [00:00]

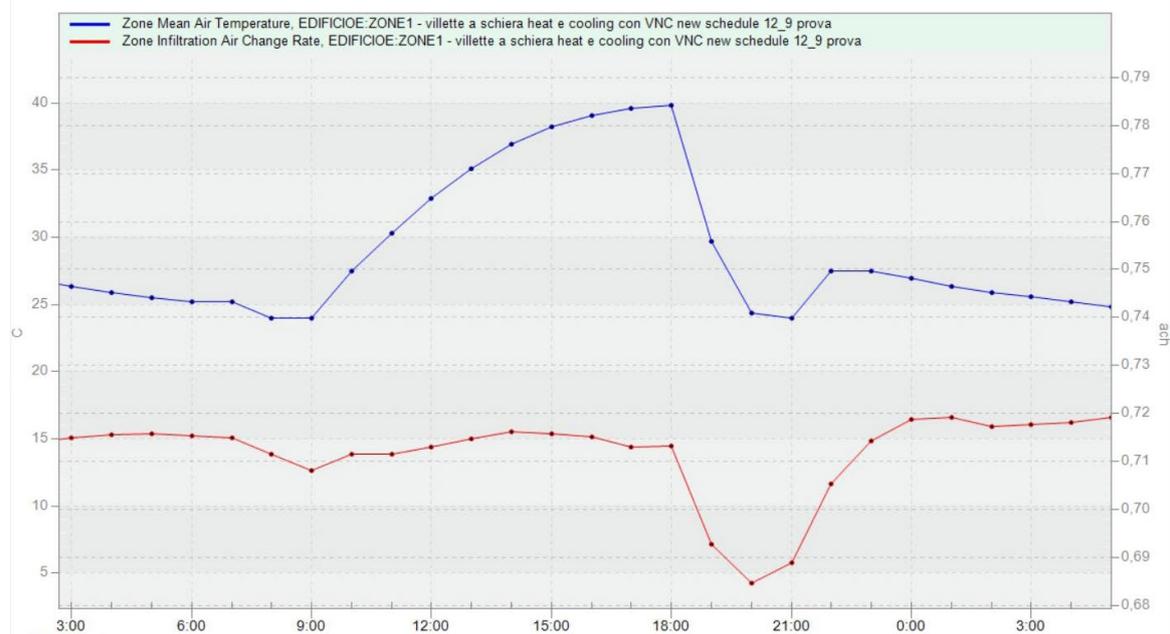


Tabella 11.11 - Tabella con la somma dei valori annuali del fabbisogno energetico dell'impianto con VNC.

Data/Ora	Riscaldamento Sensibile di Zona	Raffrescamento Sensibile di Zona	Temperatura Aria	Temperatura Radiante	Temperatura Operante	Elettricità Stanza	Illuminazione	Riscaldamento (Gas)	Raffrescamento (Elettricità)	ACS (Elettricità)	Temperatura Esterna a Bulbo Secco
	kWh	kWh	°C	°C	°C	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	°C
01/01/2002	2829,65	0,00	6,35	6,56	6,46	563,21	1205,85	3490,94	0,00	1072,59	-1,14
01/02/2002	2342,84	0,02	10,62	11,13	10,87	508,71	1091,87	2783,00	0,00	964,21	1,98
01/03/2002	979,54	13,41	16,67	17,93	17,30	563,21	1212,86	1115,92	5,36	1060,76	7,19
01/04/2002	2,82	831,11	21,72	23,70	22,71	545,04	1167,86	3,14	337,68	1036,46	11,84
01/05/2002	2,60	3810,92	24,26	26,81	25,53	563,21	1205,85	2,89	1614,12	1072,59	16,21
01/06/2002	0,00	6273,58	25,49	28,54	27,02	545,04	1174,87	0,00	2832,52	1024,64	18,85
01/07/2002	0,00	7907,70	25,98	29,13	27,55	563,21	1205,85	0,00	3696,78	1072,59	20,97
01/08/2002	0,00	5852,71	25,60	28,36	26,98	563,21	1209,36	0,00	2676,53	1066,68	19,92
01/09/2002	0,00	2441,96	24,28	26,38	25,33	545,04	1171,36	0,00	1040,13	1030,55	17,17
01/10/2002	587,18	139,93	18,64	19,83	19,23	563,21	1205,85	668,54	59,32	1072,59	10,56
01/11/2002	2201,52	0,00	11,94	12,31	12,12	545,04	1171,36	2601,07	0,00	1030,55	4,59
01/12/2002	2844,21	0,00	7,13	7,27	7,20	563,21	1209,36	3484,20	0,00	1066,68	-0,07
SOMMA	11790,35	27271,34						14149,69	12262,44	12570,87	
A MQ	22,67	52,44						27,21	23,58	24,17	

Calcolo carichi integrati con l'apporto geotermico

Tabella 11.12 - Tabella con la somma dei valori annuali del fabbisogno energetico dell'impianto ibrido.

Parametro	U.M.	Riscaldamento	Raffrescamento
FAN (Fabbisogno annuo netto)	kWh	11790,2	27271
Contributo del sistema EHX	kWh	11140	6021
Riduzione del FAN dovuta a EHX	%	94,5	22
	kWh	650,2	21250
Indici efficienza	-	0,9	2,5
Fabbisogno di Energia consegnata con EHX	kWh	1578,7	8500
Consumo a m ²	$\frac{kWh}{m^2}$	3,04	16,3

Il fabbisogno annuale in termini di riscaldamento dato dalla combinazione di geotermico con l'impianto HVAC con VNC combinato all'uso del geotermico è pari a circa 1580 kWh, mentre quello del raffrescamento è di 8842,6 kWh. La riduzione del fabbisogno annuale netto dell'edificio per il riscaldamento grazie al geotermico è del 94 %, mentre per il raffrescamento è del 22 %.

Anche nella configurazione di edifici a schiera, i risultati mostrano che il sistema che utilizza la VNC ottimizza maggiormente i consumi rispetto a quello che non prende in considerazione la ventilazione naturale.

11.3.3 Confronto consumi tra le diverse tipologie di edifici

A seguito dei risultati ottenuti, viene fatto il calcolo in cui, considerando le varianti applicabili all'impianto e le combinazioni con gli apporti del geotermico, per ogni tipologia di edificio analizzata nel corso delle verifiche, si confrontano i risultati al m² ottenuti per ciascun edificio presente nel sito. Viene quindi fatto un confronto fra i carichi ottenuti per poter trarre delle conclusioni riguardo a quale sia la tipologia di impianto e la tipologia di edificio che permette l'ottimizzazione dei consumi di energia nel progetto.

Riassunto dei carichi energetici degli edifici del sito analizzati

Tabella 11.13 - Confronto dei risultati complessivi nei diversi casi di varianti apportate al sistema di condizionamento.

Edifici	U.M.	HVAC no VNC		HVAC + VNC		HVAC + EHX		HVAC, VNC e EHX	
		Risc	Raff	Risc	Raff	Risc	Raff	Risc	Raff
Edificio D	$\frac{kWh}{m^2}$	26	35,4	15,6	5,3	4,5	9,4	6,2	0
Edificio F	$\frac{kWh}{m^2}$	57,3	22	47	49	27,6	17,8	23	14,5
Edificio a schiera	$\frac{kWh}{m^2}$	21,2	55,3	22,7	52,8	3,7	17,5	3	16,3

11.3.4 Conclusioni sul confronto del fabbisogno energetico tra diverse tipologie di edifici

Confrontando i risultati ottenuti grazie alla simulazione di Design Builder, si può notare che il fabbisogno energetico, in tutti gli edifici presi in esame, si riduce notevolmente quando l'impianto HVAC viene integrato con la VNC, il che ci fa comprendere che in un progetto di questo tipo un sistema automatizzato di controllo della ventilazione naturale risulti molto efficace. Inoltre, qualora lo stesso tipo di impianto venga ulteriormente integrato con l'uso del sistema ventilativo geotermico, i consumi vengono ridotti praticamente a zero, e anzi nel caso dell'edificio D, l'apporto del sistema geotermico per il raffrescamento supera il fabbisogno dell'edificio a tal punto da ottenere l'azzeramento del consumo annuale a m².

La simulazione degli edifici a schiera ha evidenziato come essi risultino più efficienti nel consumo unitario per quanto riguarda il caso di simulazione senza la VNC, sia rispetto all'edificio D che all'edificio F. All'aggiunta del contributo del geotermico inoltre il fabbisogno del caso a schiera si azzerava e risulta addirittura inferiore rispetto a quello dell'edificio F. Per quanto riguarda il confronto con la VNC, il fabbisogno unitario annuale diminuisce nel caso del raffrescamento, e si abbassa notevolmente anche in seguito all'aggiunta del contributo geotermico.

Si può affermare che l'apporto del geotermico riduca notevolmente il fabbisogno energetico per tutte le tipologie di edifici analizzate, rendendolo perciò fondamentale per la riduzione dei consumi: questo permette di incrementare, eventualmente, la classe energetica degli edifici e aumentare l'ecocompatibilità delle architetture in cui viene integrato.



CONCLUSIONI

Ogni decisione presa per questo progetto è il frutto di un lungo ed elaborato studio delle caratteristiche morfologiche e climatiche del contesto in cui esso si innesta. Il rispetto del territorio, sia inteso come ambiente naturale che come entità culturale, è l'elemento principale che un architetto dovrebbe tenere a mente nella sua attività progettuale. La volontà di introdurre un'innovazione in ambito sia tecnologico sia formale passa obbligatoriamente attraverso tutta una serie di mediazioni che conducono alla formulazione di una proposta rappresentativa dell'evoluzione del rapporto tra tecnica e forma, tra tradizione e innovazione: per dare una svolta in positivo alla pratica edilizia consolidata nel luogo in cui ci si trova non si può prescindere da questa relazione.

Il risultato di queste mediazioni, per quanto riguarda la tesi appena conclusa, è stato quello di valorizzare il più possibile la vocazione del luogo, considerando la realizzazioni di spazi abitativi dotati di comfort sia dal punto di vista del microclima interno che della loro funzionalità. L'obiettivo di rispettare la richiesta abitativa improntata a uno stretto rapporto con l'ambiente esterno è stato raggiunto con successo, e il progetto illustra come si possono creare le condizioni per far funzionare in maniera tecnologicamente avanzata un edificio senza dover sconvolgere il sito, ma anzi integrandolo il più possibile nella macchina abitativa.

La proposta di utilizzare la tecnologia sostenibile del legno ha dimostrato di avere diversi vantaggi, che partono a monte della produzione del materiale e si concretizzano nell'applicazione del progetto, sia a livello di contenimento dei costi di costruzione che dei consumi energetici: promuovere l'applicazione di questi sistemi prefabbricati permette la progettazione e diffusione di tendenze edilizie sempre più incentrate sulla sostenibilità ambientale e sul risparmio in termini di costi. In Piemonte esistono allo stato attuale alcuni bandi che sostengono, anche in termini di denaro, la diffusione di pratiche responsabili dal punto di vista ambientale e sociale, come ad esempio l'installazione di impianti a energia solare anche in edifici preesistenti e la riqualificazione e certificazione energetica degli edifici. La tendenza all'utilizzo del legno è però ancora molto poco diffusa per evidenti ragioni culturali ma recentemente vi sono stati molti esperimenti edilizi condotti a livello territoriale, e uno tra tutti è il condominio di 7 piani costruito interamente con tecnologia X-Lam dall'impresa Tecnici.eu, che rappresenta un notevole passo avanti per sconfiggere la resistenza ancor'oggi opposta a questo materiale. Se si applicasse lo sviluppo edilizio del legno e degli impianti che utilizzano energie rinnovabili a larga scala su tutto il territorio, si creerebbero le condizioni per una vasta riduzione delle emissioni inquinanti in atmosfera e per la nascita di un mercato dell'edilizia in grado di valorizzare le risorse del territorio, anche in termini di materia prima, senza doversi rivolgere obbligatoriamente all'esportazione dai paesi nordici verso l'Italia.

Come dimostrato inoltre tramite le analisi sulle verifiche delle prestazioni, il territorio torinese è perfettamente adatto a ospitare con successo soluzioni di questo tipo: la dimostrazione che la tecnologia in legno non è adatta solo ad ambienti alpini e nordici, come comunemente si ritiene. Dai risultati emerge infatti che l'utilizzo combinato del legno e delle soluzioni di adattamento ai fattori climatici sono riusciti a produrre edifici ad alta prestazione energetica (riconducibile alla classe A secondo la classificazione energetica nazionale) sebbene si possano ancora adottare delle soluzioni per ottenere il livello di casa passiva. Il risultato ottenuto è però ottimo considerando che viene proposto l'utilizzo di tecnologie che utilizzano fonti rinnovabili e, rispetto al mercato locale, permettono l'abbassamento dei consumi energetici che poi si traduce in un risparmio sui costi annuali di gestione dell'impianto.

In conclusione, in un'epoca in cui la sostenibilità risulta ancora qualcosa di inaccessibile a larga scala e fondamentalmente troppo costoso per essere applicato ovunque, la proposta che viene formulata in questo lavoro di tesi risulta una soluzione perfettamente accessibile e studiata in profonda relazione con le esigenze dello specifico caso.

FONTI

Bibliografia

1. Grosso M. con contributi di Chiesa G., Parisi E., Raimondo L., Simonetti M., *“Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato”*, Maggioli Editori, Sant’Arcangelo di Romagna (RN), aprile 2017.
2. *“Our Common Future”*, Brundtland Report, 1987, parte 1, capitolo *“The Concept of Sustainable Development”*, punti 4-5.
3. De Pascalis S., *“Progettazione bioclimatica di sito”*, Flaccovio Dario ed., 2005.
4. Callegari G., Zanuttini R., *“Boislab: il legno per un’architettura sostenibile”*, G. Callegari, R. Zanuttini, Alinea, gennaio 2011.
5. AS Architecture Studio, *“La città ecologica: contributi per un’architettura sostenibile”*, Silvana, settembre 2009.
6. Grosso M., Nigra M. *“Progettare la complessità in Architettura.15 tesi magistrali in architettura per il progetto sostenibile del Politecnico di Torino”*, Maggioli Editore, marzo 2019

Sitografia

1. <http://www.geoportale.piemonte.it/cms/>
2. <https://www.comune.baldisserotorinese.to.it/it-it/home>
3. <https://www.ambientediritto.it/>
4. <http://www.treccani.it/>
5. <https://www.archeogate.it/architettura-sostenibile/>
6. <http://www.shigerubanarchitects.com/>
7. <https://www.sunearthtools.com/>
8. <https://designbuilder.co.uk/>

Articoli consultati

1. Sillani A., Salerno P., *I principi ispiratori per un’architettura bioclimatica*, in <https://www.ambientediritto.it/>. Tratto dal testo *“L’edificio ecologico, principi ispiratori, criteri progettuali, normativa ed incentivi economici”*, Roma 2004.
2. Grosso M., *Le norme europee sulla sostenibilità in edilizia: dal produttore al consumatore*, in *“Dossier della rivista U&C: Un’Europa sempre più green entro il 2050”*, Maggio 2018.

3. Magnago Lampugnani V., *L'architettura nell'epoca della sostenibilità*, in <<http://www.treccani.it/>>, 2010.
4. Grosso M., Chiesa G., *"Accessibilità e qualità ambientale del paesaggio urbano. La matrice microclimatica di sito come strumento di progetto"*, in *RI-Vista*, 2015.

Tesi Consultate

1. Visintin A., *"Analisi energetica di un accumulo termico a carica solare"*, Università degli studi di Padova, Facoltà di Ingegneria, A.A. 2013-2014, relatore De Carli Michele
2. Peron F., Vivona A., *"Illuminazione naturale e fattore medio di luce diurna"*, Università IUAV di Venezia, A.A. 2016-2017

12.4 Normativa di riferimento

1. D.g.r. n.14 - 23023 del 10/11/1997 - PRGC di Baldissero Torinese
2. D.g.r. n.14 - 23023 del 10/11/1997, aggiornamento 2012 - Norme Tecniche di Attuazione del PRGC di Baldissero Torinese
3. Delibera C.C. n.19 del 28/06/2018 - Nuovo Regolamento Edilizio
4. Norma UNI EN 15978:2011 - Sostenibilità delle costruzioni - Valutazione della prestazione ambientale degli edifici
5. D.C.R. n.233-35836 del 3 ottobre 2017 - Ppr - Piano paesaggistico regionale del Piemonte
6. Legge 8 agosto 1985, n.431 - Aree sottoposte a vincolo paesaggistico (Galasso)
7. Legge 183/89 - PAI - Piano per l'assetto Idrogeologico
8. L.R. 45 del 9/8/1989 - Definizione vincolo idrogeologico
9. 2.3.5.1 D.M. 11/01/2017 - Illuminazione Naturale
10. L.221/2015, art. 18 - Applicazione dei CAM - Criteri Ambientali Minimi
11. Norma ISO 14040:2006 e norma ISO 14044:2018 - Metodologia di valutazione dell'LCA
12. Norma EN 15804:2012 - Sostenibilità delle costruzioni - Dichiarazioni ambientali di prodotto - Regole quadro di sviluppo per categoria di prodotto
13. UNI/PdR 3.1:2019 - Sostenibilità ambientale nelle costruzioni - Strumenti operativi per la valutazione della sostenibilità - Edifici residenziali



RINGRAZIAMENTI

In primo luogo, è sicuramente doveroso ringraziare i miei relatori, il professor Mario Grosso e l'architetto Massimiliano De Leo, che mi hanno seguita molto costantemente in tutte le fasi del lavoro guidandomi in ogni momento, e che hanno avuto pazienza con me nonostante i momenti di alti e bassi nel corso dell'anno trascorso. Ringrazio infinitamente il professor Grosso per la sua professionalità e gentilezza, che con la sua lunga esperienza in materia di progettazione bioclimatica e sostenibilità mi ha permesso di ampliare la mia conoscenza e di dare un taglio completo al progetto, guidandomi egregiamente verso la fine del percorso. Ci tengo poi davvero molto a ringraziare il mio correlatore, l'architetto Massimiliano De Leo, per avermi permesso di compiere una meravigliosa esperienza come tirocinante presso il suo studio DeLeo&Drasnar: senza lo stage non sarebbe mai nato il progetto di questa tesi, per cui è stato davvero un passo fondamentale per il mio percorso di formazione. Il contributo dell'architetto De Leo è stato indubbiamente decisivo per poter dare una direzione al progetto di questa tesi e ci tengo a ringraziarlo per il suo preziosissimo sostegno: spero che il rapporto non solo professionale ma anche umano che abbiamo costruito nell'ultimo anno e mezzo possa mantenersi sempre saldo e continuare nel tempo alla fine di questa esperienza posso sinceramente dire di aver trovato in lui un ottimo maestro. Un grazie speciale va inoltre all'architetto Liborio Vaccaro per la consulenza fornitami per il video di presentazione, ci tengo a dire che la sua competenza e creatività sono state davvero cruciali per dare una svolta al lavoro e non finirò mai di ringraziarlo per la sua disponibilità assolutamente non scontata.

Naturalmente non posso non dedicare questo traguardo alla mia piccola famiglia, che mi ha viziata, coccolata e sostenuta da sempre senza riserve, insegnandomi a impegnarmi sempre per raggiungere qualsiasi obiettivo, ma soprattutto a essere leale e sincera, con gli altri e con me stessa. Il mio pensiero va in particolare a mio nonno Nino, che diceva sempre che avrebbe tanto voluto essere presente in questo momento, ma la vita è imprevedibile e purtroppo non è qui con noi oggi. Ci manca tantissimo e se fosse presente vorrebbe sicuramente stare in prima fila a godersi lo spettacolo.

Ringrazio ovviamente gli amici, in primis Ele naturalmente: sei come una sorella per me anche se più diverse non potremmo essere, ma non potrei mai immaginare una vita senza condividere la quasi totalità delle mie avventure con te; spero di poterlo fare anche quando sarai un'arzilla vecchietta (io non invecchierò mai, ovviamente).

Ringrazio Saretta, mia assistente in materia di ecologia, che ammiro tanto perchè è una persona forte e stabile e sa sempre come affrontare le situazioni più difficili: spero di assimilare col tempo un po' della tua saggezza e del tuo senso pratico, cose che come ben sai mi sono del tutto sconosciute.

Grazie a Sasi che riesce sempre a trasmettermi la sua spensieratezza e leggerezza: non ci sarai perchè sei emigrata al Nord, però so che mi pensi e spero che la tua esperienza lassù si concluda nel migliore dei modi.

Un grazie va anche a Fra, che mi trascina sempre in attività e avventure del tutto inaspettate ed è la persona più curiosa e fantasiosa che conosca.

Grazie a mia cugina Giulia, buona e paziente ma anche tenace, per le nostre conversazioni infinite e divertentissime fin da bambine, gli scherzi e i capodanni, e soprattutto le uscite notturne in Santa Giulia, sempre uguali all'infinito ma irrinunciabili.

Grazie a Faby, che mi dispiace tantissimo che non vuoi più tornare dall'Africa ma sono anche contentissima per te perchè sei in gamba e realizzi i tuoi sogni.

Ringrazio anche Mery per le telefonate di aggiornamento impagabili, ti conosco da poco tempo ma ti voglio già moltissimo bene perchè sei dolcissima e intelligente.

Ringrazio Ste e Roby, conosciuti per vie traverse e diventati amici indispensabili, dalle nostre avventure artistiche alle serate in cui finiamo sempre a farci un sacco di domande sulla vita a cui non troviamo mai una risposta soddisfacente.

Grazie a Martina, la mia compagna di sventure, per tutti gli atelier passati a immaginare una vita migliore e i pranzi e le cene calabresi che non potrò mai ricambiare.

Ringrazio Marta per i pomeriggi passati ad ascoltare Gipo davanti alla tesi, per la tua simpatia e riservatezza, per i concorsi che verranno che spero faremo insieme: sono molto contenta di averti conosciuta e spero che presto arriverà anche la tua laurea.

Grazie a Marco, Mike, Alfonso e anche a Carlo, anche se ormai ci vediamo pochissimo, per le esperienze vissute assieme e per aver reso indimenticabili i miei primi anni di università con le nostre uscite e scampagnate.

Grazie ad Angelo con cui ho vissuto momenti traumatici, che rimarranno nella storia, agli inizi della facoltà, non vedo l'ora di vederti nell'olimpio delle archistar e spero che tu possa sempre viaggiare in giro per il mondo.

Grazie a Marina per i momenti di quest'ultimo anno e per la tua divertentissima compagnia nei miei continui momenti di incertezza, sia sulla tesi che sulla vita in generale: non vedo l'ora di riabbracciare te e i tuoi capelli multicolore.

Ringrazio anche Silvia, è stata una vera fortuna incontrarti sennò non sarebbe stato possibile espandere all'infinito la mia esigenza di analisi minuziosa di ogni situazione, anche se ci conosciamo da poco ti voglio un gran bene e spero che la nostra amicizia continui anche se non vedi l'ora di tornartene a Roma, mannaggia a te.

Sono grata poi a tutte quelle persone che hanno fatto parte di questo percorso, dai colleghi ai professori, e hanno reso la strada un po' meno tortuosa con la loro presenza in ogni momento.

Concludo con la speranza che il futuro possa essere pieno di momenti di crescita e soddisfazione, di confronto e di apprendimento: con una buona dose di ottimismo sono pronta a iniziare un nuovo cammino.