

POLITECNICO DI TORINO
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN ARCHITETTURA PER IL PROGETTO SOSTENIBILE



TESI DI LAUREA MAGISTRALE
ARCHITETTURA IPOGEA MODULARE
SOSTENIBILITA', TECNOLOGIA E DESIGN IN UN'ABITAZIONE RURALE

A.A. 2018/2019

RELATORE

prof. MARIO GROSSO

CORRELATORE

prof. MARIANNA NIGRA

CANDIDATO

FRANCESCO VALFRE'

INDICE

1.	Introduzione	PAG. 1
2.	Stato dell'arte	PAG. 3
2.1	Definizione del termine ipogeo	PAG. 4
2.2	Le origini e le configurazioni abitative	PAG. 4
2.3	Epoca Contemporanea	PAG. 8
2.4	La tecnica costruttiva	PAG. 8
3.	Casi studio	PAG. 10
4.	Obiettivi	PAG. 26
5.	Progetto	PAG. 28
5.1	La scelta del sito.....	PAG. 29
5.2	Posizionamento geografico	PAG. 30
5.3	Il concept e il processo costruttivo.....	PAG. 34
5.4	L'edificio	PAG. 36
5.4.1	<i>Gli spazi esterni</i>	PAG. 38
5.4.2	<i>Gli spazi interni</i>	PAG. 45
6.	Tecnologie	PAG. 51
6.1	Le fondazioni	PAG. 52
6.2	La struttura portante	PAG. 53
6.3	Le pareti	PAG. 54
6.4	Il raffrescamento passivo e le risorse energetiche	PAG. 57
7.	Discussione e considerazioni finali	PAG. 68
8.	Conclusione	PAG. 70
9.	Bibliografia	PAG. 72

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

Quando si parla di architettura la prima immagine che ci viene in mente è un grattacielo. Un muro vetrato che si staglia nel cielo a centinaia di metri dal suolo. Una sorta di monte olimpo che permette a noi comuni mortali di vivere al di sopra delle nubi, dove splende sempre il sole.

Costruire un fabbricato che si sviluppa nel sottosuolo può apparire bizzarro e insensato. Ad oggi infatti, il sottosuolo è utilizzato principalmente come luogo in cui sviluppare tutte le funzioni complementari alla vita in superficie: trasporti metropolitani, fognature, condotti di scarico e acquedotti. Anche nell'antichità la sua funzione non era destinata allo sviluppo di insediamenti umani e in molte religioni veniva identificato come luogo d'incontro fra la vita e la morte, uno spazio in cui entrare in contatto con la dimensione ultraterrena. Questo portò allo sviluppo di opere architettoniche davvero notevoli, come le necropoli e le catacombe, che ancora oggi suscitano in noi un fascino misterioso e irresistibile, ma anche miniere e cave, utili per reperire materiali rocciosi e metallici fondamentali nello sviluppo di ogni società.

Tutti questi fattori concorrono a percepire la dimensione ipogea come un luogo buio, umido e angusto.

Ultimamente ci si riferisce a queste strutture con il termine "architettura della sottrazione"¹ per identificare fabbricati ottenuti dalla sottrazione di un volume esistente, in contrapposizione all'aggiunta di materiale che si esegue normalmente nella costruzione di un edificio in superficie.

Io credo sia più corretto parlare di "architettura sostitutiva", sottolineando come il volume ipogeo non venga sottratto al suolo, ma semplicemente sostituito con nuovi materiali che rendano idonea e piacevole la vita di chi utilizzerà questa

¹ GROSSO M., (2017), *Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato*, 4a edizione, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN)

curiosa tipologia abitativa. Attraverso questo studio di tesi si vuole portare lo sguardo verso il sottosuolo, focalizzando l'attenzione e la curiosità sullo sviluppo delle costruzioni ipogee.

Perché ipogea?

Ad oggi, soprattutto in Italia, l'utilizzo indiscriminato del suolo è un problema evidente, ma ciò che spesso può infastidire il nostro sguardo è la forma di quello che stiamo osservando. Splendide aree rurali trasformate in zone industriali e periferie di scarso successo architettonico, schiere di villette mono e bifamiliari in calcestruzzo armato diverse le une dalle altre con un impatto notevole e duraturo sul sito di costruzione.

L'architettura ipogea che intendo trattare si colloca proprio nelle campagne e ha l'obiettivo di risultare quasi invisibile nella percezione del paesaggio circostante, un oggetto puramente funzionale con un piccolo affaccio sul mondo di superficie. La funzionalità di questa tipologia abitativa risiede in tre fattori principali: alta efficienza energetica grazie al contatto col sottosuolo, bassissimo impatto visivo sull'ambiente circostante, alta sicurezza in termini strutturali.

Perché modulare?

Credo che un approccio modulare alla progettazione semplifichi l'intero processo costruttivo e permetta di creare un "format" replicabile in siti diversi.

Inoltre permette di avere una panoramica generale del progetto fin dallo stato iniziale. Questa scelta deriva dalla volontà di creare qualcosa di "universale", un oggetto che funzioni nel tempo senza dover essere costantemente ripensato, ma solamente adattato alle differenti circostanze ambientali e alle esigenze dei committenti. Nelle abitazioni ipogee si tratta di una strada ancora poco battuta, poichè la tecnica costruttiva, come vedremo più avanti, si basa sull'utilizzo di calcestruzzo e reti metalliche e la morfologia assume spesso caratteri organici, difficili da standardizzare all'interno di un modello modulare.

CAPITOLO 2

STATO DELL'ARTE

2.1 Definizione del termine “IPOGEO”

“**ipogèo** *agg. e s. m.* [dal gr. ὑπόγειος ο πόγειος *agg.*, ὑπόγειον *sost.* (*comp.* di ἀπό «sotto» e γη «terra»); *lat. hypogeum s. neutro*]. – 1. *agg. a. Sotterraneo: tempio i.; sepolcri ipogei. b. Che si trova o vive sotto la terra: ambiente i., in ecologia, l'ambiente che costituisce l'habitat degli organismi vegetali e animali viventi sotto la superficie del suolo (rispettivamente flora i. e fauna i.: per quest'ultima, la vita sotterranea può essere anche periodica, o limitata ad alcune fasi del ciclo vitale); nel complesso dell'ambiente, o dominio, ipogeo si possono distinguere, tra l'altro, un ambiente cavernicolo, costituito dalle cavità naturali accessibili all'uomo, un ambiente delle cavità artificiali, quelle fatte dall'uomo (miniere, sotterranei, catacombe, condotte d'acqua, ecc.), un ambiente endogeo (v. endogeo), un ambiente delle microcaverne (v. microcaverna), e un ambiente interstiziale (v. interstiziale). c. Che si sviluppa dentro il suolo: organi i., in botanica, gli organi della pianta, come la radice, i bulbi, i tuberi, i rizomi, che stanno nel suolo (contrapp. a epigeo); asse ipogeo, nome con cui è anche chiamata la radice. 2. s. m. Ogni vano sotterraneo, sia semplicemente scavato nel terreno, sia rivestito di muratura, adibito o ad abitazione (in tal caso, salvo eccezioni, è proprio solo dei popoli primitivi), o a sepoltura o a luogo di culto; dall'uso, frequente in ogni tempo, del sepolcro sotterraneo, il termine ha assunto comunem. il sign. di tomba sotterranea.: gli i. etruschi..”²*

2.2 Le Origini e le configurazioni abitative

Le origini di queste abitazioni racchiudono in sé una storia evolutiva estremamente affascinante che mostra come l'uomo abbia appreso in primo luogo la necessità

² <http://www.treccani.it/vocabolario/ipogeo/>

di vivere in luoghi sicuri e riparati. Tuttavia, tale necessità è stata individuata e soddisfatta molto tempo prima da diversi animali che utilizzano ancora oggi il sottosuolo per costruire le proprie dimore, le cosiddette tane. Al giorno d'oggi, se si parla di epoca preistorica e primitiva, si pensa immediatamente alle caverne, i primi insediamenti umani di cui si abbiano tracce concrete, e proprio queste cavità naturali sono state le nostre dimore per migliaia di anni, e grazie alla protezione offerta abbiamo potuto imparare raffinate tecniche di preparazione del cibo ed esprimere le nostre emozioni attraverso le note “pitture rupestri”, la prima forma d'arte umana.

Il trogloditismo

Le componenti che hanno spinto i nostri antenati a ricavare le proprie dimore scavando nella roccia sono numerose ma possono essere identificate in tre grandi gruppi: fattori climatici e ambientali, disponibilità di risorse e locazione geografica.

E' però importante stilare una premessa: in molti casi non è possibile determinare una relazione diretta fra la fruizione delle caverne come insediamento antropico e il successivo utilizzo del sottosuolo a scopo abitativo tramite l'attività di scavo. Ciò che possiamo affermare oggi è l'assoluto vantaggio che civiltà poco evolute potessero trarre vivendo in cavità naturali o in rifugi ricavati tramite operazioni di scavo nel terreno, e cioè un maggior riparo dalle condizioni climatiche e una tipologia costruttiva che non richiedesse particolari conoscenze strutturali.

Proseguendo la nostra analisi è stato constatato che il trogloditismo si è sviluppato principalmente nelle fasce temperate ed equatoriali sfiorando il suo apice nell'area mediterranea e nei deserti adiacenti.

Peculiarità climatiche di queste zone sono la scarsità di pioggia, una elevata escursione termica giornaliera e l'aridità del paesaggio.

Possiamo dunque intuire le motivazioni che hanno spinto le popolazioni locali ad adottare questa tecnica costruttiva, facilitata dalla presenza di un sottosuolo morbido e di semplice lavorazione.

Anche la morfologia dei fabbricati risulta essere particolarmente efficace dal punto di vista climatico: il terreno attenua le variazioni di temperatura all'interno delle abitazioni, spesso dotate di una sola apertura per l'ingresso e nessuna ulteriore fonte di luce o ventilazione.

A tal proposito è interessante notare come l'uomo abbia ereditato le proprie conoscenze dall'osservazione della natura e in particolare dal regno animale insediato nelle proprie terre di origine.

Per fare alcuni esempi pratici ci basta pensare ad un formicaio o ad un termitaio. Queste straordinarie tane animali infatti, possiedono tutte le caratteristiche necessarie ad una vita ipogea agevole e conveniente: numerosi cunicoli svolgono la funzione di ventilazione mentre l'apice del nido funge da "tappo" verso l'esterno, svolgendo un'importante azione di regolazione termica degli spazi interni, essendo la parte più esposta al naturale irraggiamento solare.

Configurazioni abitative

E' opportuno fare una breve classificazione delle configurazioni abitative tipiche del trogloditismo. Mario Grosso, nel suo libro *"Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato"*, propone, grazie ad una prima suddivisione effettuata da Roberto Bixio, sei tipologie di insediamento: cavità naturali o grotte, strutture addossate, strutture ipogee, strutture miste, strutture rupestri e strutture intagliate. Le prime due tipologie sono ricavate dalla presenza di sporgenze e rientranze naturali, mentre le restanti fanno parte di un gruppo di opere ricavate artificialmente dal terreno.

Cavità naturali (grotte)

Con questo termine si intende identificare quei luoghi che i primi insediamenti umani hanno utilizzato come propria dimora derivanti da fenomeni naturali, quali la morfologia del luogo, l'erosione degli agenti atmosferici o le eruzioni vulcaniche.

Strutture addossate

Anche questa tipologia non comporta attività di scavo da parte dei suoi abitanti. Si tratta di tipologie abitative in cui le pareti delle cavità naturali vengono utilizzate come supporto per la realizzazione di capanne o rifugi. Spesso questi luoghi venivano scelti in maniera strategica in base al loro orientamento e posizionamento sull'ambiente circostante per fronteggiare le intemperie e possibili incursioni nemiche.

Strutture ipogee

Queste strutture si sviluppano interamente al di sotto del piano di campagna e richiedono un'importante attività di scavo nel terreno per essere realizzate. Venivano costruite in aree prevalentemente pianeggianti dove si rendesse necessario creare un riparo dove la conformazione naturale del luogo non poteva offrirlo. Alcuni celebri esempi sono stati scoperti nella Cappadocia turca dove esisteva addirittura una vasta rete di vie e cunicoli immersi nel terreno.

Strutture rupestri

Caratterizzate dalla presenza di terrazzamenti naturali al loro interno, le cavità che ospitano le strutture rupestri sono spesso localizzate lungo i pendii di catene montuose. A differenza delle strutture addossate, le abitazioni sono ricavate tramite operazioni di scavo nella roccia e sorgono interamente al di sopra del piano di campagna.

Strutture intagliate

Le strutture intagliate sono formate da uno scavo interno ed esterno.

Risultano perfettamente integrate con l'ambiente in cui si trovano e spesso si tratta di monumenti o templi antichi. Si tratta dunque di una vera e propria forma di architettura che richiedeva un massiccio utilizzo di manodopera.

Strutture miste

In questo caso l'opera ipogea è affiancata ad elementi costruiti all'esterno, probabilmente derivanti dal susseguirsi di opere realizzate in tempi differenti.

ESEMPI

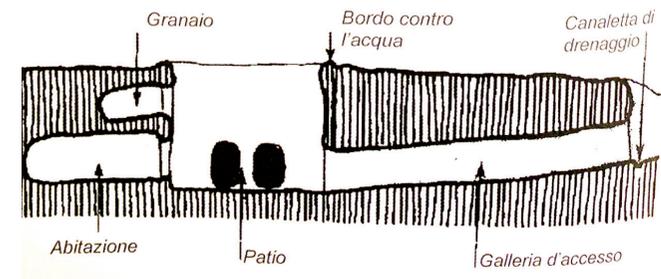
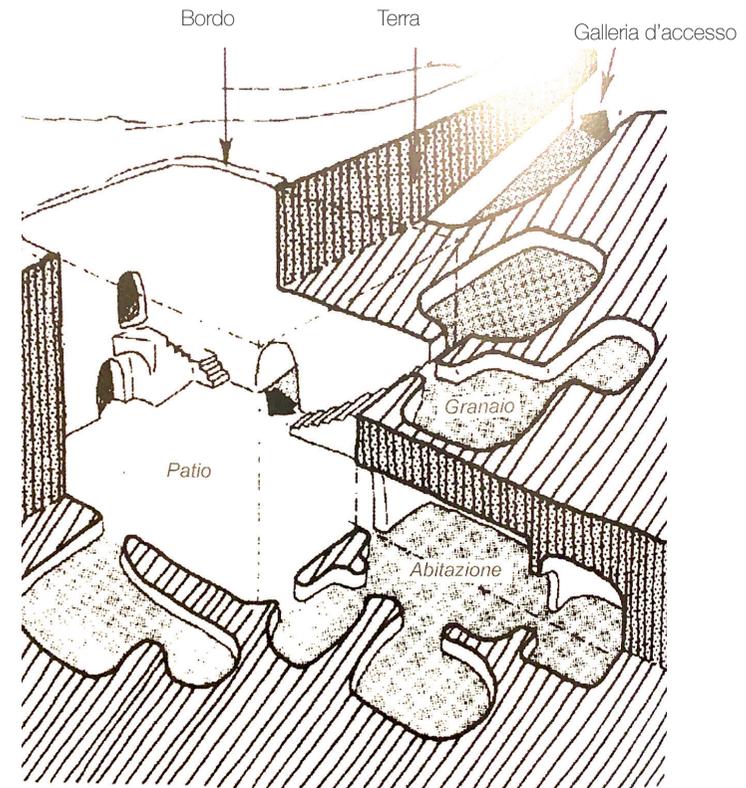
Strutture addossate: Cliff Dwelling di Mesa Verde, Colorado, U.S.A.

immagine 1- <https://www.nationalgeographic.org/media/cliff-palace/>



Strutture ipogee: tipologia "a patio": Matmatà, Tunisia

immagine 2- GROSSO M., (2017), *Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato*, p. 162



Strutture rupestri: Le case sotto roccia in Valle Angrogna, Piemonte

immagine 3- <https://www.e-borghi.com/it/borgo/456/Torino/angrogna>

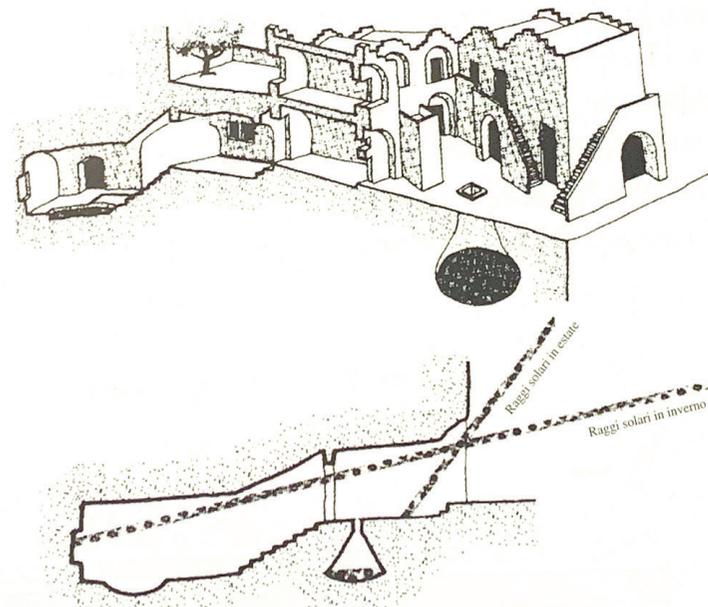


Strutture rupestri: I sassi di Matera, Matera

immagine 4- <https://www.si24.it/2014/10/17/cosa-sono-i-sassi-di-matera-foto/>



immagine 5- GROSSO M., (2017), *Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato*, p. 165



2.3 Epoca Contemporanea

Nei secoli successivi il sottosuolo diventa sinonimo di “dimora dei morti”.

Nascono dunque le necropoli e le catacombe, ma non solo: lo sviluppo di alcune imponenti civiltà, fra cui l’Impero Romano, comporta la necessità di dotare le grandi città di infrastrutture come cisterne, serbatoi o corridoi difensivi, volte a soddisfare i bisogni dei cittadini o a garantirne la sicurezza.

E’ proprio in questo periodo che la dimensione ipogea inizia ad essere utilizzata come luogo di supporto alla vita in superficie, funzione che manterrà fino ai giorni nostri.

Per molto tempo non vi saranno innovazioni significative nell’utilizzo del sottosuolo. Sia l’epoca medievale che quella contemporanea hanno concentrato le proprie tecniche costruttive nella realizzazione di edifici in superficie. Soltanto nell’ultimo secolo abbiamo rinnovato l’interesse per l’ambiente sotterraneo. Questo perché, con il rapido sviluppo delle città, il suolo disponibile è diventato sempre più scarso, portando architetti e ingegneri alla progettazione di edifici che si sviluppino in altezza, come palazzi e grattacieli. Ancora una volta il sottosuolo è chiamato ad assolvere alle funzioni secondarie: acquedotti, metropolitane e fognature.

Tuttavia all’inizio del XX secolo, l’architetto francese Eugène Hénard propose un nuovo modello di viabilità chiamato “La rue future” che prevedeva l’utilizzo del sottosuolo come luogo in cui stabilire la sede di tutti i trasporti cittadini.

Il progetto non fu mai realizzato ma la sua grande eco spinse molti successori di Hénard ad interessarsi sempre di più alla dimensione ipogea.

Molti dei progetti proposti da architetti, urbanisti e ingegneri nel XX secolo non vennero presi in considerazione poiché molto dispendiosi e spesso ritenuti non necessari allo sviluppo dei centri urbani. E’ giusto indicare che tutte queste

proposte non contemplavano la dimensione ipogea come possibile dimora per gli esseri umani, ma soltanto come luogo funzionale ad un miglior sviluppo delle metropoli. Soltanto negli ultimi decenni l’architettura ipogea ha iniziato ad occuparsi nuovamente dell’edilizia pubblica e privata.

Un grande esempio è l’Environmental Park di Torino, firmato **Emilio Ambasz**, un polo tecnologico che sorge su terreni occupati per decine di anni dall’industria dell’acciaio e che oggi ospita più di 60 imprese e 600 addetti.

Altro pioniere di questa tipologia abitativa è l’architetto svizzero **Peter Vetsch**, che nell’arco della sua carriera ha realizzato oltre 40 abitazioni ipogee, quasi tutte situate nella sua terra natale.

La tecnica costruttiva è però molto differente da quella utilizzata dai nostri antenati e intendo spiegarla nel paragrafo successivo.

2.4 La tecnica costruttiva

In questa sezione mi dedicherò ad illustrare la tecnica costruttiva generale delle abitazioni ipogee contemporanee. E’ facile capire che, in base alla morfologia del luogo e alle caratteristiche del terreno, esistono differenti soluzioni. Tramite questa analisi intendo chiarire l’aspetto costruttivo generale. La struttura portante è intesa come una volta “integrale”. Questi oggetti possono essere realizzati tramite due procedimenti: lo stampaggio ad iniezione su reti metalliche, oppure tramite la prefabbricazione di singole unità rigide. La tecnica dello stampaggio consente la creazione di un’architettura organica e particolarmente luminosa. L’ideazione di questa tecnologia nasce all’inizio del XX secolo e ad oggi è la più utilizzata nella realizzazione di abitazione ipogee ad uso privato. Tuttavia il suo impiego principale risiede nella costruzione di tunnel e opere di fondazione. Peter Vetsch ha ottimizzato questo processo creando un vero e proprio “canovaccio” per la costruzione di abitazioni ipogee.

FASE 1: lo scavo

Lo scavo può essere sotterraneo oppure a cielo aperto, a seconda della tipologia di abitazione che si intende realizzare. Ad oggi, il perfezionamento dei macchinari rende questa prima fase molto più semplice e rapida di quanto fosse in passato.

FASE 2: il consolidamento

Questo step ha la funzione di prevenire i possibili cedimenti del terreno. Per ovviare a questa problematica si procede con la tecnica del calcestruzzo a proiezione, detta anche Spritzbeton. Le pareti della scavo vengono infatti ricoperte di calcestruzzo spruzzato tramite una lancia. Il calcestruzzo viene spesso abbinato ad additivi acceleranti di presa. Le reti metalliche vengono incorporate nel getto per garantirne le importanti caratteristiche di elasticità e resistenza a trazione.

FASE 3: la platea e le reti elettrosaldate

Generalmente durante la fase di consolidamento si realizza anche la platea in calcestruzzo su cui si costruirà il nuovo edificio. A questo punto si procede con il posizionamento delle reti metalliche elettrosaldate a maglie strette che vengono modellate e saldate alle armature portanti a seconda della forma che dovrà assumere l'abitazione.

FASE 4: il calcestruzzo

Una volta creato lo "scheletro" si passa a ricoprire le reti metalliche con il calcestruzzo, ancora una volta la tecnica utilizzata è quella dello spritzbeton

FASE 5: isolamento termico e impermeabilizzazione

Si ricopre il getto di calcestruzzo con una schiuma di poliuretano per conferire all'abitazione un maggior isolamento termico. Successivamente, tramite guaine

impermeabili, si isola dall'umidità l'intero fabbricato. A questo punto, dopo l'applicazione di uno strato di stuoia, si può riposizionare il terreno al di sopra delle cupole. Infine, per stabilizzare l'umidità negli ambienti interni, si utilizzano intonaci a base di argilla come rivestimento delle pareti.

Come si può facilmente comprendere, questa metodologia risulta molto efficace ma allo stesso tempo particolarmente invasiva sul sito di costruzione.



immagine 6- Posizionamento delle reti metalliche elettrosaldate durante la costruzione di un'abitazione ipogea realizzata con la tecnica del calcestruzzo a proiezione.
(<http://www.erdhaus.ch/erdhaumluser>)

CAPITOLO 3

CASI STUDIO

I CRITERI DI SELEZIONE

Iniziamo ora ad addentrarci nel mondo delle costruzioni ipogee attraverso l'analisi di alcune architetture particolarmente significative per questo studio di tesi. Nelle pagine seguenti vedremo fabbricati selezionati attraverso tre criteri principali. Nello specifico si tratterà di costruzioni: **ipogee, destinate ad uso residenziale e posizionate in un contesto prevalentemente rurale.**

VILLA VALS



Dati dell'immobile

Luogo: Vals, Canton Grigioni, Svizzera

Progetto: SeArch studio; CMA (Christian Muller Architects)

Committente: privato

Anno di realizzazione: 2009

Superficie: 225 mq.

Vals è un piccolo centro abitato nel cuore della Svizzera noto principalmente per la presenza di un rinomato centro termale. Nel 2009, gli architetti Christian Muller e Bjarne Mastenbroek (il proprietario della villa), realizzano un' esemplare abitazione ipogea su un pendio montano non distante dal centro del paese.

Villa Vals, concepita come una casa di villeggiatura, coniuga sapientemente il rispetto dell'ambiente circostante, la sostenibilità ambientale dell'intervento e un design all'avanguardia. I materiali con cui è stata costruita sono stati reperiti in loco e la facciata principale, realizzata in quarzite, richiama i tetti delle abitazioni limitrofe.

L'accesso avviene attraverso un tunnel scavato nella roccia e lungo più di 20 metri. Il cortile centrale, posizionato sul ripido pendio, ha consentito la realizzazione di una vasta facciata esposta a sud e ha la funzione di inondare di luce naturale gli ambienti interni.

Altre peculiarità di Villa Vals sono il perfetto isolamento termico, garantito dalla massa termica esercitata dal terreno circostante, la presenza di un impianto geotermico, riscaldamento radiante a pavimento e utilizzo di energia esclusivamente idroelettrica proveniente da un serbatoio nelle vicinanze.

immagine 7- *La facciata principale* (<https://www.area-arch.it/villa-vals/>)

immagine 8- *La cucina e il salotto* (<https://mind-exchange.com/villa-vals-12229>)

immagine 9 - *Il bagno* (<https://mind-exchange.com/villa-vals-12229>)

7

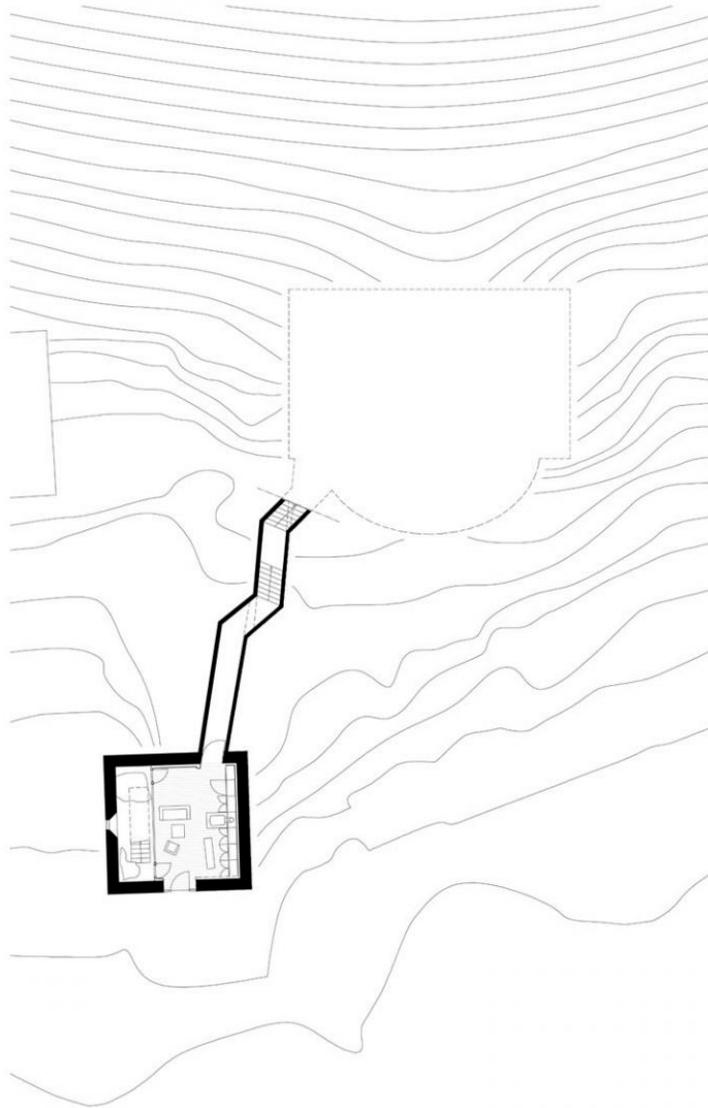


8

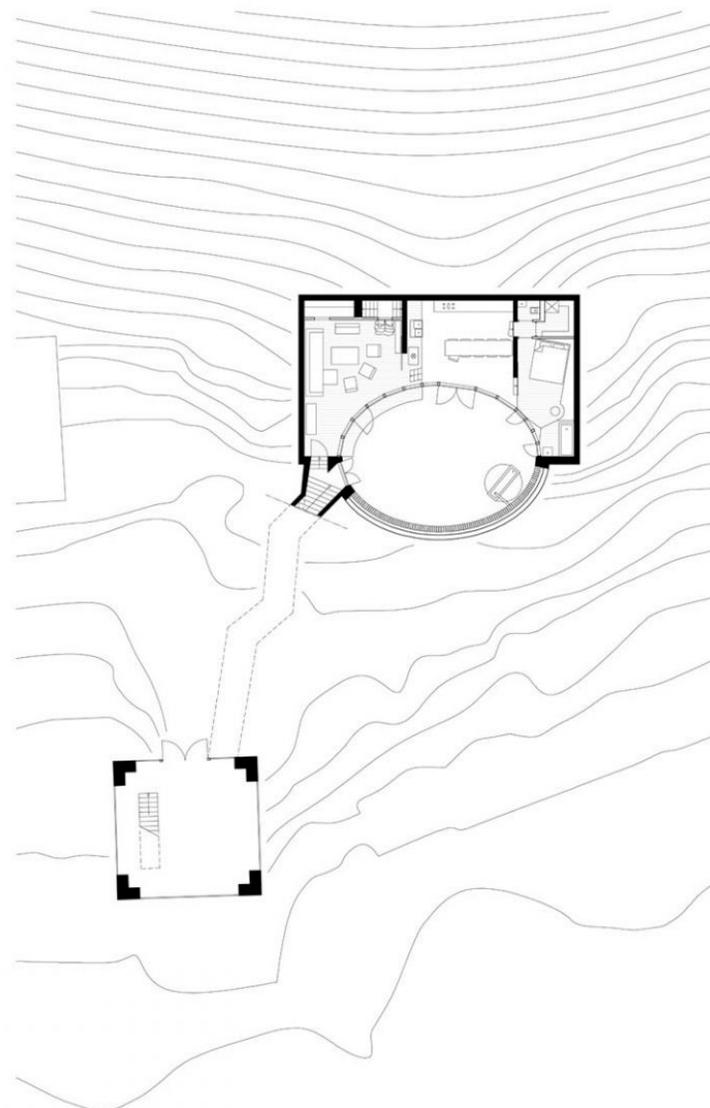


9

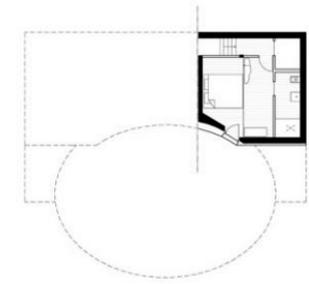




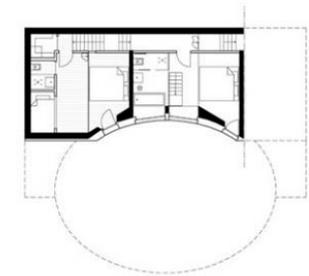
LIVELLO -1
piano interrato



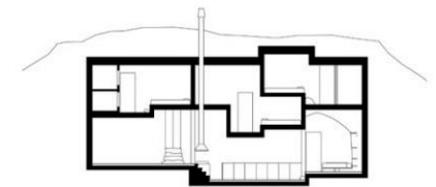
LIVELLO 0
piano terra



+2



+1



SEZIONI

Immagine 10: <https://www.modlar.com/photos/2287/villa-vals-exterior/>

CASA DE RETIRO ESPIRITUAL



Dati dell'immobile

Luogo: Siviglia, Spagna

Progetto: Emilio Ambasz

Committente: RODA S.L.

Anno di progettazione: 1975

Anno di realizzazione: 2004

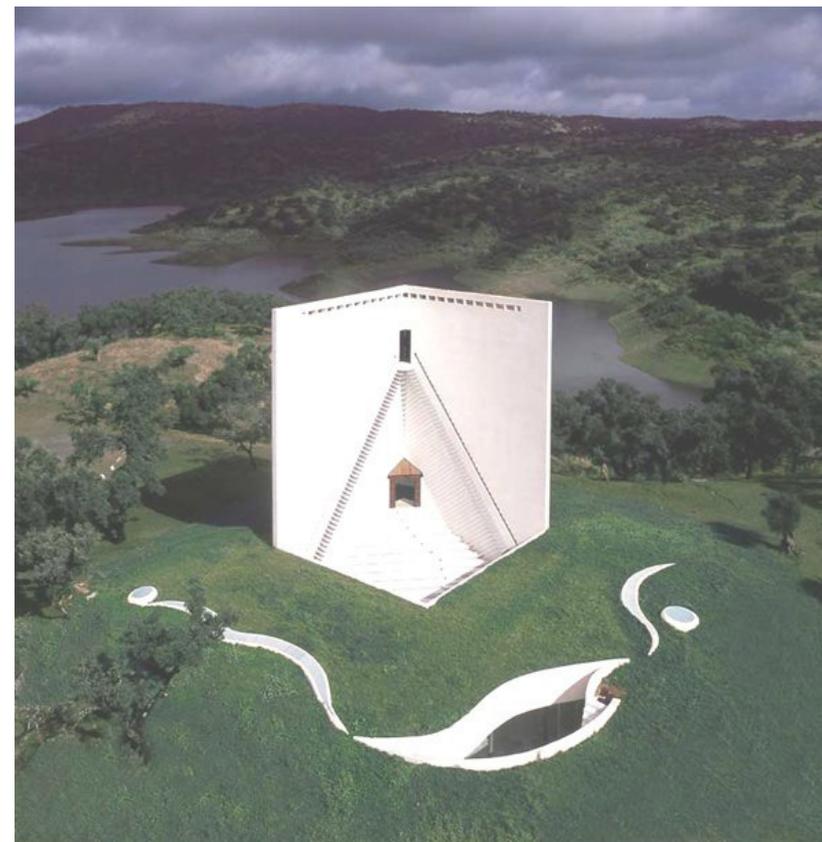
Superficie: 280 mq.

Questa dimora è una pietra miliare dell'architettura. Progettata nel 1975 dall'architetto argentino Emilio Ambasz, fu realizzata soltanto nel 2004, ma fece subito parlare di sé, grazie anche ad una mostra dedicata al Museo di Arte Moderna di New York (MoMA).

Si tratta di un'abitazione interamente ipogea, ad eccezione di due muri bianchi che si stagliano nel cielo e che ricordano le vele spiegate al vento di una barca a vela. La loro funzione è quella di identificare l'ingresso della casa. Attraverso un'ampia scalinata si accede al patio attorno al quale si sviluppano tutti gli ambienti interni, come da tradizione andalusa. Questo rafforza lo stretto legame fra architettura e natura, tema molto sentito dal progettista. Il fatto che l'intera casa si sviluppi al di sotto del piano di campagna la rende meno esposta alle escursioni termiche e particolarmente fresca rispetto al clima caldo e secco della Spagna meridionale. Il materiale utilizzato per la sua costruzione è il calcestruzzo armato, a volte unito all'utilizzo del mattone a vista. Le sinuose aperture nel terreno illuminano gli ambienti interni, soprattutto la zona giorno.

Un aspetto interessante riguarda la gestione degli spazi: all'interno infatti esiste un unico spazio continuo in cui sono collocati dei contenitori che assolvono la funzione di vere e proprie stanze.

11



12



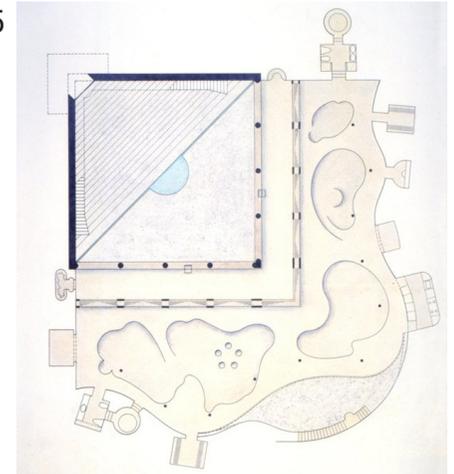
immagini 11 e 12 - Viste dell'esterno (<https://tecne.com/arquitectura/casa-cordoba/>)

immagine 13- Una vista dell'interno (<https://www.artwort.com/2015/05/29/architettura/emilio-ambasz-metafore-di-architettura/>)

immagine 14- Sezione longitudinale (<https://www.moma.org/collection/works/683?locale=it>)

immagine 15 - Planimetria (<https://www.moma.org/collection/works/689>)

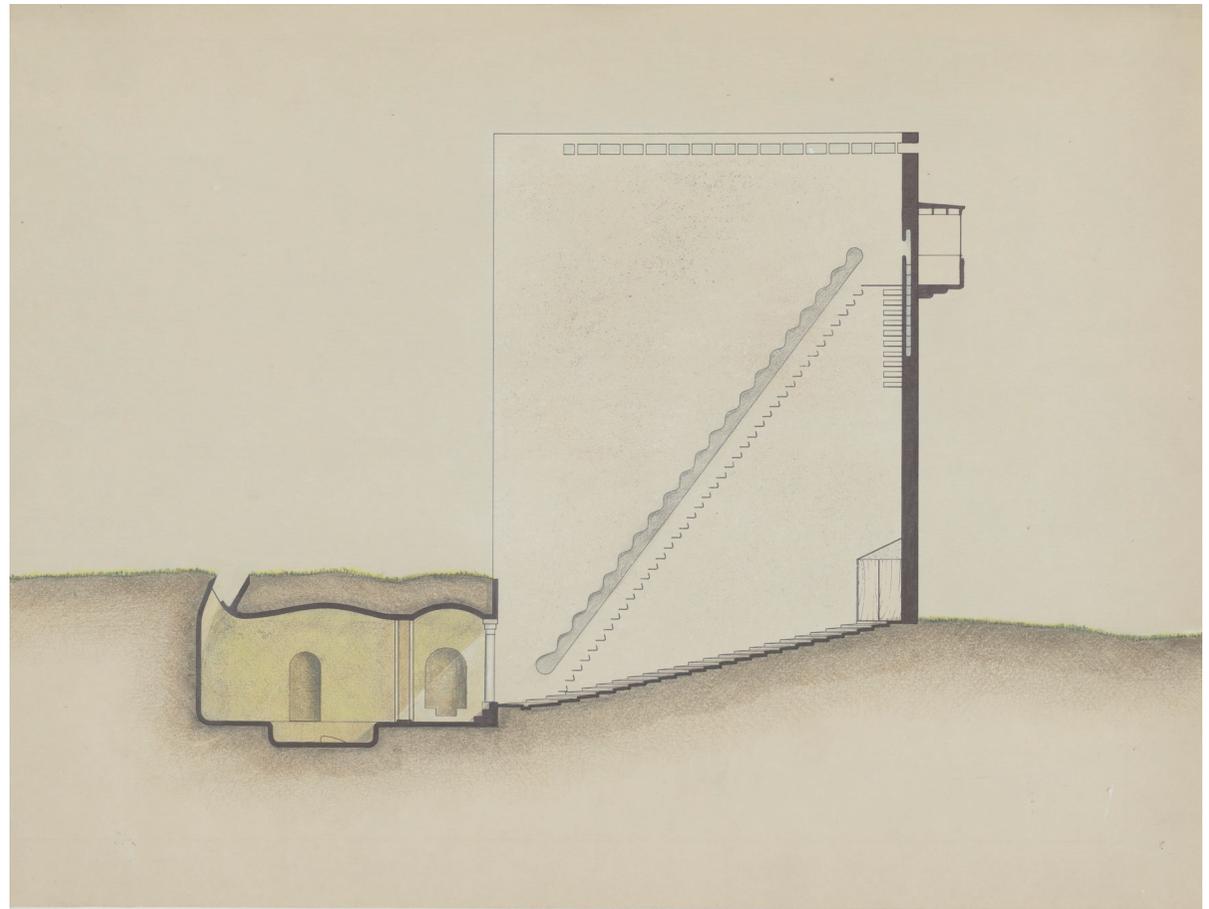
15



13



14



EARTH HOUSE ESTATE LÄTTENSTRASSE



Dati dell'immobile

Luogo: Dietikon, Svizzera

Progetto: Peter Vetsch, Vetsch Architektur

Numero di unità abitative: 9

Superficie: da 60 a 220 mq.

Questo affascinante complesso residenziale è composto da nove abitazioni che si affacciano su un piccolo lago artificiale. Si può subito notare la differenza rispetto ai due casi studio esaminati in precedenza; in questo progetto infatti, le abitazioni si trovano interamente al di sopra del piano di campagna. Questo perchè sono state costruite in superficie e successivamente ricoperte di terra. In senso stretto non si potrebbe dunque parlare di abitazioni ipogee, ma le dolci “colline” create da questo progetto si sposano alla perfezione con la campagna circostante risultando, a prima vista, parte di essa da sempre. Inoltre, l’isolamento termico del terreno e la disposizione delle aperture verso l’esterno rendono questo luogo un esempio perfetto di architettura ipogea.

L’aspetto organico della composizione è una delle caratteristiche di Peter Vetsch, pioniere dell’architettura ipogea organica di cui abbiamo già parlato in precedenza. Questo progetto risulta interessante non solo per il fabbricato architettonico, ma per l’intero concept che ruota intorno all’ Earth House Estate Lattenstrasse. Difatti, i terreni agricoli circostanti, sono coltivabili gratuitamente dagli abitanti del luogo.

La disposizione degli spazi interni segue le tradizionali regole di progettazione: la zona giorno è rivolta verso sud, mentre la zona notte verso nord. Interessante peculiarità riguarda i bagni, posizionati al centro delle abitazioni e tutti dotati di aperture verso l’esterno dalle quali filtra la luce naturale del sole. L’isolamento è realizzato in parte con vetro riciclato e il calcestruzzo garantisce un’ottimo isolamento da acque piovane e umidità.

immagine 16- Vista di un patio esterno di un’abitazione (<https://www.slideshare.net/alenzuka/earth-house-kue-u-priodi>)
immagine 17- Salotto e sala da pranzo di un’abitazione (<https://www.pinterest.it/pin/338614465719301332/?ip=true>)

16



17



EARTHSHIP BIOTECHTURE



Dati dell'immobile

Luogo: Taos, New Mexic, USA

Progetto: Micheal Reynolds

Numero di unità abitative: 79

A poche miglia da dove la Route 64 del New Mexico attraversa il Rio Grande, una collezione di edifici dall'aspetto alieno spiccano nel paesaggio altrimenti desolato. Queste case, 79 in totale, sono costruite parzialmente nel loro ambiente naturale, ognuna con ampie pareti vetrate rivolte direttamente a sud.

Mentre le case, con i loro angoli arrotondati e le pareti colorate fatte di lattine e bottiglie, possono sembrare più astronavi che abitazioni umane, sono esattamente il contrario: questa tipologia costruttiva prende il nome di Earthship, che significa appunto, abitazione terrestre. Situata appena fuori Taos, questa comunità, nota come il più grande agglomerato di Earthship al mondo, fornisce alloggi a tempo pieno ad almeno 130 persone. Sotto il nome di **Earthship Biotecture**, ospita anche un'accademia in collaborazione con la Western Colorado University, un programma di sviluppo interno e un centro visitatori aperto al pubblico.

La "biotettura" di Earthship è quasi completamente autosostenibile e ha come obiettivo quello di rendere indipendenti le abitazioni dalle tradizionali forniture energetiche reperibili dalla rete statale.

Ma Earthship non è soltanto questo: il concetto, ideato dall' architetto Micheal "Mike" Reynolds, prevede la costruzione di unità abitative che fronteggino l'immane spreco di risorse del pianeta. Ecco dunque che l'alta efficienza energetica si unisce all'utilizzo di materiali di scarto per creare case uniche al mondo.

Gli pneumatici dismessi assolvono alla funzione strutturale degli edifici. Una volta posizionati infatti, vengono riempiti di terra formando mura perimetrali robuste e ottimamente coibentate. Bottiglie di vetro e lattine vengono invece utilizzate come decorazione sui muri e per creare curiosi effetti di luce. Le abitazioni inoltre, sono tutte dotate di una serra esposta a sud che ha la funzione di regolare la temperatura all'interno dell'edificio.

immagine 18-19 Alcune abitazioni dell' Earthship Biotecture (https://www.washingtonpost.com/lifestyle/travel/at-this-earthship-community-in-new-mexico-renters-can-give-sustainable-living-a-try/2016/09/27/3f41b3ac-6e23-11e6-9705-23e51a2f424d_story.html)

18



19



CAPITOLO 4

GLI OBIETTIVI

L'obiettivo di questo studio di tesi è quello di sperimentare una tecnologia costruttiva completamente "a secco" realizzando un edificio che integri *sostenibilità ambientale, efficienza energetica e rispetto del paesaggio circostante*.

L'obiettivo secondario, ma non per questo meno importante, è quello di generare interesse verso questi fabbricati tramite un progetto che integri lo spazio interno con quello esterno, l'utilizzo di materiali naturali e un design accattivante.

1 - SOSTENIBILITA' AMBIENTALE

La sostenibilità ambientale può essere intesa sotto vari aspetti. In questo progetto presterò particolare attenzione all'utilizzo dei materiali e alla tecnica costruttiva.

Materiali utilizzati

I materiali utilizzati per realizzare l'abitazione in oggetto dovranno essere reperibili in loco, riciclati o riciclabili ed essere privi di componenti plastiche e colle.

La Tecnica costruttiva

Ho utilizzato una tecnica costruttiva a secco per la realizzazione dell'abitazione in oggetto. Questo approccio permette di limitare al massimo interventi invasivi a lungo termine sull'ambiente e riduce gli scarti e l'inquinamento del sito in fase di cantiere. L'alluminio riciclato comporrà la struttura portante mentre il legno massello di larice rivestirà le facciate. La coibentazione sarà realizzata con pannelli isolanti in fibra di legno.

2 - EFFICIENZA ENERGETICA

Il naturale isolamento termico del terreno permette di risparmiare fino al 70 % sui costi energetici. Inoltre, l'approvvigionamento di energia elettrica avverrà attraverso pannelli fotovoltaici e sarà utilizzata per illuminare gli spazi interni e riscaldarli tramite pannelli radianti.

3 - RISPETTO DEL PAESAGGIO CIRCOSTANTE

Queste abitazioni risultano perfettamente integrate nell'ambiente in cui si trovano. Credo che ad oggi sia sempre più importante rispettare la conformazione originale di un luogo cercando di mantenerne invariato lo "skyline" naturale, per questo motivo mi sono posto l'obiettivo di progettare un edificio che si innalzi il meno possibile rispetto al piano di campagna. Anche il design dell'involucro sarà progettato tenendo conto di questa componente, coniugando materiali naturali, come il legno, e graduali progressioni verso l'alto, rendendo più mite il passaggio dal piano di campagna alla sommità dell'abitazione.

Prima di addentrarsi nella fase progettuale, riporto di seguito alcuni vantaggi e svantaggi delle abitazioni ipogee, potranno essere utili per valutare alcune scelte progettuali, mirate alla risoluzione di alcuni svantaggi.

Vantaggi: riscaldamento e raffrescamento passivi, controllo ottimale dell'umidità, protezione da vento e terremoti, rispetto del paesaggio circostante, protezione dal fuoco, grande luminosità, maggior resistenza strutturale, maggior insonorizzazione.

Svantaggi: design complesso, embodied energy, scarsa ventilazione naturale, limitate vie di fuga, presenza di aree buie lontano dalle aperture principali.

CAPITOLO 5

IL PROGETTO

5.1 La scelta del sito

Quando si parla di zona rurale si intende qualsiasi luogo al di fuori di una città o di un centro abitato. Tuttavia la campagna, soprattutto in zone collinari, varia spesso la propria morfologia e trovare il luogo adatto alla costruzione di un'architettura ipogea può risultare più lungo di quanto ci si aspetti.

Trattandosi di uno studio accademico, ho scelto un sito che possedesse alcune caratteristiche che ritengo molto importanti e che lo rendono una sorta di sito ideale, un "locus amoenus" dell'architettura ipogea.

Il sito è locato nel comune di Pecetto Torinese.

Molte volte, durante le passeggiate estive con gli amici, mi sono trovato ad osservare quella piccola collina ai confini col comune di Chieri, ultimo sperone di roccia prima della sconfinata pianura padana, sognando, un giorno, di potervi costruire una casa proprio sulla cima.

Ogni volta però ne uscivo turbato: l'idea di edificare qualsiasi cosa in cima a quell'angolo di paradiso, ne avrebbe indiscutibilmente cambiato l'aspetto e ridotto il fascino.

Questo sentimento malinconico mi si è presentato molte volte osservando quel luogo fino a quando, scrivendo questa tesi, ho capito che la soluzione era proprio davanti ai miei occhi...una casa ipogea!

Osservando il sito con occhio critico ho individuato alcune caratteristiche particolarmente favorevoli allo sviluppo del mio progetto:

- la cima della collina risulta essere pianeggiante evitando la costruzione di muri di contenimento del terreno di dimensioni eccessive.
- l'esposizione al sole è ottimale: non vi è alcun ostacolo nei dintorni, trovandosi in una posizione di assoluta prominenza rispetto alla campagna circostante.
- la posizione sopraelevata permette un ottimo deflusso delle acque piovane.
- nelle immediate vicinanze vi è un corso d'acqua che con un po' di immaginazione potrebbe un giorno diventare un'ottima fonte di energia elettrica pulita.

5.2 Posizionamento geografico

INDIRIZZO: strada del Passatempo, 10023, Cheri (TO)

COORDINATE GEOGRAFICHE: 45°01'25.6" N ; 7°78'00.5" E

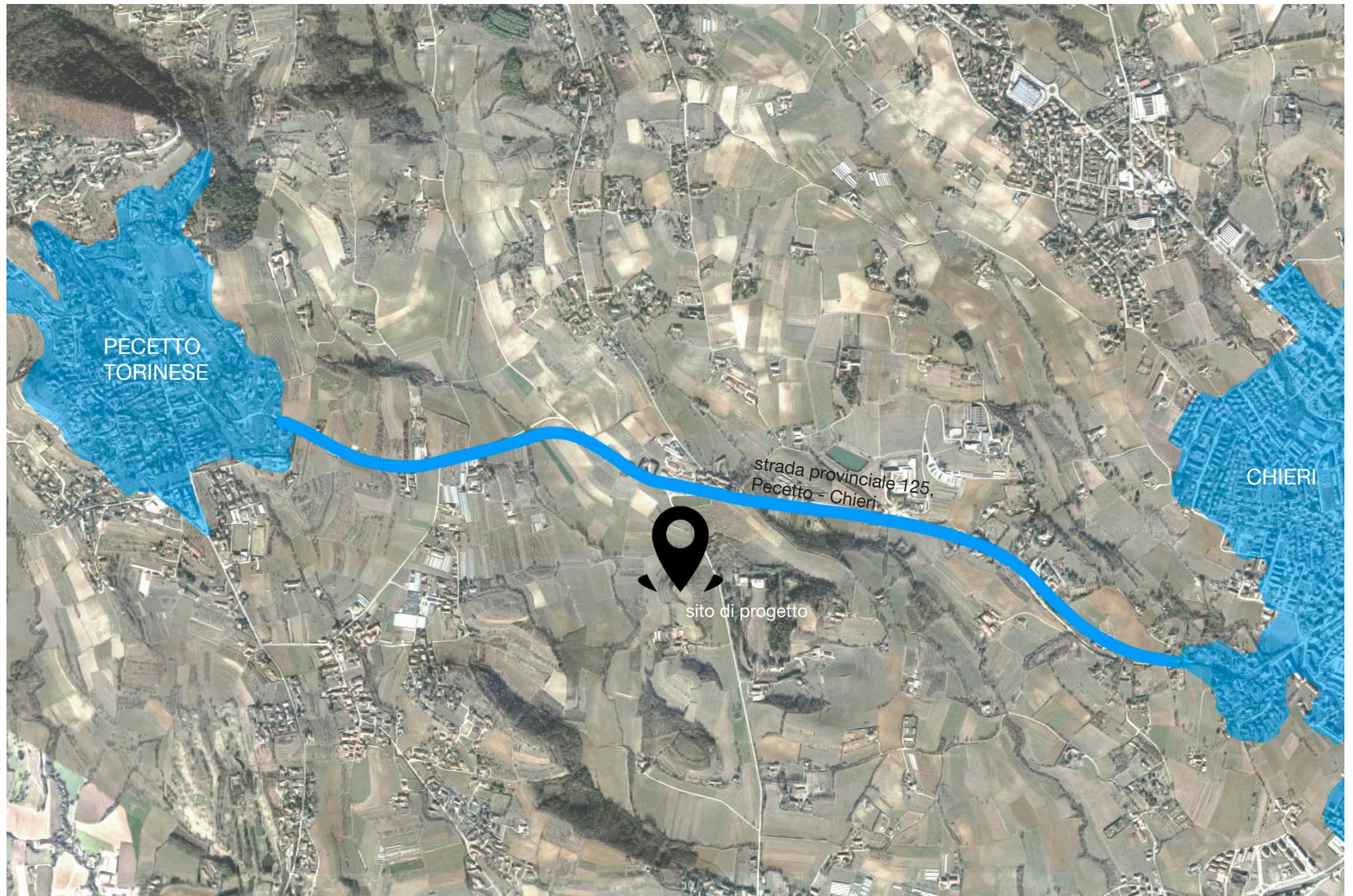
Inquadramento territoriale del sito di progetto all'interno dell'area metropolitana della città di Torino. Si noti la vicinanza alle città di Chieri e Moncalieri.

Immagine reperita dagli archivi del servizio Maps di Google, consultabile all'indirizzo web:

<https://www.google.com/maps/@45.0107527,7.7794764,289m/data=!3m1!1e3>

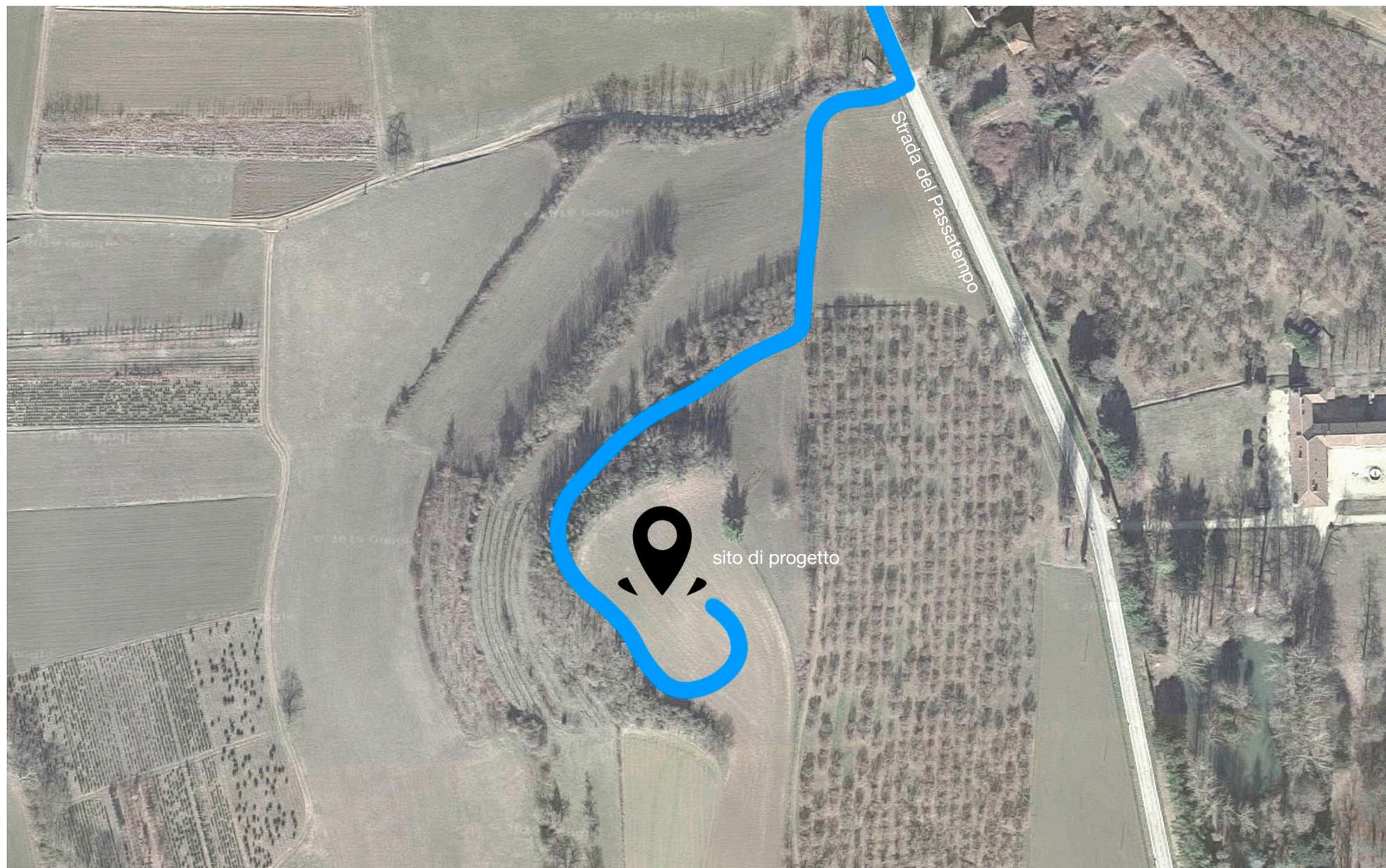


Immagine reperita dagli archivi del servizio Maps di Google, consultabile all'indirizzo web:
<https://www.google.com/maps/@45.0107527,7.7794764,289m/data=!3m1!1e3>



Ipotesi di accesso al sito di progetto. La strada segnata in blu è attualmente esistente, ma dovrebbe essere allargata nel tratto finale per consentire l'accesso dei mezzi sulla sommità della collina.

Immagine reperita dagli archivi del servizio Maps di Google, consultabile all'indirizzo web:
<https://www.google.com/maps/@45.0107527,7.7794764,289m/data=!3m1!1e3>



Vista satellitare a volo di uccello dell'area di progetto.

Si noti la posizione di assoluta prominenza del luogo sull' ambiente circostante e l' esposizione ottimale alla luce del sole

Immagine reperita dagli archivi del servizio Maps di Google, consultabile all'indirizzo web:

<https://www.google.com/maps/@45.0107527,7.7794764,289m/data=!3m1!1e3>



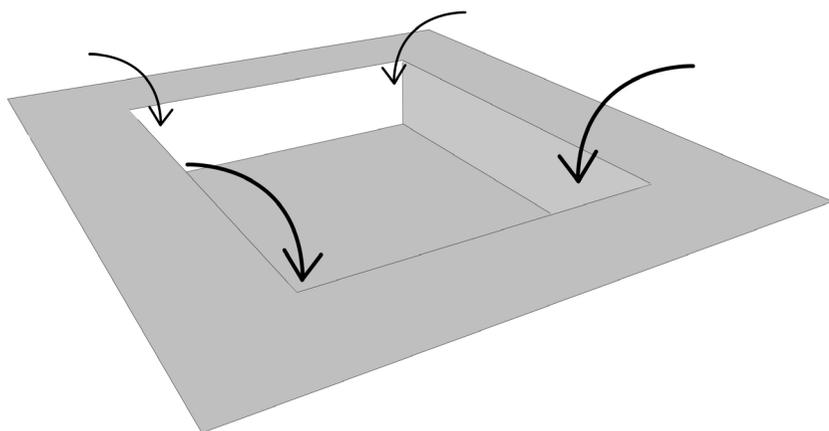
5.3 Il concept e il processo costruttivo

Il progetto è composto da tre parti: la zona giorno, che si sviluppa al di sopra del piano di campagna, la zona notte, interamente ipogea, ed un patio coperto anch'esso interrato, che avrà la funzione di illuminare gli spazi interni, favorire la ventilazione naturale e mettere in collegamento l'ambiente esterno con quello interno.

Si possono dunque individuare alcuni processi che hanno condotto al risultato finale.

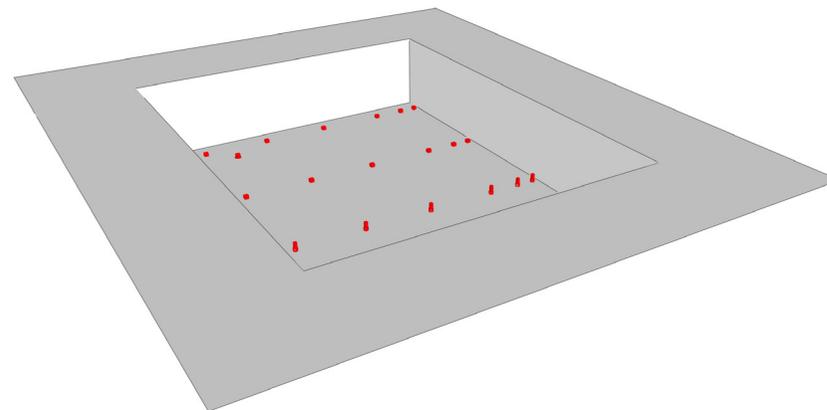
Fase 1: lo scavo

Se per la realizzazione di ogni fabbricato architettonico le operazioni di escavazione del terreno sono la fase iniziale, in un'opera ipogea lo scavo è parte integrante dell'edificio fin dalla fase concettuale.



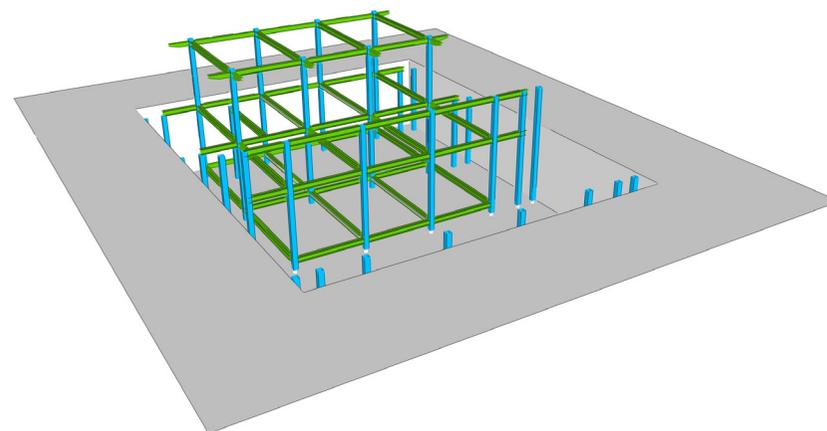
Fase 2: i pali di fondazione

Terminato lo scavo si passa al posizionamento dei micropali di fondazione. Questo sistema sostituisce l'utilizzo di una platea in cemento armato e offre solido supporto alla realizzazione della struttura soprastante.



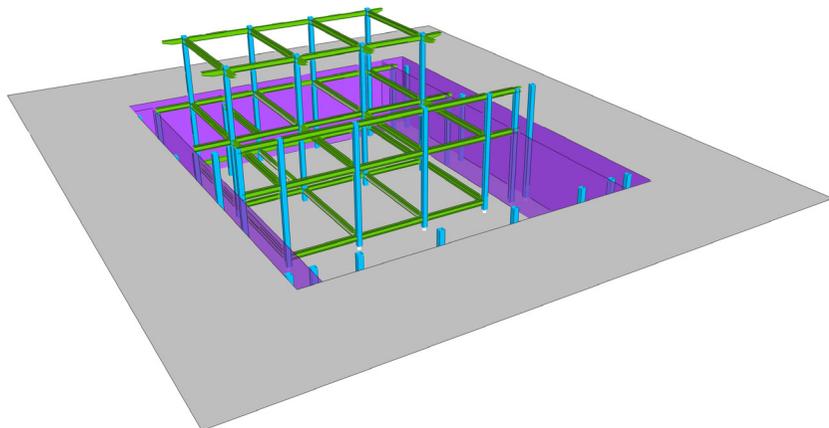
Fase 3: la struttura

A questo punto si posiziona la struttura composta da pilastri e travi di alluminio riciclato. Alcune parti delimiteranno lo spazio interno, altre avranno il ruolo di supportare le pareti in lamiera grecata per il contenimento del terreno.



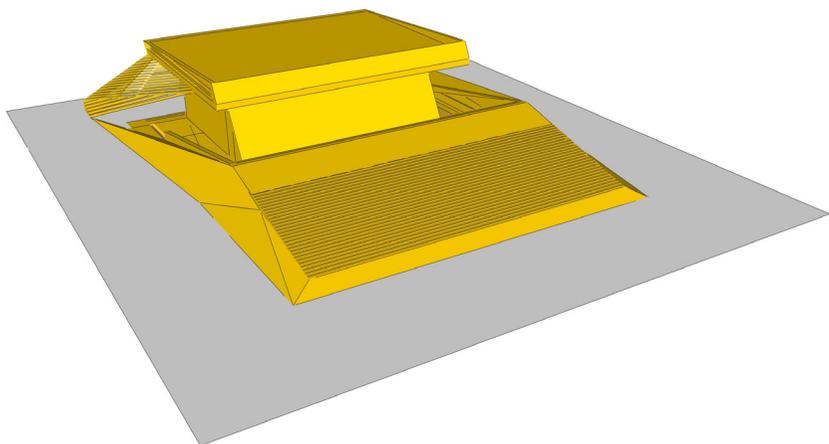
Fase 4: i muri di contenimento del terreno

Anche in questo caso, per evitare l'utilizzo del cemento armato ho deciso di ricorrere alla creazione di una doppia parete che svolga la funzione di intercapedine fra il terreno e i muri interni. Questa soluzione è una rivisitazione del tipico scannafosso, utilizzato in vari tipi di fondazione per permettere l'aerazione dei locali sotterranei e l'installazione di bocche di lupo che facilitino l'ingresso della luce all'interno dell'edificio.



Fase 5: l'involucro

In questa fase si procede con il posizionamento delle tamponature orizzontali e verticali, la coibentazione e la realizzazione di tutte le componenti aggiuntive, come le schermature e il tetto giardino.



Fase 6: fase di riempimento

Terminati i processi costruttivi, l'ultima fase prevede l'utilizzo del terreno per riempire gli spazi vuoti fra l'abitazione e l'ambiente circostante.

5.4 L'edificio

Passiamo ora ad analizzare l'edificio nel dettaglio.

La composizione si articola su tre livelli differenti: il piano interrato, il piano terreno e il tetto giardino.

Il piano interrato (superficie 200 mq.)

Questo livello si trova interamente al di sotto del piano di campagna. Ospita un ampio **giardino coperto** della superficie di **75 mq.** e la **zona notte dell'abitazione**, in cui sono situate due camere da letto (la stanza patronale e una camera doppia), due bagni, un salotto che si affaccia sul giardino grazie a un'ampia vetrata e gli **spazi tecnici** in cui verranno inserite tutte le componenti tecnologiche e impiantistiche necessarie alla fornitura di energia elettrica (inverter e batterie Tesla PowerWall), boiler e spazi per lo stoccaggio di materiali, per un totale di **125 mq.**

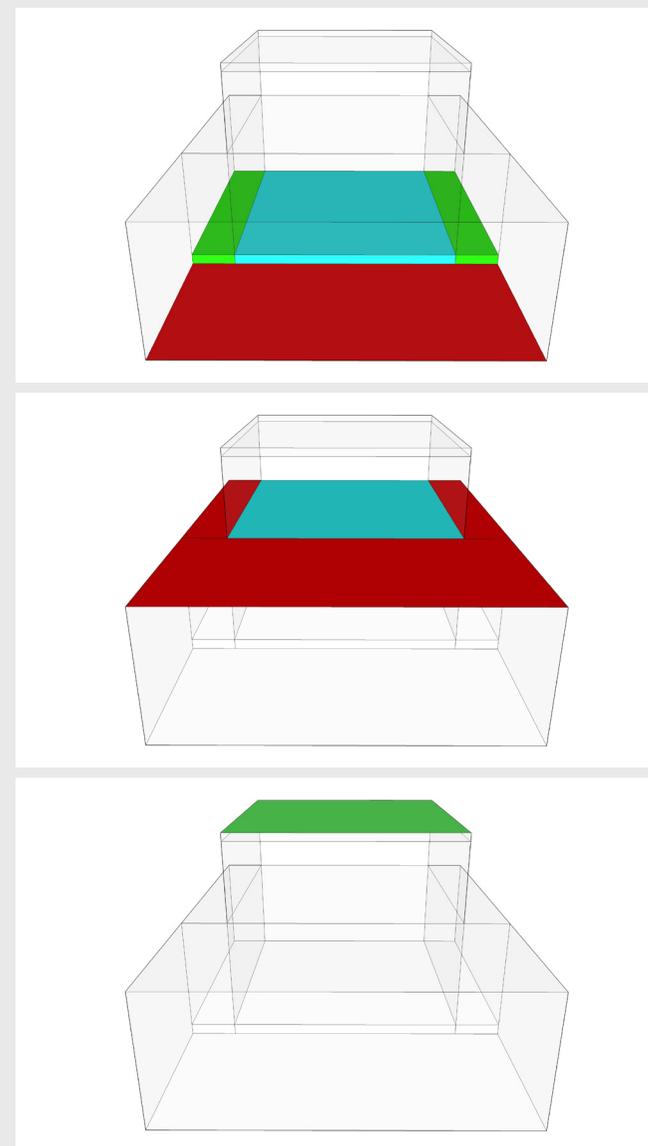
Il piano terreno (superficie 90 mq.)

Il piano terreno si compone di una **zona living open-space** in cui si trovano la cucina, la sala da pranzo e un salotto, per una superficie di **45 mq.** Attraversando una vetrata a 360° si passa all'esterno dove è stato progettato un **ampio terrazzo** da ulteriori **45 mq.** e un piccolo patio coperto al di sotto delle schermature verticali in legno.

Il tetto giardino (superficie 45 mq.)

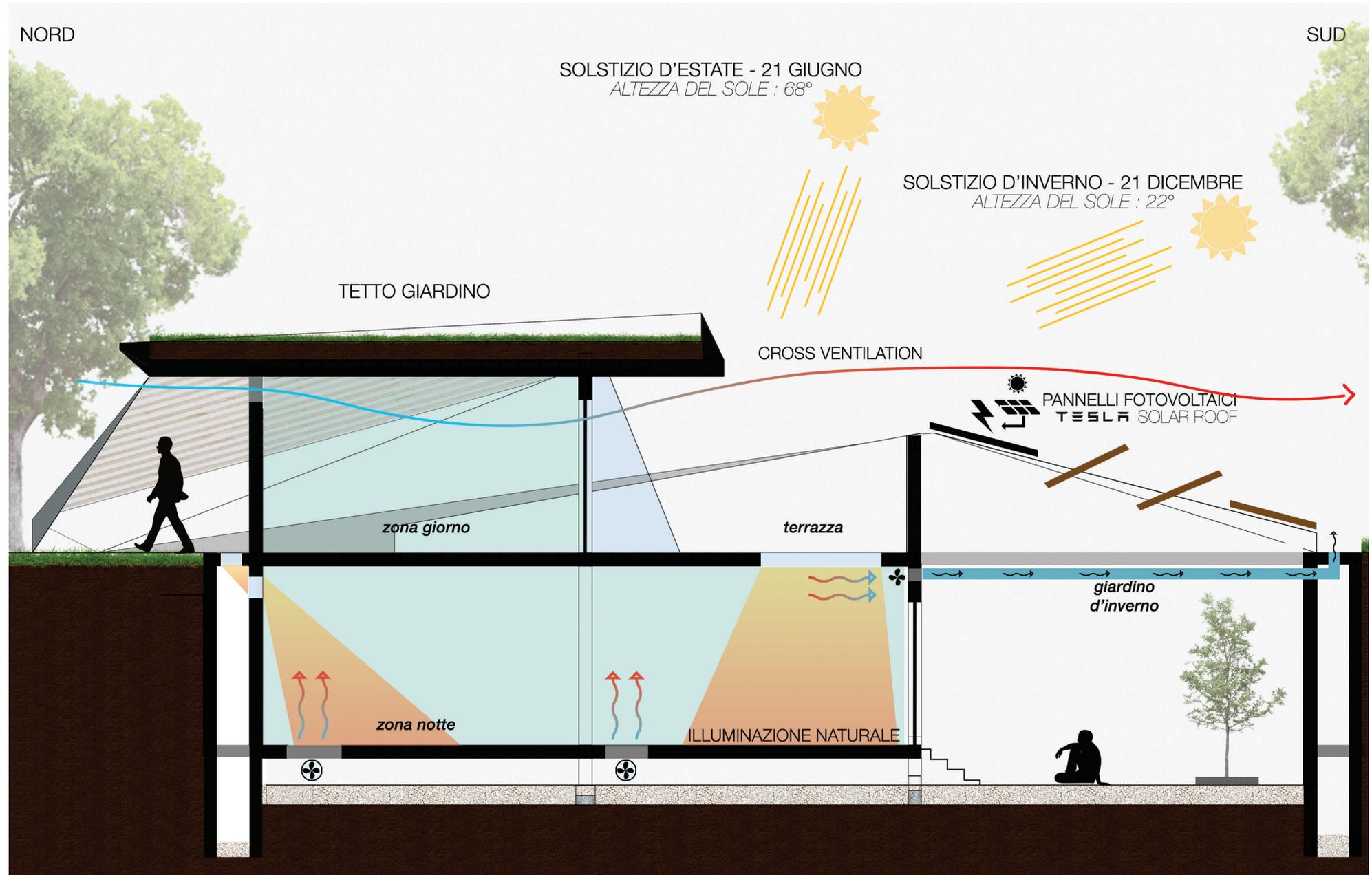
Per realizzare la sommità dell'edificio ho scelto di progettare un **tetto giardino** estensivo, che non necessiti dunque di particolare manutenzione e che, grazie al suo spessore ridotto rispetto alla tecnologia intensiva, consenta di ridurre il peso del terreno e degli accumuli idrici soprastanti.

Schemi volumetrici dei tre livelli dell' edificio



Sezione di sostenibilità

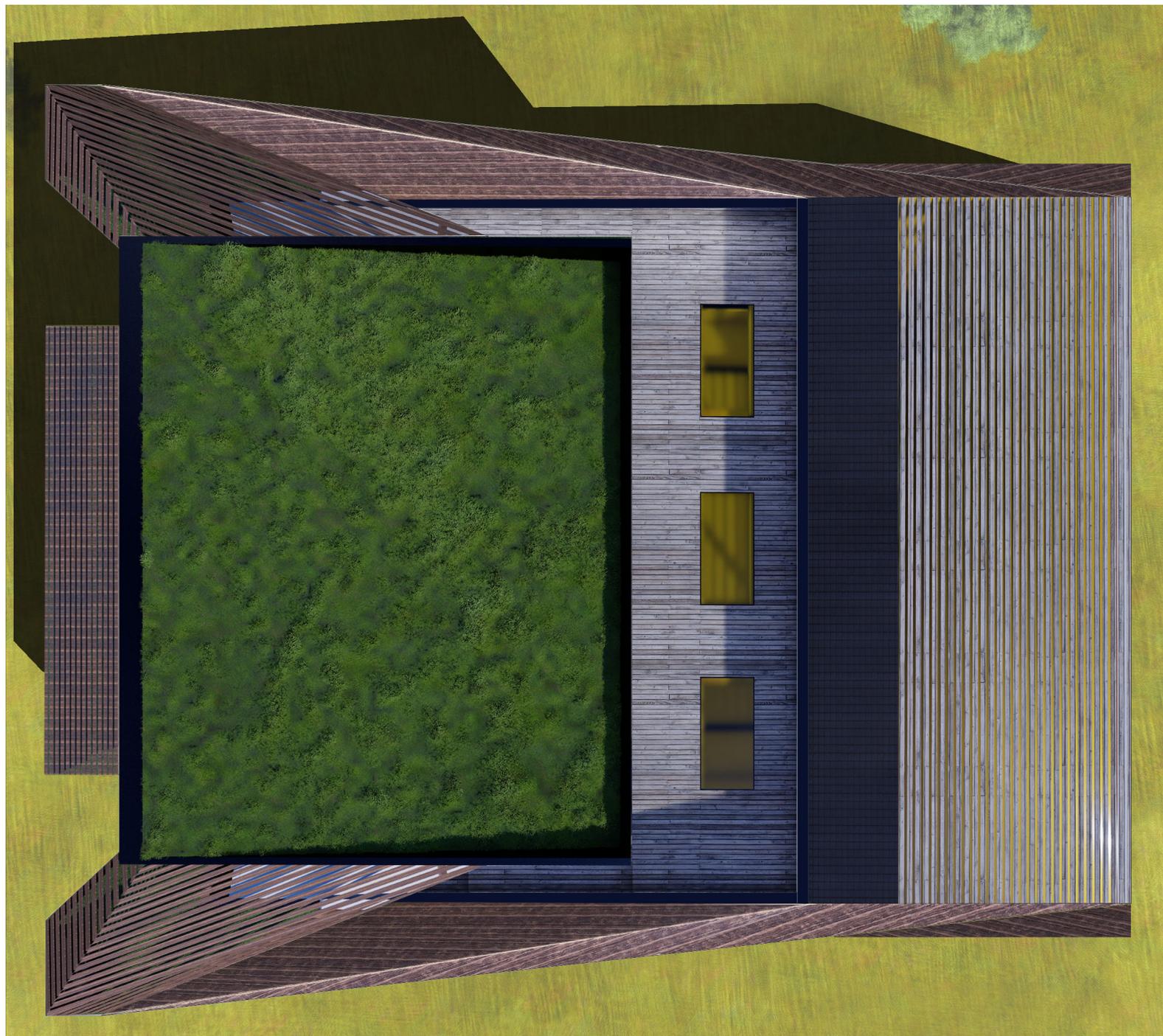
Questo schema illustra la disposizione generale degli ambienti, i principali flussi d'aria e le fonti di illuminazione all'interno dell'edificio.



5.4.1 Gli spazi esterni

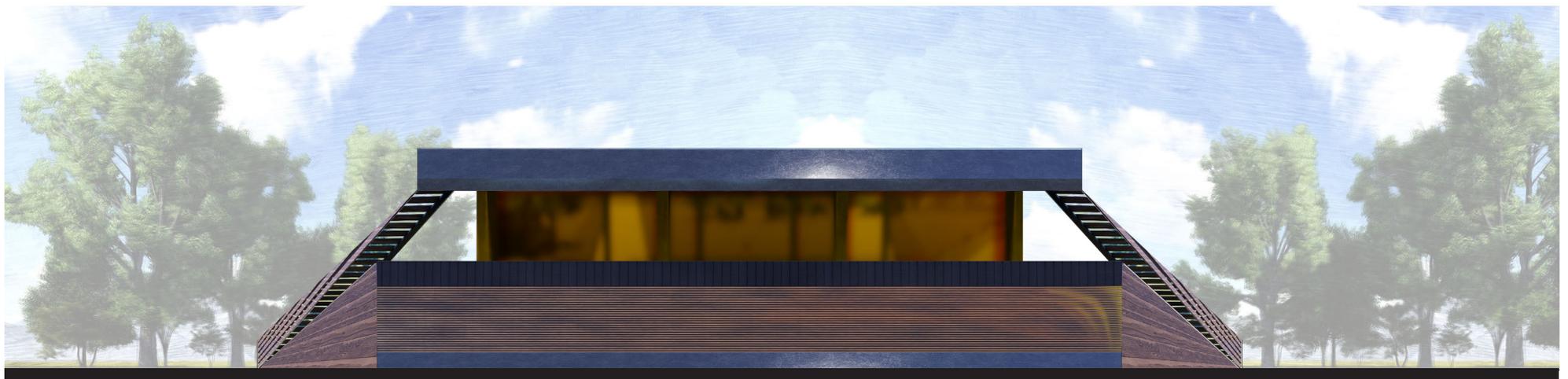
PLANIMETRIA GENERALE

scala 1:100



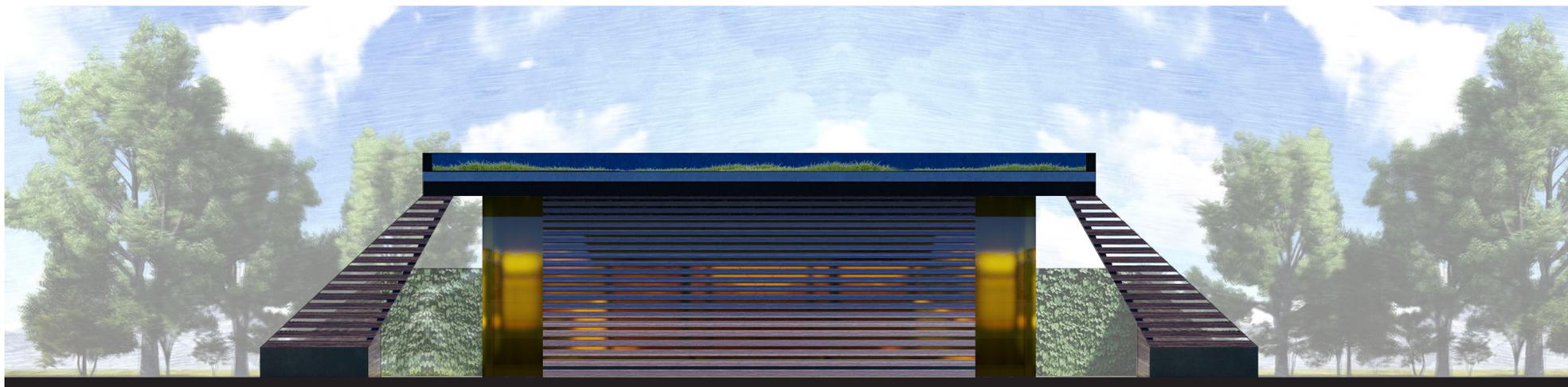
PROSPETTO SUD

scala 1:100



PROSPETTO NORD

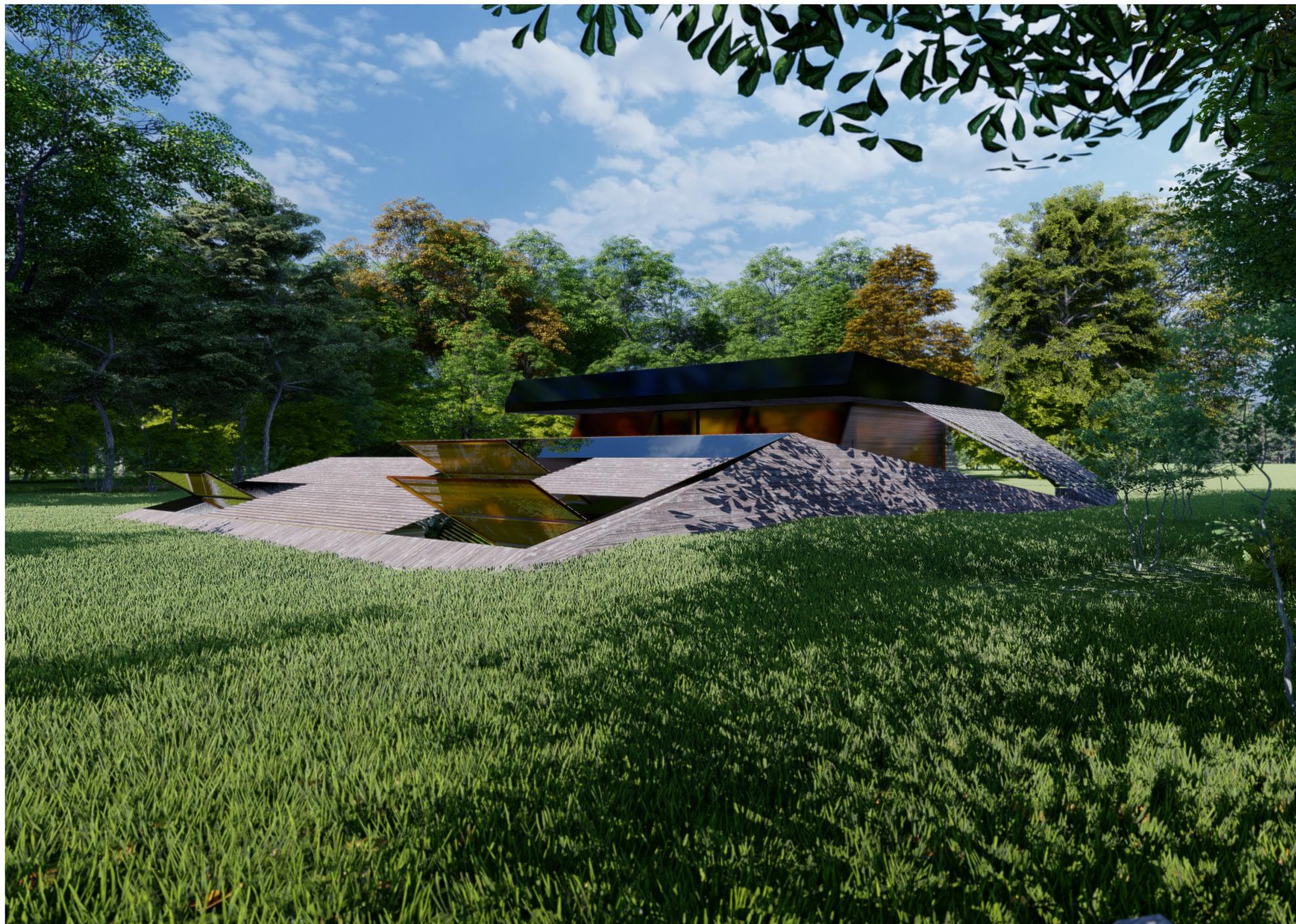
scala 1:100



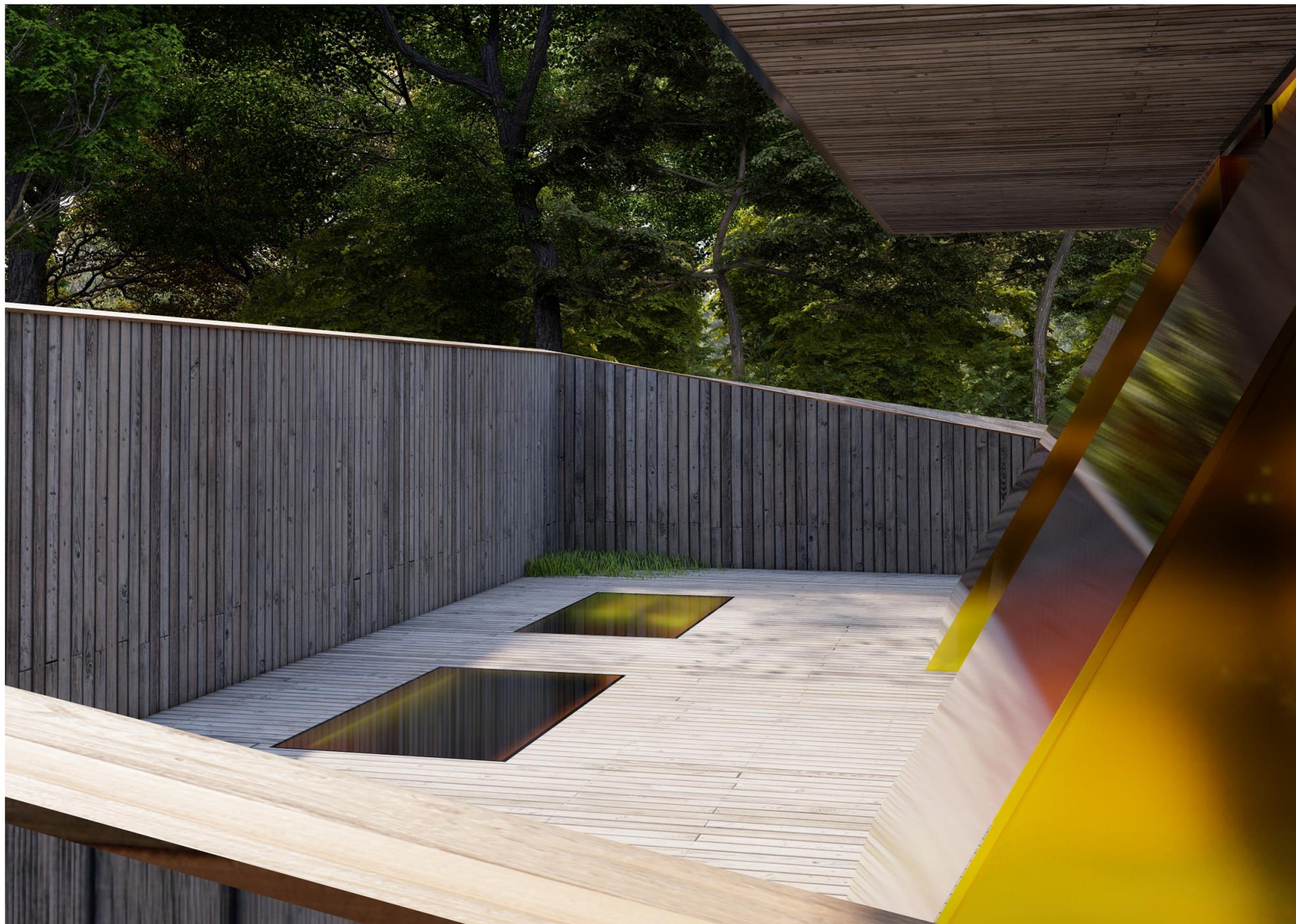
PROSPETTO OVEST

scala 1:100





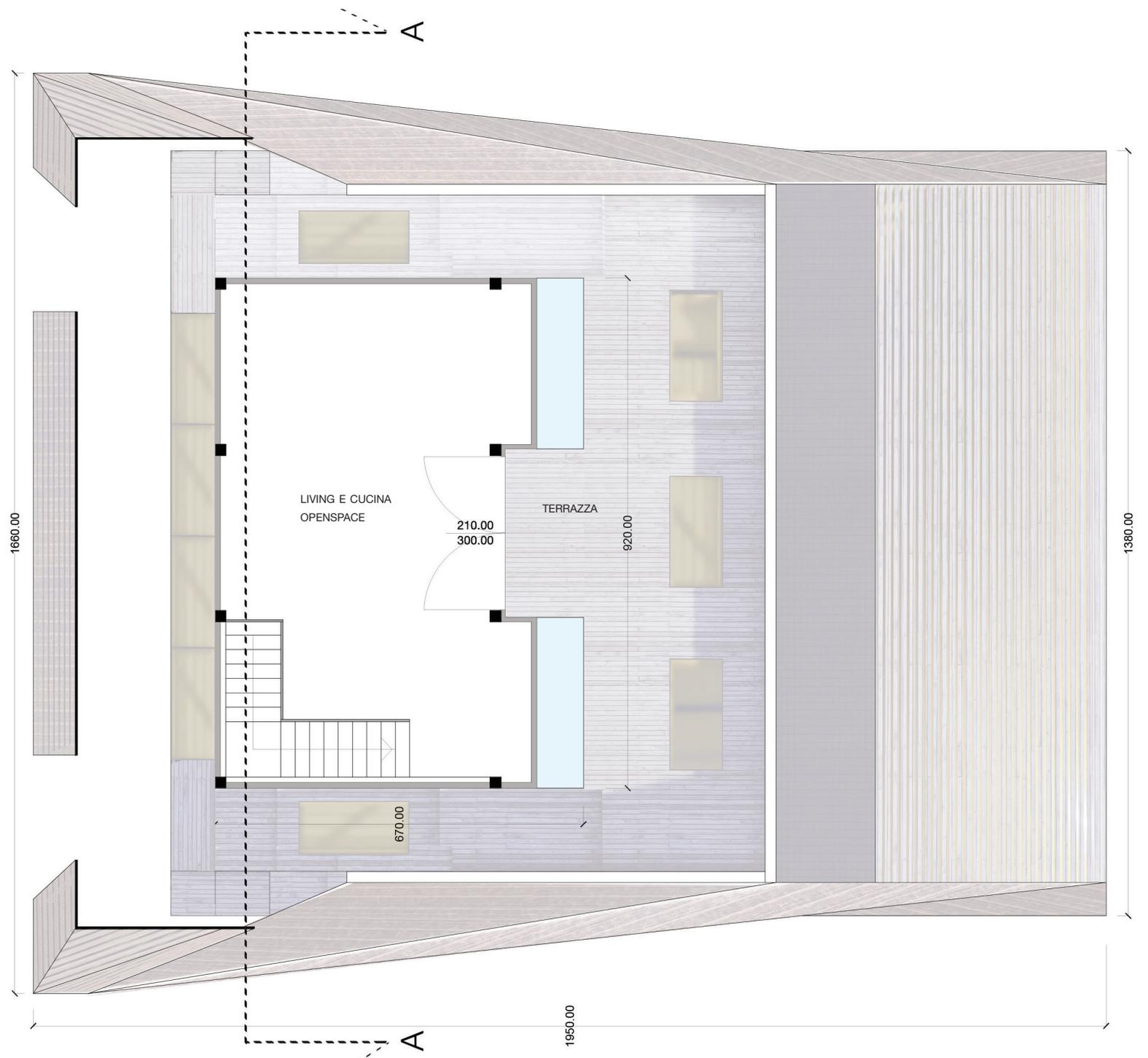




5.4.1 Gli spazi interni

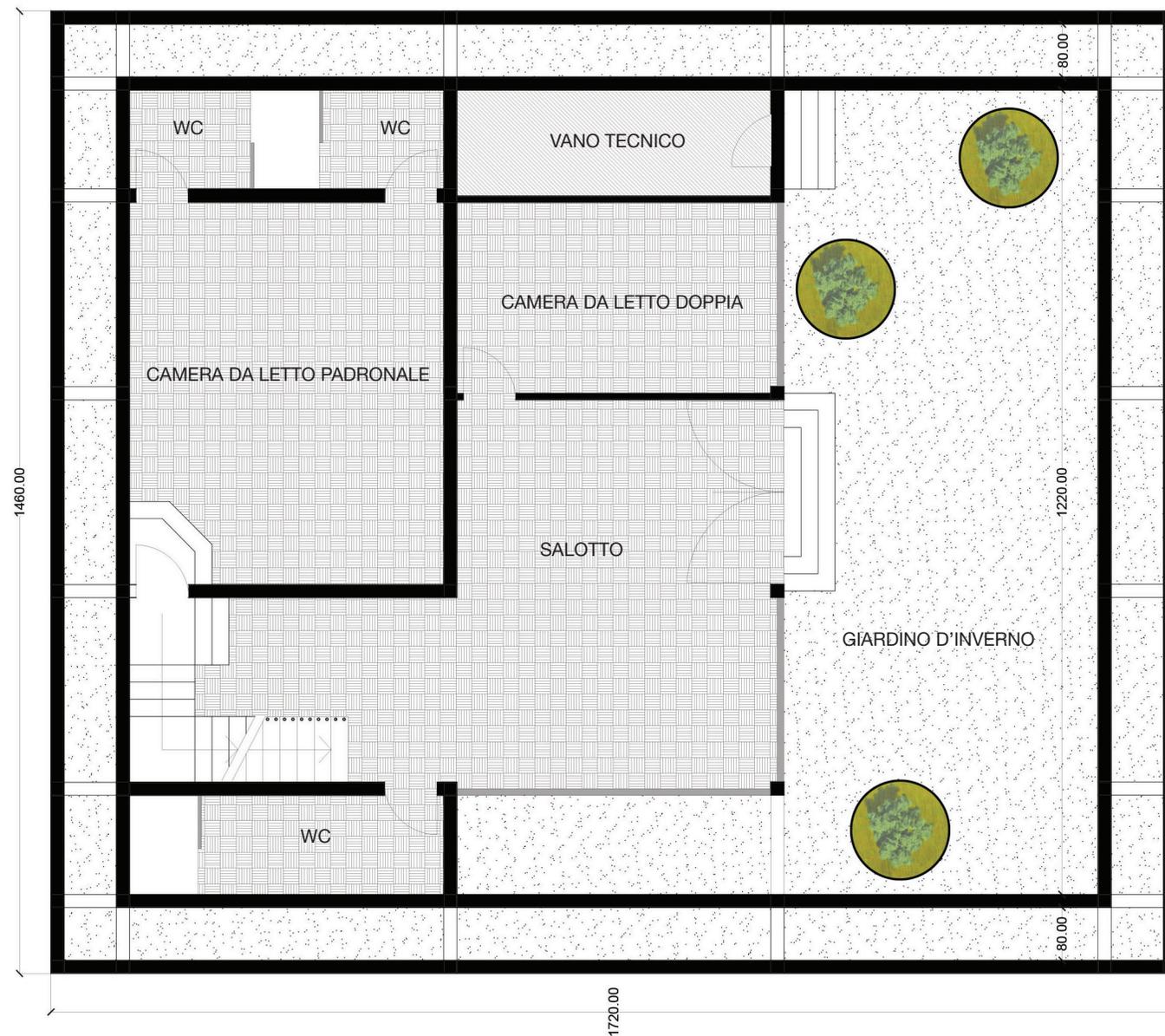
PLANIMETRIA PIANO TERRA

scala 1:100



PLANIMETRIA PIANO IPOGEO

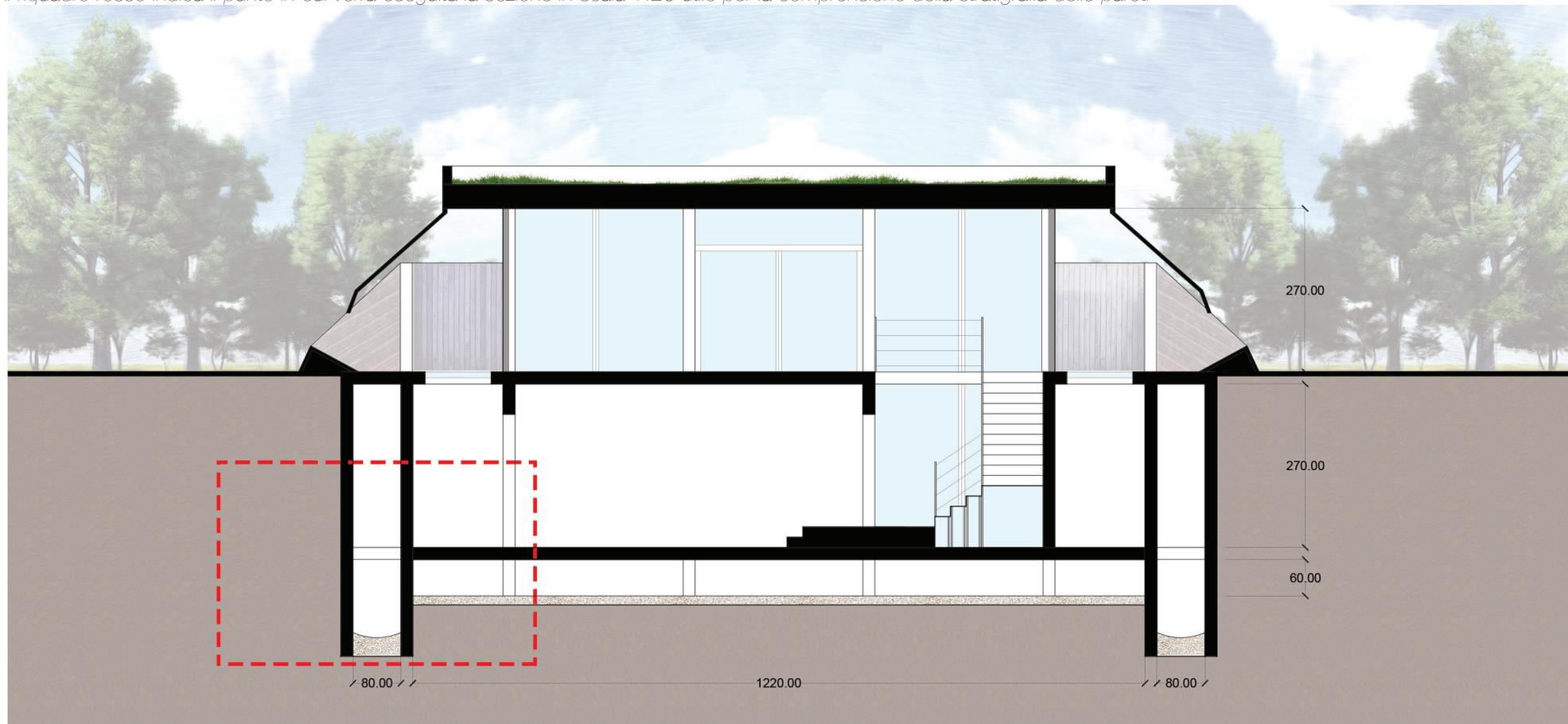
scala 1:100

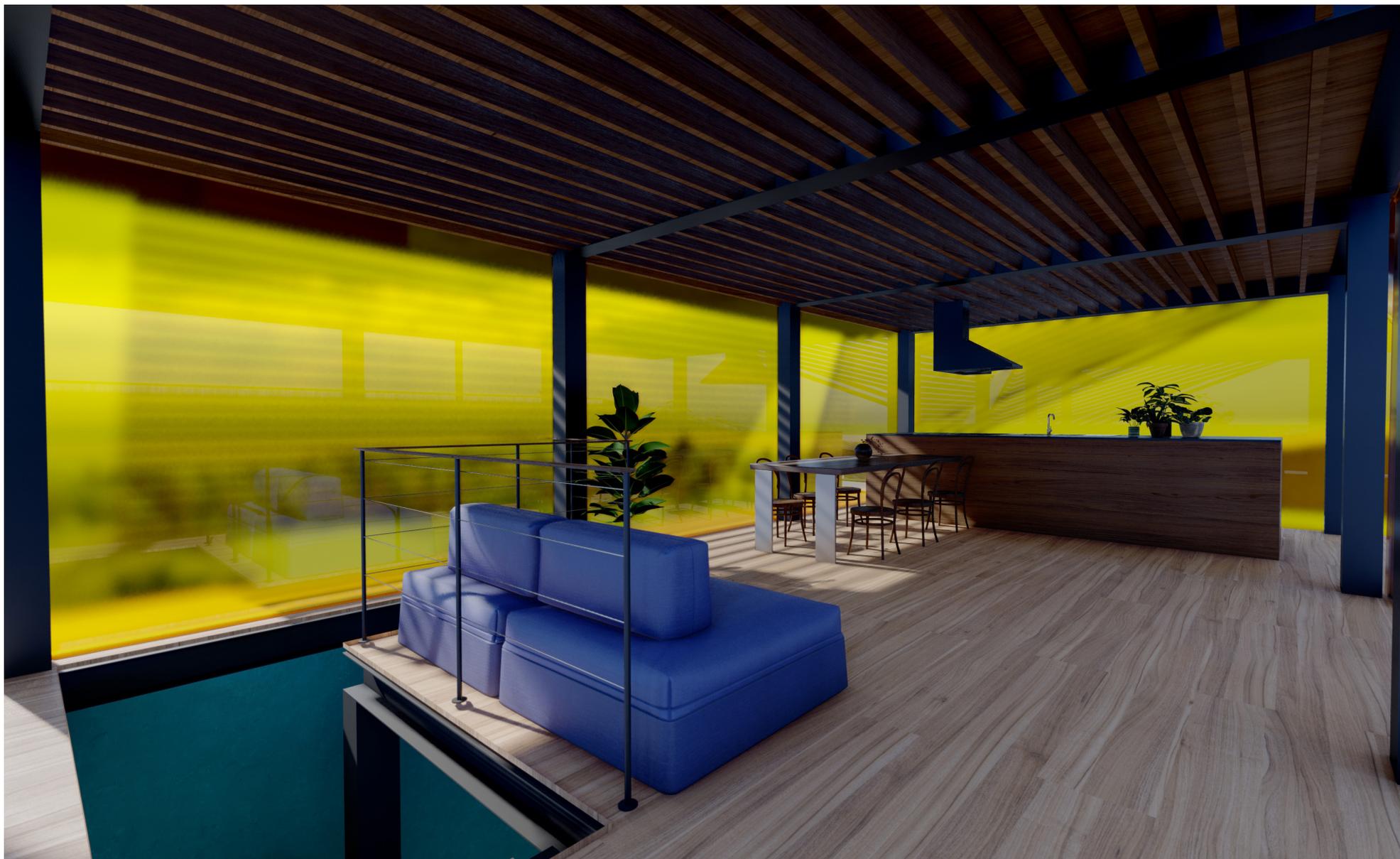


SEZIONE TRASVERSALE A-A

scala 1:100

Il riquadro rosso indica il punto in cui verrà eseguita la sezione in scala 1:20 utile per la comprensione della stratigrafia delle pareti





Render: vista della cucina e del salotto "open space" al piano terreno.



Render: vista del giardino d'inverno al piano ipogeo.



Render: vista del salotto al piano ipogeo.

CAPITOLO 6

LE TECNOLOGIE

6.1 Le fondazioni

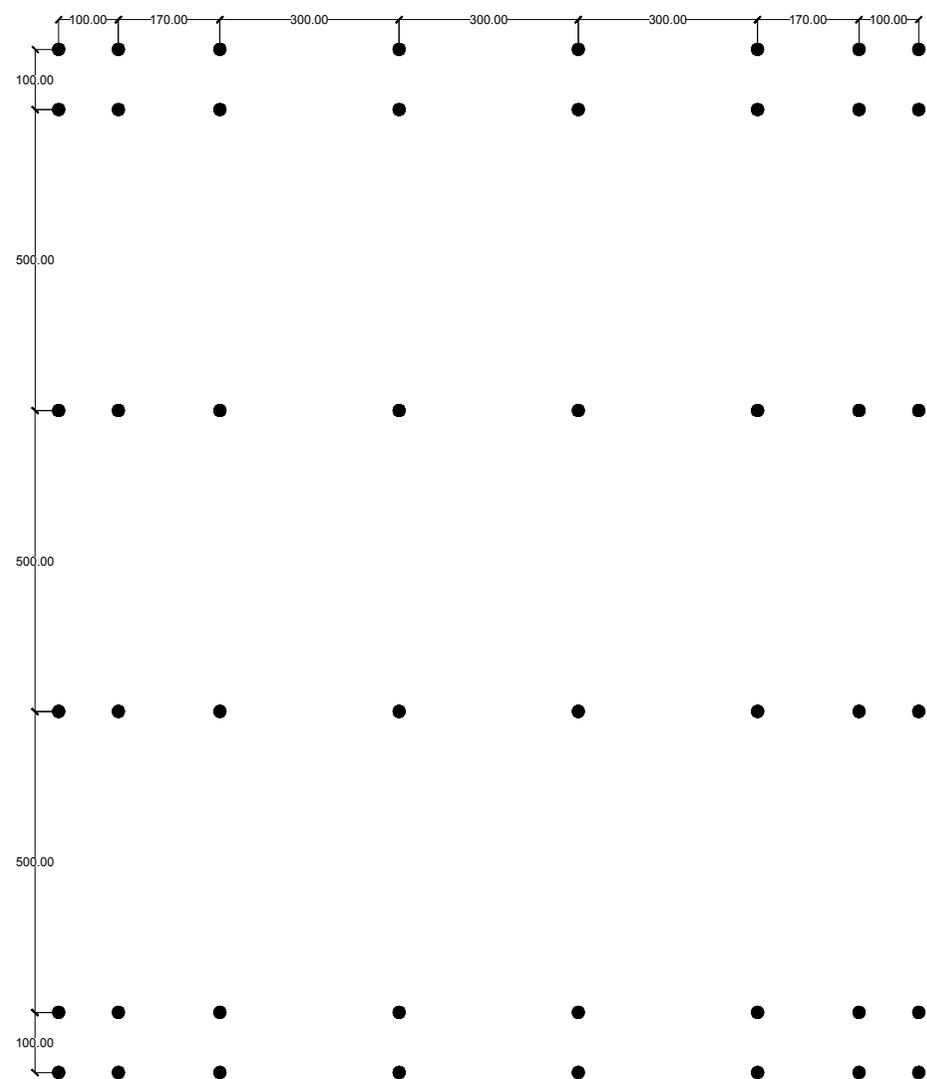
Le fondazioni sono realizzati con micropali infissi in acciaio realizzati dall'azienda italiana **FASTPILE®**. I pali vengono infissi nel terreno tramite l'utilizzo di un macchinario pesante dal peso di 400 kN.

Il procedimento di posa si articola nei seguenti passaggi:

1. posizionamento del macchinario sul punto di infissione
2. Allineamento del martinetto di infissione alla direzione di infissione del micropalo
3. Spinta del primo modulo di $L=1,0$ m nel terreno
4. Giunzione del primo modulo al successivo
5. Infissione e giunzione dei moduli successivi

Il raggiungimento della pressione di infissione stabilita da progetto si raggiunge tramite la lettura di un manometro posizionato sul martinetto di spinta. I vantaggi di questa tecnologia, dichiarati dall'azienda, sono principalmente la riduzione dei costi e dei tempi di posa, il raggiungimento di una maggior sicurezza in termini strutturali e la semplificazione dell'intervento di posa. In questo specifico progetto sostituiscono l'utilizzo del calcestruzzo armato nell'opera di fondazione rendendo il processo di costruzione meno invasivo sul sito in oggetto.

*"I micropali FastPile®, in acciaio S355, hanno un diametro esterno di 62 mm e 8 mm di spessore: presentano delle scanalature esterne, ottenute con processo di rullatura, che aumentano la superficie laterale del 46% rispetto a quella di un micropalo di pari diametro con superficie liscia. In questo modo aumenta la superficie a contatto con il terreno e quindi migliora la resistenza per attrito laterale. Il micropalo è costituito da moduli di lunghezza pari a m 1,00 giuntati con manicotti interni filettati."*³

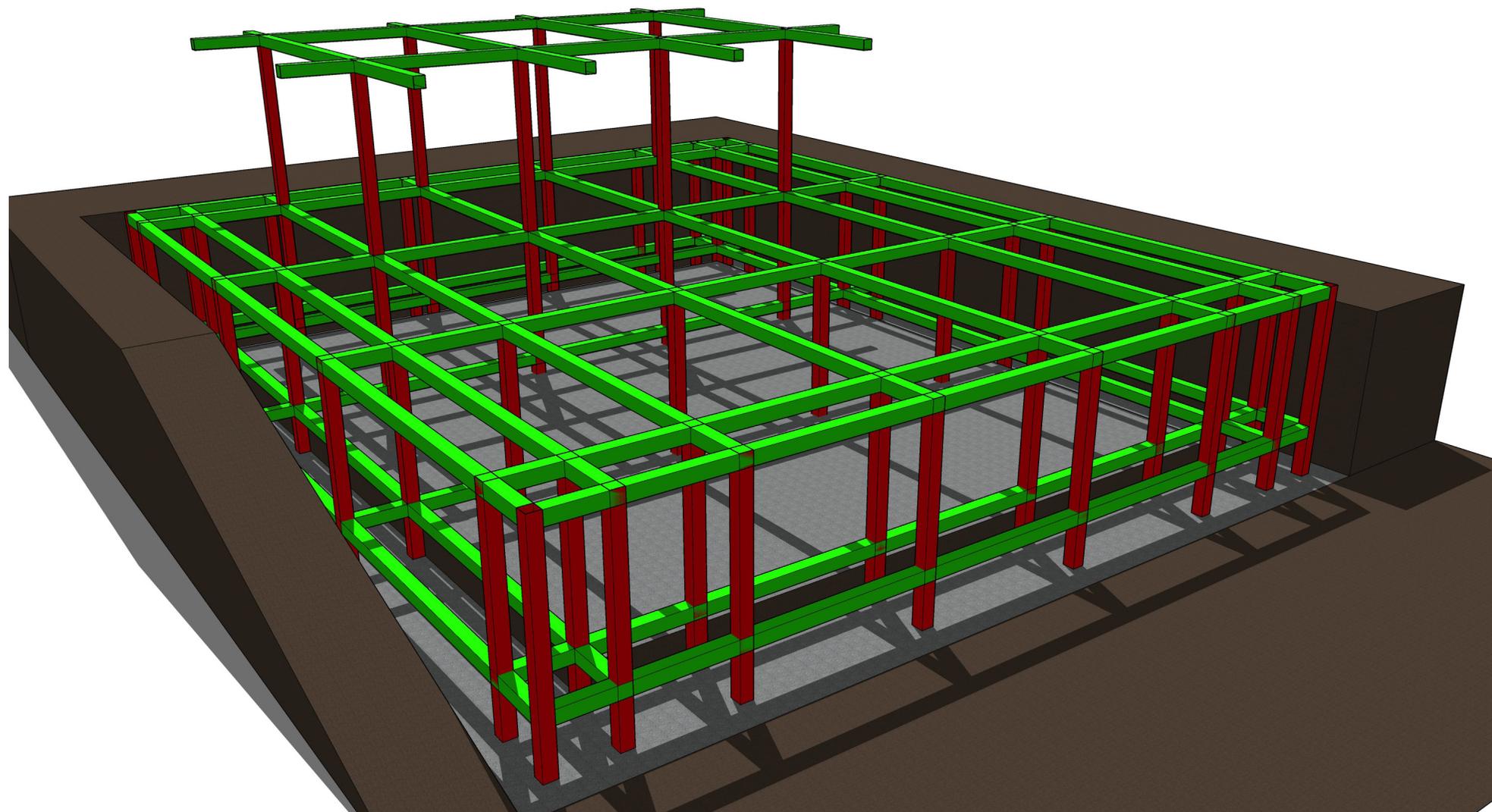


Rappresentazione della disposizione dei micro pali.

³ <http://fastpile.it/it/tecnologia.php>

6.2 La struttura portante

La struttura portante deriva dal metodo costruttivo **PR.I.M.E3®**, un sistema edilizio in fase di industrializzazione e commercializzazione dell'azienda **GREENBLOCK**. Si tratta di travi in alluminio riciclato, materiale leggero e che non presenta fenomeni di ossidazione a contatto col terreno umido o con l'acqua. Questa tecnologia consente grande flessibilità costruttiva grazie all'approccio modulare, basso impatto ambientale, riduzione dei costi, facilità di trasporto, semplicità durante l'assemblaggio e un completo riutilizzo delle sue componenti alla fine del ciclo di vita dell'immobile.



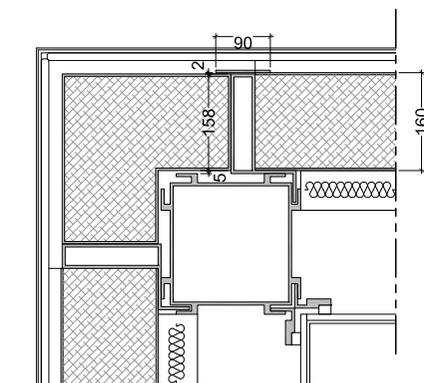
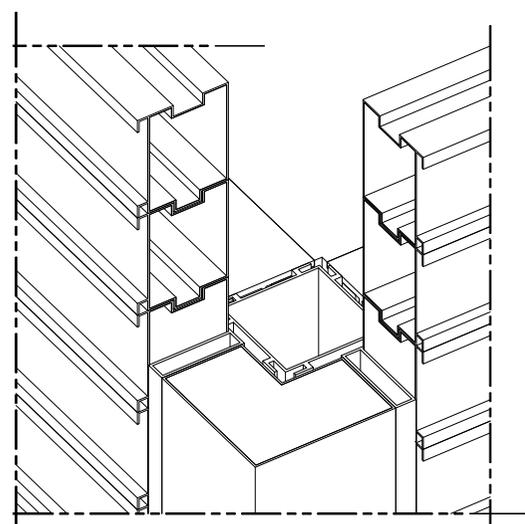
6.3 La stratigrafia delle pareti

Le pareti sono realizzate con la soluzione costruttiva GREENBLOCK già citata in precedenza. In alcuni tratti la stratigrafia è stata leggermente modificata poiché trattandosi di un'abitazione ipogea, le necessità di isolare termicamente l'edificio dall'ambiente esterno sono differenti. Ciò che caratterizza questo pacchetto costruttivo è l'utilizzo del **PU-Latex 37-70** come materiale isolante. Questo prodotto deriva dallo scarto di lavorazioni tessili e viene inserito all'interno di elementi scatolati strutturali all'interno dei solai.

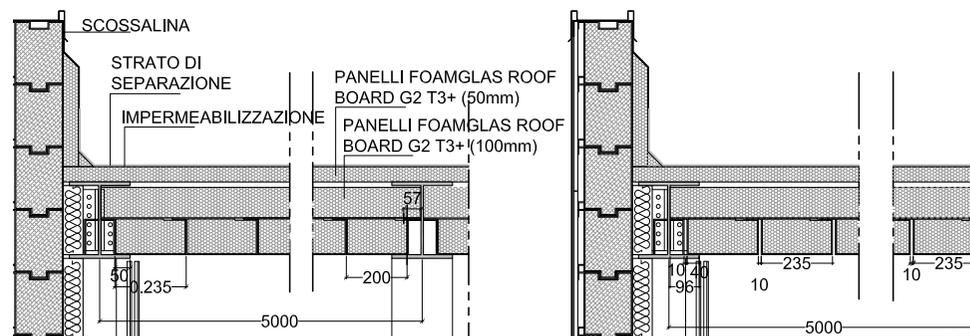
L'isolamento termo acustico delle pareti invece è realizzato in **PFU 240**, prodotto da una miscela di sughero e materiali derivanti dalla lavorazione degli scarti di pneumatici dismessi.

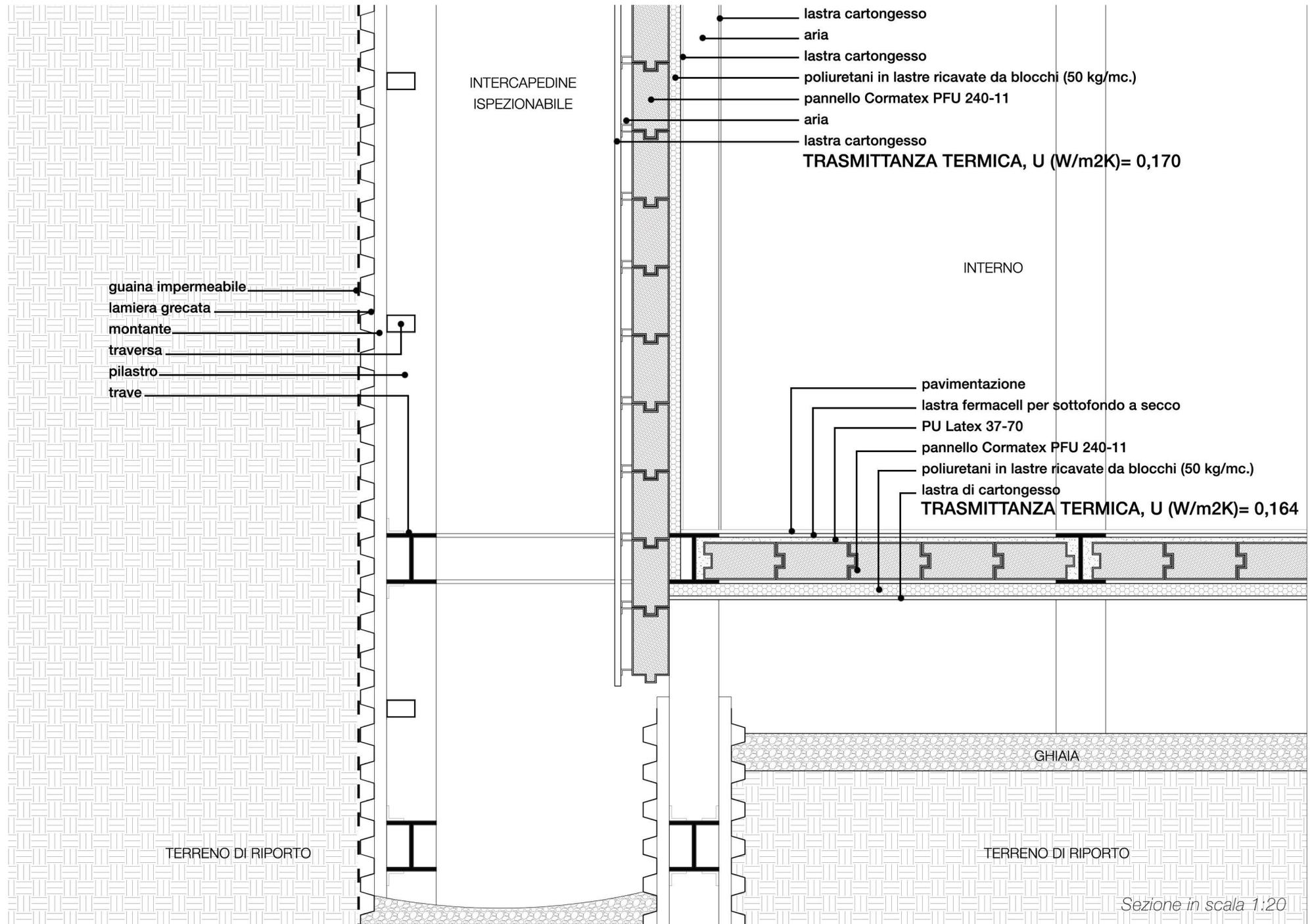
Di seguito sono mostrati alcuni schemi e dettagli della tecnologia GREENBLOCK.

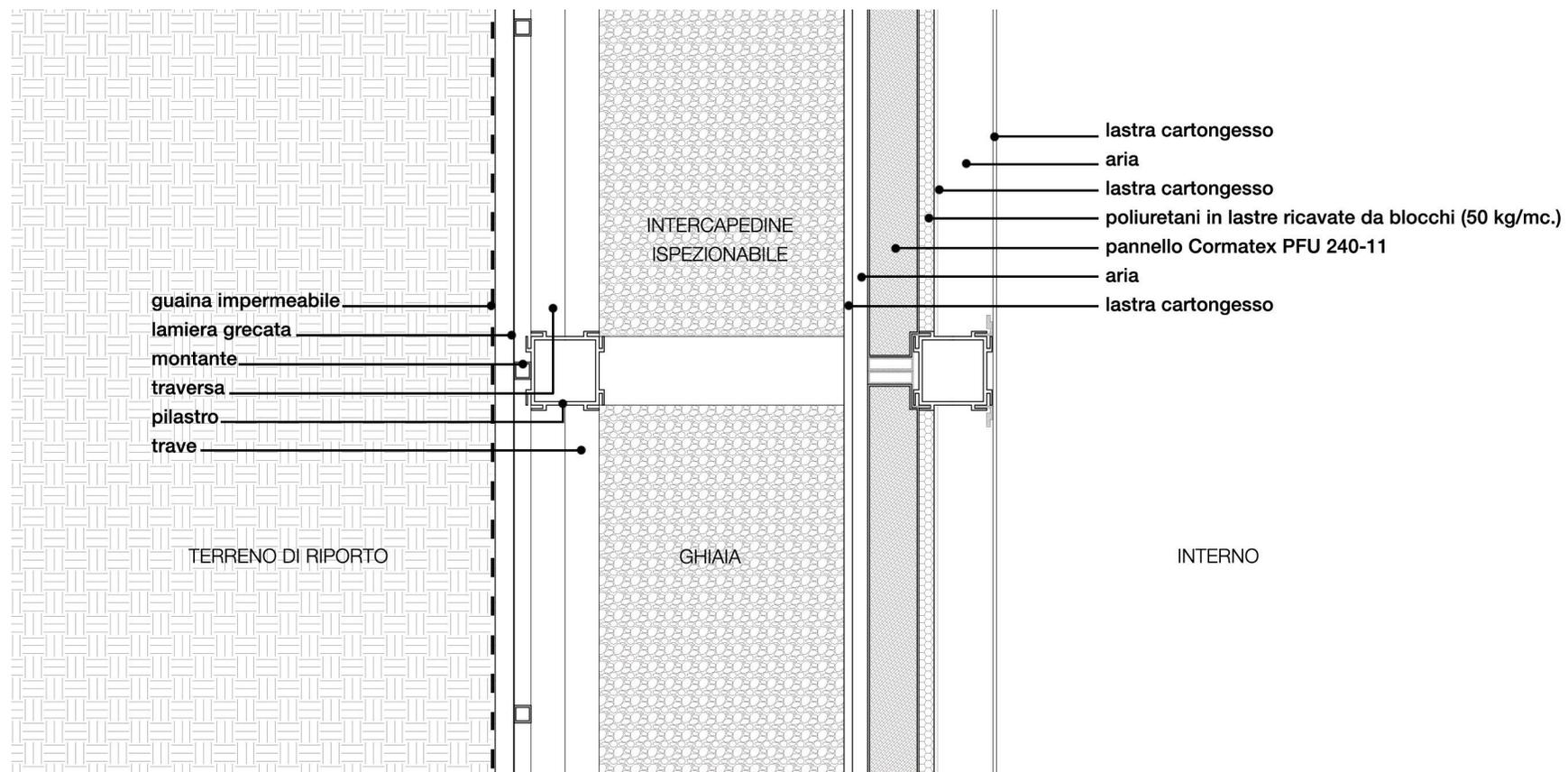
DETTAGLIO COLLEGAMENTO PANNELLO TAMPONATURA FACCIATA E PROFILI DI COLLEGAMENTO
PILASTRO - PANNELLO DI FACCIATA



DETTAGLIO CONNESSIONE PANNELLO SOLAIO - TRAVE





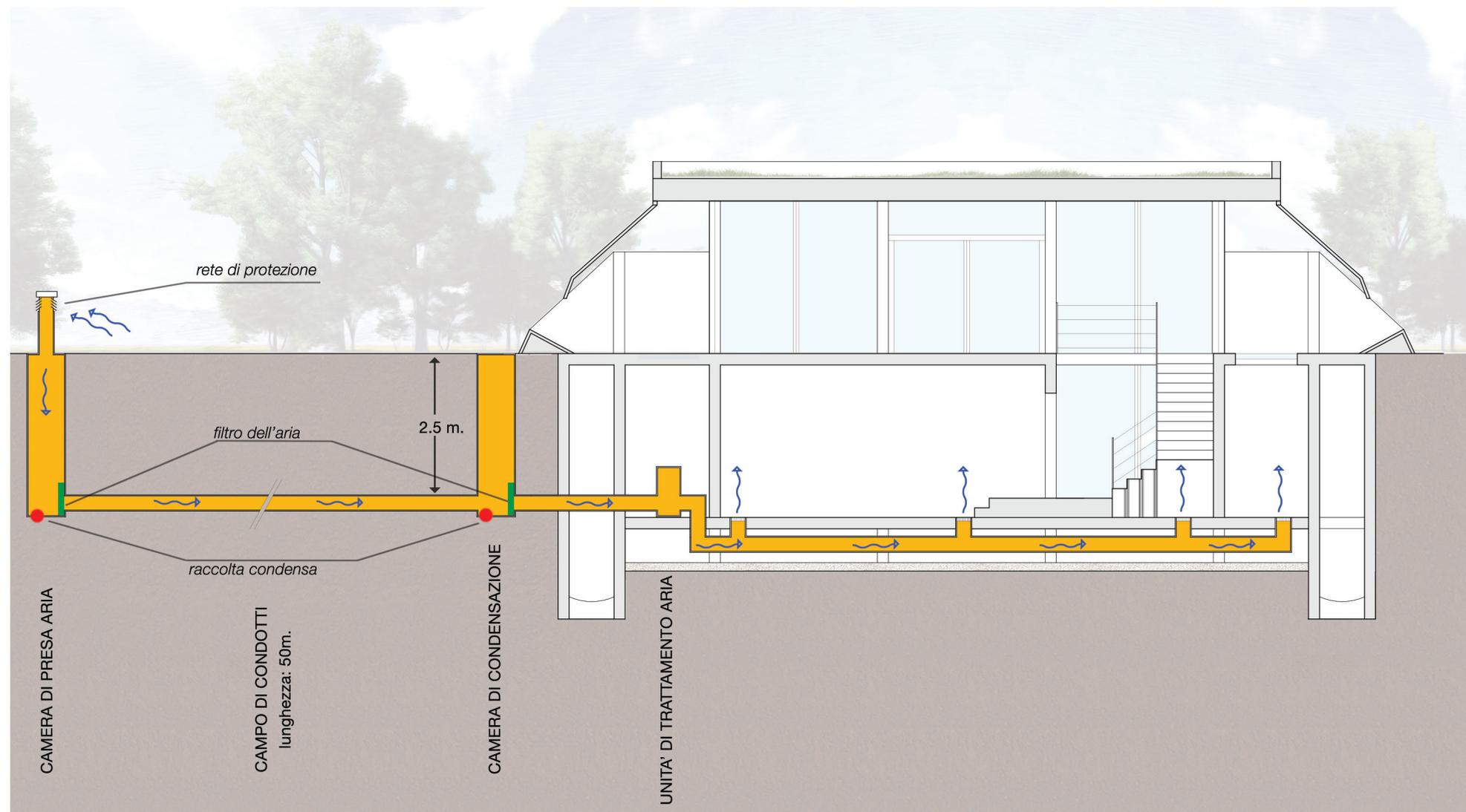


Planimetria in scala 1:20

6.4 Il raffrescamento passivo e le risorse energetiche

Nello schema sottostante è raffigurato il funzionamento del sistema di raffrescamento ventilativo geotermico. L'unità di trattamento aria (UTA) è collegata alla camera di condensazione attingendo da essa l'aria raffrescata o preriscaldata e distribuendola nei locali necessari. Questo permette di razionalizzare questa risorsa, principalmente nel periodo estivo.

Scala 1:100



Verifiche di calcolo

Attraverso il software GAEA sono state eseguite delle verifiche prestazionali sull'impianto di raffrescamento in progetto.

Si è considerato solamente il piano interrato, con una superficie da climatizzare di 100 m² e un volume di 270 m³, per un ricambio d'aria di 1 Vol/ora.

Sulla base di calcoli del fabbisogno energetico per climatizzazione, effettuati su moduli GREEN-BLOCK di dimensioni analoghe, si possono ipotizzare i seguenti indici di prestazione energetica (da fonti non rinnovabili):

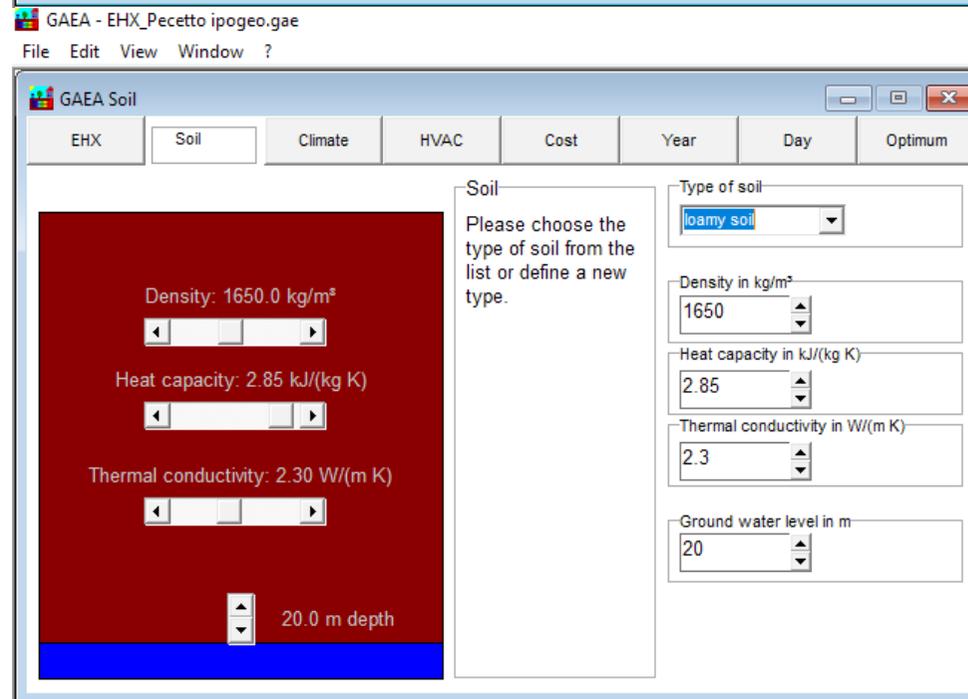
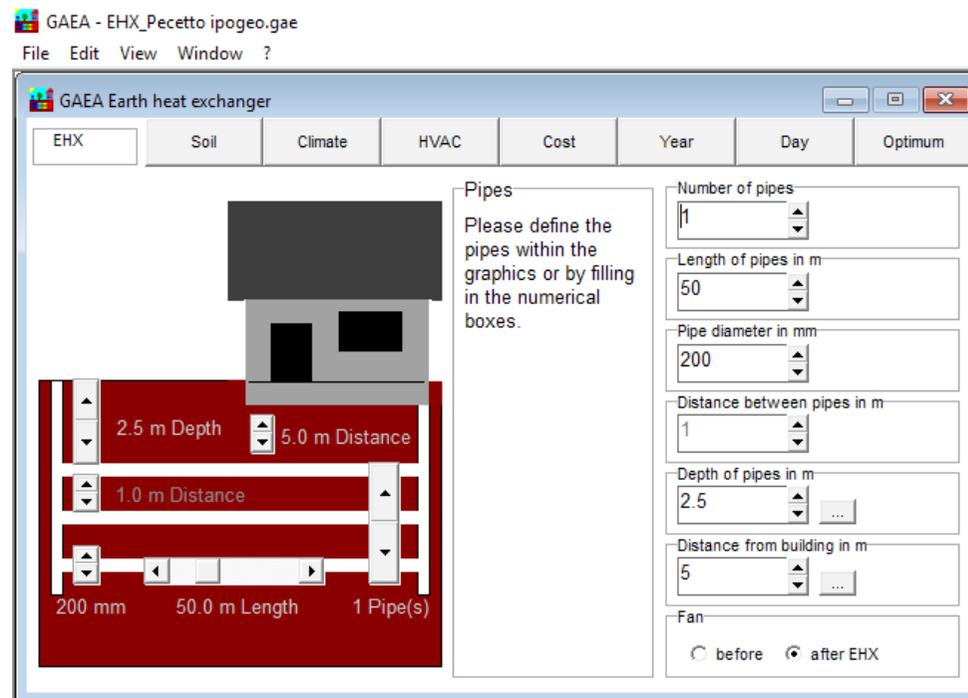
- **climatizzazione invernale:** 32 kWh/m²-anno, che porta l'intero volume riscaldato a 3200 kWh/anno;
- **climatizzazione estiva:** 14 kWh/m²-anno, che porta l'intero volume raffrescato a 1400 kWh/anno.

Con i dati dell'output dal sistema geotermico passivo, si ricavano:

- 2994 kWh/anno come **contributo al riscaldamento**, pari al 93,56 % del fabbisogno;
- 1411 kWh/anno come **contributo al raffrescamento**, pari al 100% del fabbisogno.

Ciò significa che, con l'aggiunta dei pannelli solari termici, dimensionati per contribuire al rimanente 6,44 % per il riscaldamento e al 100 % per l'acqua igienico sanitaria e di moduli solari fotovoltaici, dimensionati per soddisfare totalmente l'energia elettrica per illuminazione e forza motrice, si può sostenere di aver progettato un edificio a energia zero, se non addirittura a esportazione d'energia elettrica.

Di seguito riporto alcuni schemi e diagrammi ottenuti tramite il software GAEA per suffragare quanto detto in precedenza.



GAEA Climatic values

EHX | Soil | **Climate** | HVAC | Cost | Year | Day | Optimum

Course of Temperature

Temperature (°C)

Day of year

Peak: 201. day

Temperature model

Climatic region (Germany)

Weather station (Europe)

Sinusoidal course

File

Please choose one of the temperature models and define the values by clicking into the map or by filling in the numerical boxes.

Max. monthly value in °C

28

Yearly mean temp. in °C

12

Min. monthly value in °C

-4

Month with maximum

July

Day with maximum

20

Name of climatic region (Germany)

4 Mittelgebirge ohne Hochlagen

Choice by zipcode

Zipcode

GAEA Annual analysis

EHX | Soil | Climate | HVAC | Cost | **Year** | Day | Optimum

EHX air temperatures (inlet/ outlet)

Temperature in °C

Hour of year

Outdoor temperature

EHX outlet temperature

EHX-

Heat gain: 2994.6 kWh

Heat loss: 1410.7 kWh

Max. inlet air temp. of EHX: 34.0 °C

Max. outlet air temp. of EHX: 20.7 °C

Min. inlet air temp. of EHX: -10.0 °C

Min. outlet air temp. of EHX: 3.5 °C

Efficiency factor heating: 0.78

Efficiency factor cooling: 0.72

Period of use: 5944 h/a

Costs

Payback time: 14.6 a

Annuity: 320.11 € / a

Internal interest rate: 10.8 %

Energy costs: 0.04 € / kWh

Diagram

EHX temperatures

Annual heat exchange

Output file

Save

GAEA Heating / ventiltion / air-conditioning

EHX | Soil | Climate | **HVAC** | Cost | Year | Day | Optimum

Building

Quasi stationary

File

Building volume in m³

270

Air change rate in 1/h

1

Ventilation flow in m³/h

270

EH-X control

Temperature range

Period of time

Set point temperature in °C

20

Boundary value for heating in °C

18

Boundary value for cooling in °C

25

EH-X temperature offset in K

0

Flow

Constant pressure drop in Pa

50

Pressure drop in pipes in Pa/m

0.50

Total pressure drop in Pa

75.096

Fan efficiency

0.7

Fan power in W

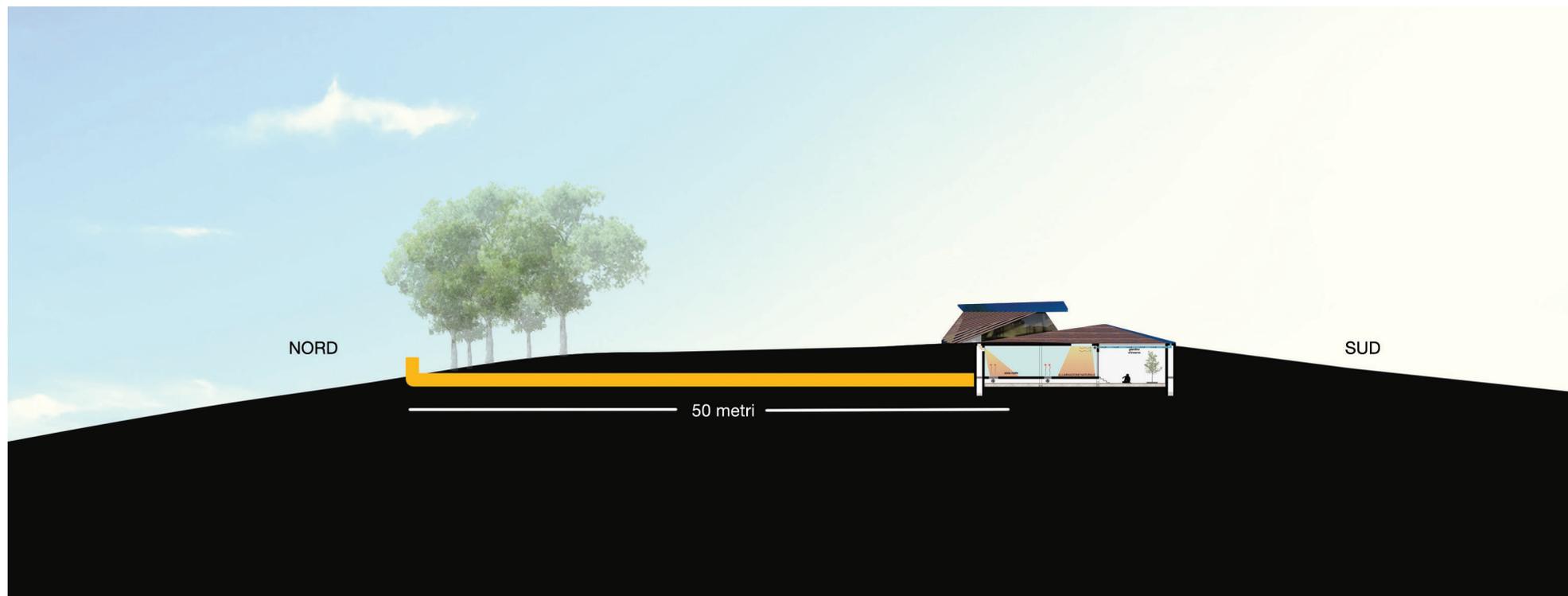
8.046

Spec. energy consum. in Wh/m³

0.030

Sezione territoriale

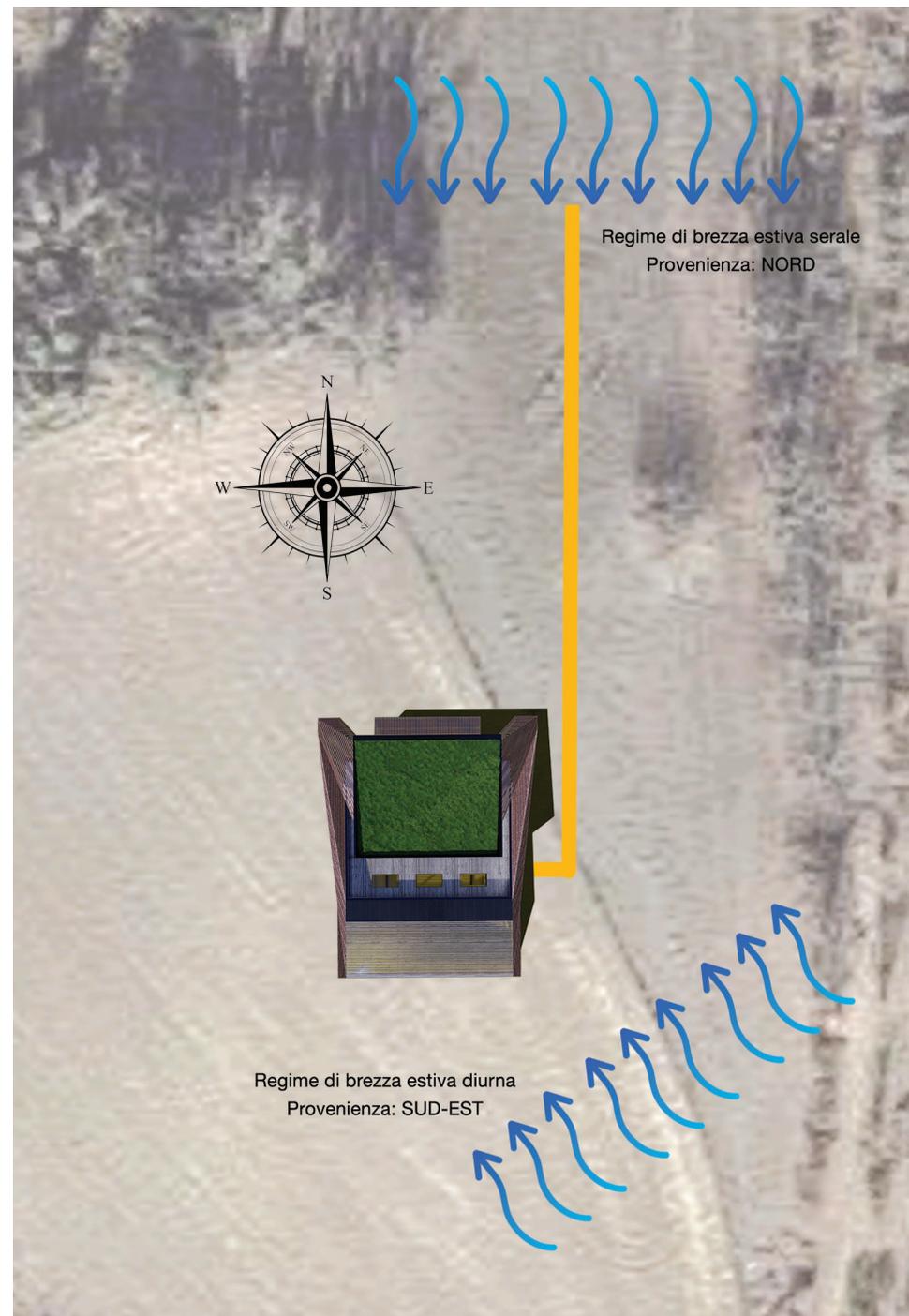
La seguente sezione, che si sviluppa sull'asse NORD - SUD, mostra l'andamento del terreno nei pressi dell'edificio e il posizionamento dell'impianto di raffrescamento passivo. Grazie alla morfologia del luogo è stato possibile tenere la presa d'aria al di là della barriera degli alberi. Questo garantisce il corretto funzionamento dell'impianto di ventilazione.



Sezione territoriale in scala 1:500

Planimetria territoriale

Con questa planimetria si intende mostrare la direzione dei venti dominanti sul sito di progetto. Si è considerato il solo regime di brezza estiva ai fini del raffrescamento passivo. Si noti come in questo caso, la barriera degli alberi situata a NORD dell'abitazione svolga l'importante funzione di barriera contro i venti freddi invernali provenienti da nord.



Planimetria territoriale in scala 1:500

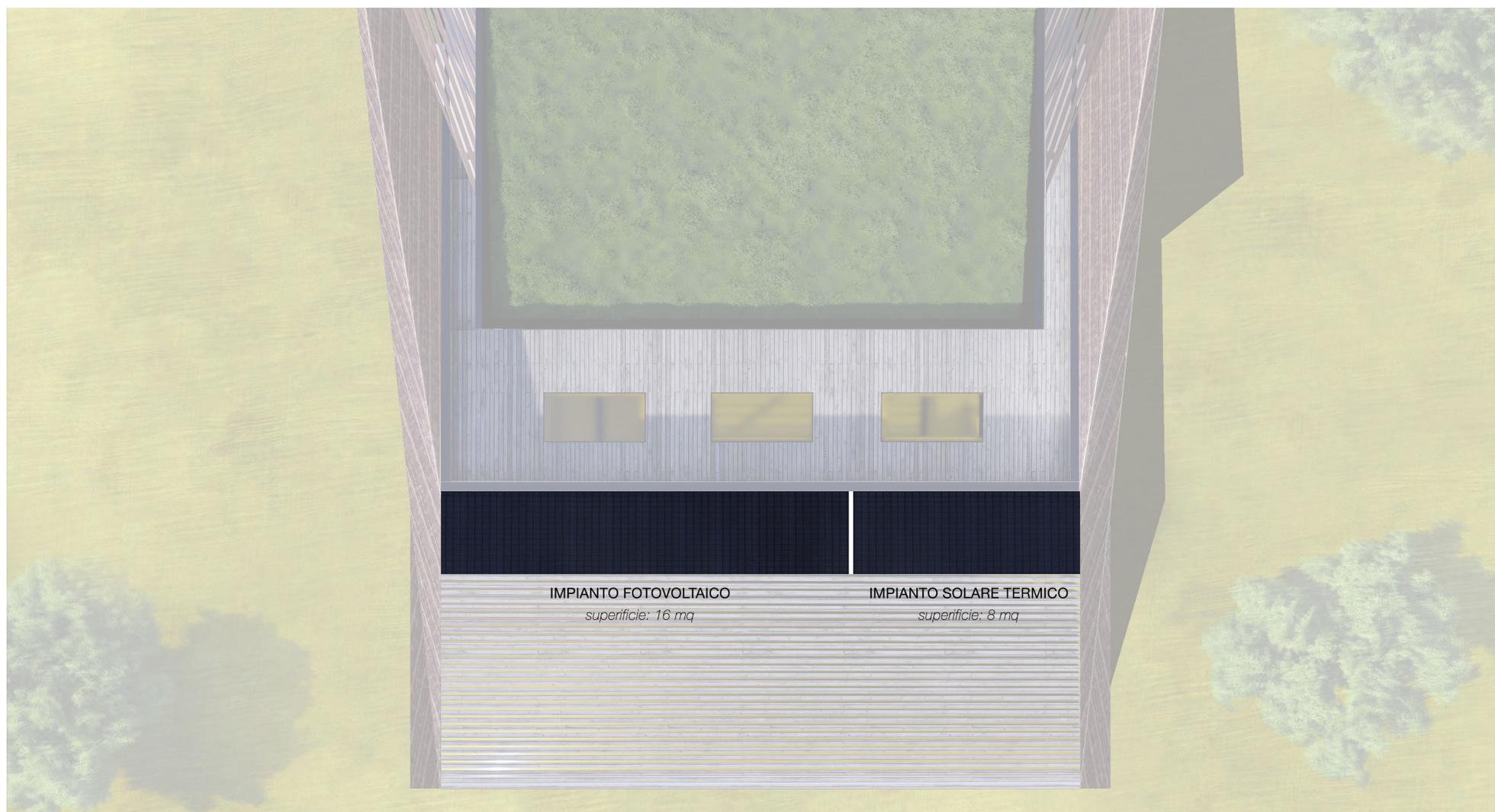
Impianto Fotovoltaico

L'impianto fotovoltaico in progetto ha una superficie di 16 mq. e copre l'intero fabbisogno di energia elettrica utile per l'illuminazione e la forza motrice.

Dai calcoli emerge che si potrebbero addirittura esportare circa 190 kW/h anno di energia elettrica. E' posizionato sulla copertura listellare esposta a sud e ha un'inclinazione di 15° rispetto al suolo.

Impianto Solare termico

L'impianto solare termico invece ha una superficie di 8mq., sufficiente a soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria per un nucleo familiare di 4 persone durante tutto l'anno.



Di seguito sono riportati alcuni fogli di calcolo utilizzati per il dimensionamento degli impianti.

2 DEFINIZIONE DELLE CONDIZIONI CLIMATICHE DI SITO

Dati geografici:

Località:	Torino	Latitudine, Φ [°]:	45,11
Albedo, ρ [-]:	0,2	Longitudine, Lt [°]:	7,72

Dati climatici della località:

Mese	Temperatura media aria esterna	Irradiazione solare globale media su superficie orizzontale	
	T_{em} [°C]	Hb [MJ/m ²]	Hd [MJ/m ²]
gennaio	0,2	1,8	2,4
febbraio	2,9	3,6	3,5
marzo	7,7	6,7	5,1
aprile	12,5	10,1	6,6
maggio	17,2	12,3	7,8
giugno	21,7	13,6	8,3
luglio	23,8	17,0	7,4
agosto	22,8	12,8	6,8
settembre	18,7	8,6	5,5
ottobre	12,7	4,4	4,0
novembre	6,5	2,2	2,6
dicembre	1,8	1,5	2,0

4 DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA SOLARE FOTOVOLTAICO CONNESSO IN RETE PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA

4.1 Radiazione solare incidente sulla superficie di captazione

Dati relativi alla superficie:

Inclinazione, ξ [°]:	30,00	Azimut, γ [°]:	0,00
--------------------------	-------	-----------------------	------

Calcolo della radiazione solare incidente:

Mese	$H_{Tb,giorn.}$ [MJ/m ² *g]	$H_{Tb,mensile}$ [MJ/m ² *mes]	H_t [%]
gennaio	6,51	201,70	42,86
febbraio	9,96	278,88	50,70
marzo	14,55	450,93	56,78
aprile	17,91	537,43	60,48
maggio	19,61	608,01	61,19
giugno	20,50	614,99	62,10
luglio	23,31	722,51	69,67
agosto	20,35	630,79	65,31
settembre	16,67	500,12	60,99
ottobre	11,33	351,17	52,38
novembre	7,35	220,45	45,83
dicembre	5,73	177,55	42,86
$H_{Tb,\gamma,anno}$ [MJ/m ² *anno]:	5294,53		

4.2 Fabbisogno di Energia Elettrica

Descrizione dei fabbisogni e delle modalità di utilizzo dell'impianto:

Fattore di utilizzo:	1	Caratteristiche:		
gennaio	1			
febbraio	1		destinazione d'uso:	residenziale
marzo	1			
aprile	1			
maggio	1	Superficie di calpestio interna locali:		
giugno	1		[m ²]	100
luglio	1			
agosto	0,1	Fabbisogno unitario medio mensile di Energia Elettrica: [KWh/m ²]		
settembre	1			
ottobre	1			
novembre	1			
dicembre	1		2,5	

Calcolo:

Fabbisogno Energetico medio annuale, [KWh]:	2775
---	------

4.3 Dimensionamento del Sistema Solare Fotovoltaico

Caratteristiche dell'impianto:

Tipologia Celle:	policristallino
Efficienza del Modulo PV, [%]:	15,00
Efficienza Sistema di Conversione, [%]:	84,00
Potenza unitaria, [W/m ²]	125

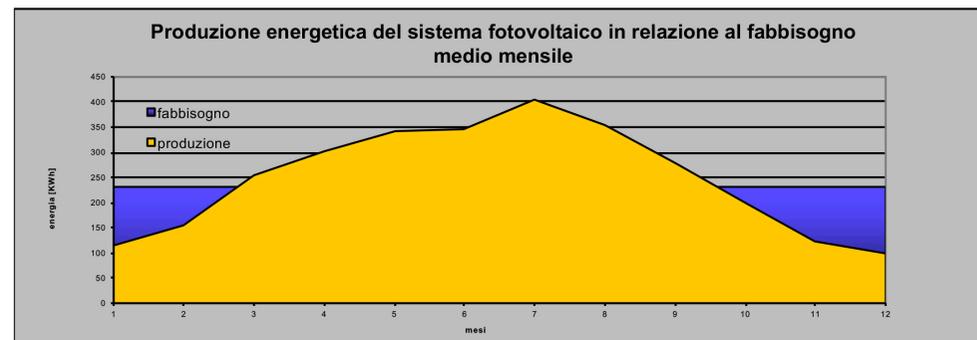
Calcolo Area teorica:

Fabbisogno, [KWh]:	% copertura:	A_c teorica, [m ²]:
- annuale:	2775,00	100
		15,0

Caratteristiche del sistema solare fotovoltaico scelto:

Area Effettiva, [m ²]:	16	
Potenza Sistema PV, [KW]	2,00	
	Produzione Energetica, [KWh]:	Fabbisogno coperto, [%]:
gennaio	112,95	45,2
febbraio	156,17	62,5
marzo	252,52	100,0
aprile	300,96	100,0
maggio	340,49	100,0
giugno	344,40	100,0
luglio	404,61	100,0
agosto	353,24	100,0
settembre	280,07	100,0
ottobre	196,65	78,7
novembre	123,45	49,4
dicembre	99,43	39,8
TOTALE:	2964,95	100,0

<i>Bilancio rispetto la rete elettrica:</i>			
[KWh]	Energia Ceduta:	Energia Acquistata:	Bilancio:
gennaio	0,00	137,05	-137,05
febbraio	0,00	93,83	-93,83
marzo	2,52	0,00	2,52
aprile	50,96	0,00	50,96
maggio	90,49	0,00	90,49
giugno	94,40	0,00	94,40
luglio	154,61	0,00	154,61
agosto	328,24	0,00	328,24
settembre	30,07	0,00	30,07
ottobre	0,00	53,35	-53,35
novembre	0,00	126,55	-126,55
dicembre	0,00	150,57	-150,57
TOTALE:	751,28	561,34	189,95



4.4 Analisi economica ed ambientale

Determinazione dei costi del sistema solare e dei risparmi ottenuti:

Dettaglio Costi:

	area - unità	importo, [€/m² - €/u]:	subtotale, [€]:
Impianto del sistema solare:			
moduli PV:	16	250,00	4000,00
inverter	1	700,00	700,00
messa in opera e accessori	1	800,00	800,00
IVA, [%]:	10		550,00
Contributi a fondo perduto, [%]:	0		0,00
Totale, [€]:			6050,00
Gestione del sistema solare:			
manutenzione annuale:	16	2,50	40,00
varie:	0	0,00	0,00
Totale, [€]:			40,00

Dettaglio Benefici:

	En, [KWh]:	importo unitario, [€/u]:	subtotale, [€]:
Energia risparmiata:	2964,95		
-elettricità	2964,95	0,22	652,29
Totale, [€]:			652,29
Detrazioni fiscali:			
-IRPEF, [%]:	65		
-distribuzione in anni:	10		
Totale, [€]:			393,25

Valutazione della convenienza economica:

tasso interesse, [%]:	0,05	durata imp., [anni]:	25
VAN, [€]:	13079,87	periodo rit., [anni]:	4
L'investimento è economicamente conveniente!			

Quantificazione della riduzione di emissioni di CO₂ in ambiente:

Conversione dell'energia non utilizzata in energia primaria, [KWh]:	7916,41
Quantità di CO ₂ , equivalente non emessa in ambiente ogni anno, [Kg]:	237,49

4 DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA SOLARE TERMICO PER LA PRODUZIONE DI ACQUA CALDA SANITARIA (A.C.S.) E IL RISCALDAMENTO AMBIENTALE (R.A.)

4.1 Radiazione solare incidente sulla superficie di captazione

Dati relativi alla superficie:			
Inclinazione, ξ [°]:	30,00	Azimet, γ [°]:	0,00

Calcolo della radiazione solare incidente:			
Mese:	H _{Tp} ,giorn. [MJ/m ² *g]	H _{Tp} ,mensile [MJ/m ² *mes]	H _{Tp} [%]
gennaio	6,51	201,70	42,86
febbraio	9,96	278,88	50,70
marzo	14,55	450,93	56,78
aprile	17,91	537,43	60,48
maggio	19,61	608,01	61,19
giugno	20,50	614,99	62,10
luglio	23,31	722,51	69,67
agosto	20,35	630,79	65,31
settembre	16,67	500,12	60,99
ottobre	11,33	351,17	52,38
novembre	7,35	220,45	45,83
dicembre	5,73	177,55	42,86
H _{Tp} , γ ,anno [MJ/m ² *anno]:	5294,55		

4.2a Fabbisogno Termico Energetico per A.C.S.

Descrizione delle modalità di gestione e di utilizzo dell'edificio e dell'impianto:			
Fattore occupazione dell'edificio		Caratteristiche:	
gennaio	1	destinazione d'uso: <i>residenziale</i>	
febbraio	1		
marzo	1	n° utenti [p]: 4	
aprile	1		
maggio	1	consumo acqua calda [l/g-p]: 40	
giugno	1		
luglio	1	temp. media acqua da rete, [°C]: 12,38	
agosto	0,2		
settembre	1	temp. media utilizzo, [°C]: 42,00	
ottobre	1		
novembre	1		
dicembre	1		

Calcolo:	
Fabbisogno Termico giornaliero [MJ/g]:	19,84

4.2b Fabbisogno Termico Energetico per il R.A.

Descrizione della geometria dell'ambiente confinato:				
Componenti di involucro:	Area [m ²]			
- chiusura esterna orizzontale superiore:				
- opaca:	95,00			
- trasparente:	5,00			
- chiusura esterna orizzontale inferiore:	100,00			
- chiusura esterna verticale:	Nord	Sud	Est	Ovest
- opaca:	27,00	10,00	27,00	27,00
- trasparente:		17,00		
Superficie interna di calpestio:	100,00			

Descrizione dei parametri termofisici dei componenti di involucro:				
Componenti di involucro:	Trasmittanza termica superficiale media ponderata [W/m ² K]:			
- chiusura esterna orizzontale superiore:				
- opaca:	0,15			
- trasparente:	1,00			
-chiusura esterna orizzontale inferiore:	0,10			
-chiusura esterna verticale:	Nord	Sud	Est	Ovest
- opaca:	0,10	0,15	0,10	0,10
- trasparente:		1,00		
	Fattore solare, [-]:			
-componente trasparente	0,60	0,60	0,60	0,00
	Fattore ombreggiamento, [-]:			
-componente trasparente	0,80	0,70	0,80	0,80
Fattore incremento dispersioni da ponti termici [%]:	5,00			
Costante di tempo dello spazio riscaldato [s]	500000,00			

Descrizione delle modalità di gestione e di utilizzo dell'impianto:			
		Caratteristiche:	
		Temperatura interna set-point, [°C]:	20
		Ore giorn. di riscaldamento, [h]:	14
Fattore di utilizzo stagionale:		Temperatura interna set-back, [°C]:	18
gennaio	1	Ventilazione:	
febbraio	1	- portata d'aria oraria, [m ³ /h-p]: 28	
marzo	1	- n° utenti, [p]: 4	
aprile	0,5		
maggio	0	- ricambi d'aria orari, [vol/h]: 0,5	
giugno	0	- volume [m ³]: 270	
luglio	0	Infiltrazioni:	
agosto	0	-classe permeabilità all'aria: A 3	
settembre	0	-coef. di permeabilità, [m ³ /(h·m ²): 0	
ottobre	0,5		
novembre	1	Apporti interni:	
dicembre	1	-da attrezzature, [W/m ²]:	
		-da persone, [W/p]: 5	

Calcolo portata d'aria totale:	
Portata d'aria totale oraria, [m ³ /h]:	247

Calcolo del Fabbisogno di energia netta:						
	Acqua Sanitaria [MJ]:	DISPERSIONI		APPORTI		Fattore utilizzo apporti
		ventilazione [MJ]:	trasmissioni [MJ]:	interni [MJ]:	solari [MJ]:	
gennaio	615,09	2742,39	2862,94	31,25	1091,85	1,00
febbraio	555,57	2118,30	2217,76	28,22	1667,12	1,00
marzo	615,09	1658,11	1730,84	31,25	3067,57	0,94
aprile	595,25	480,99	486,92	15,12	2100,68	0,46
maggio	615,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
giugno	595,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
luglio	615,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
agosto	123,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
settembre	595,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ottobre	615,09	483,43	488,06	15,62	1091,85	0,84
novembre	595,25	1768,73	1850,30	30,24	1207,57	1,00
dicembre	615,09	2506,11	2621,42	31,25	909,87	1,00
Subtotale:	6750,13	11758,07	12258,25	182,95	11136,52	-
Fabbisogno annuo netto di energia per riscaldamento						
- totale spazio riscaldato [MJ]						14206,89
- per unità di superficie [KWh/m²]:						39,46
- classe CASACLIMA:						B
Fabbisogno medio annuo netto di energia per ACS						
- totale spazio considerato [MJ]						6750,13
- per occupante [KWh/pp]:						468,76
TOTALE FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA NETTA [MJ]:						20957,02

Caratteristiche dell'impianto di riscaldamento:			
Eff. produzione [-]	1,06	Eff. distribuzione [-]:	0,96
Eff. regolazione [-]	0,96	Eff. emissione [-]:	0,96
Eff. sistema, [-]	0,94		
TOTALE FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA CONSEGNA PER IL RISCALDAMENTO [MJ]:			15148,85
Caratteristiche dell'impianto di acs:			
Eff. produzione [-]	1,06	Eff. accumulo -distr. [-]:	0,96
Eff. sistema, [-]	1,02		
TOTALE FABBISOGNO ANNUO DI ENERGIA CONSEGNA PER L'ACS [MJ]:			6633,38

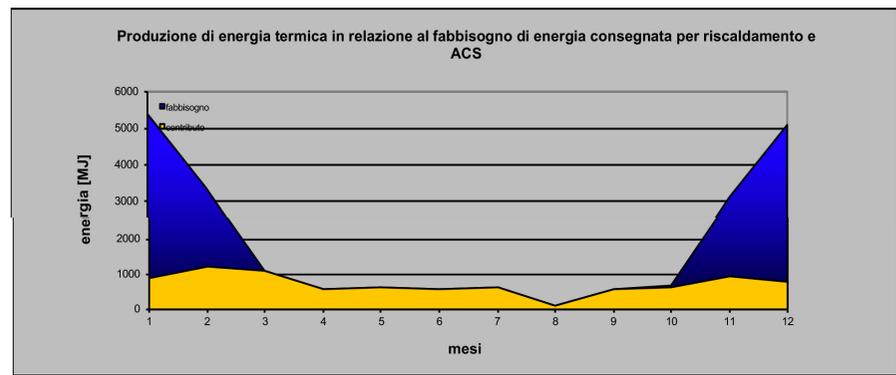
4.3 Dimensionamento del Sistema Solare Termico					
Caratteristiche dell'impianto solare:					
Tipologia collettori:	acqua	Eff. Collettori, [-]:	0,65		
Eff. Distribuzione, [-]:	0,93	Eff. Scambiatore, [-]:	0,90		
Eff. sistema, [-]	0,54				
Calcolo Area teorica (valore indicativo):					
Produzione Acqua Calda Sanitaria:					
Fabbisogno, [MJ]:		% copertura:	A _c teorica, [m²]:		
- annuale:	6750,13	100	2,3		
- luglio:	615,09	100	1,6		
Caratteristiche di produzione del sistema solare scelto:					
Area Effettiva, [m²]:	8,00				
	Produzione Energia		Fabbisogno coperto di energia consegnata:		
	totale	utile	A.C.S. [%]:	R.A. [%]:	A.C.S. + R.A. [%]:
gennaio	877,89	877,89	100,00	5,72	16,31
febbraio	1213,80	1213,80	100,00	23,72	36,10
marzo	1962,65	1107,05	100,00	100,00	100,00
aprile	2339,12	585,24	100,00	100,00	100,00
maggio	2646,32	604,45	100,00	0,00	100,00
giugno	2676,70	584,95	100,00	0,00	100,00
luglio	3144,67	604,45	100,00	0,00	100,00
agosto	2745,45	120,89	100,00	0,00	100,00
settembre	2176,71	584,95	100,00	0,00	100,00
ottobre	1528,43	651,96	100,00	100,00	100,00
novembre	959,48	959,48	100,00	14,75	30,71
dicembre	772,78	772,78	100,00	3,77	15,25
TOTALE:	23044,00	8667,92	100,00	13,43	39,58

4.4 Analisi economica ed ambientale

Determinazione dei costi del sistema solare e dei risparmi ottenuti:			
<i>Dettaglio Costi:</i>			
	area / unità	importo, [€/m ² - €/u]:	subtotale, [€]:
Impianto del sistema solare:			
-collettori:	8	500,00	4000,00
-messa in opera e accessori:	1	0,00	0,00
-varie:			0,00
-IVA, [%]:	10		400,00
-Contributi a fondo perduto, [%]:	0		0,00
Totale, [€]:			4400,00
Gestione del sistema solare:			
manutenzione annuale:	8	10,00	80,00
varie:			0,00
Totale, [€]:			80,00
<i>Dettaglio Benefici:</i>			
	En, [KWh]:	importo unitario, [€/u]:	subtotale, [€]:
Energia risparmiata:			
- Acqua Calda Sanitaria:	1842,61		
- Riscaldamento Ambientale:	565,15		
- Totale:	2407,76		
Fonte Energetica del Sistema di Produzione di Riferimento:			
-elettricità			0,00
-metano			0,00
-gasolio, nafta	6050,62	0,18	1089,11
-cogenerazione			0,00
Totale, [€]:			1089,11
Detrazioni fiscali:			
-IRPEF, [%]:	65		
-distribuzione in anni:	10		
Totale, [€]:			286,00

Valutazione della convenienza economica:			
tasso interesse, [%]:	0,05	durata imp., [anni]:	30
VAN, [€]:	28492,12	periodo rit., [anni]:	2
L'investimento è economicamente conveniente!			

Quantificazione della riduzione di emissioni di CO₂ in ambiente:	
Conversione dell'energia non utilizzata in energia primaria, [KWh]:	6050,62
Quantità di CO ₂ equivalente non emessa in ambiente ogni anno, [Kg]:	181,52



CAPITOLO 7

DISCUSSIONE E CONSIDERAZIONI FINALI

In questo capitolo intendo discutere i risultati ottenuti fin qui rispetto agli obiettivi prefissati.

L'obiettivo di progettare un'abitazione che soddisfacesse il requisito di **sostenibilità ambientale** declinato nell' utilizzo di materiali locali, riciclati e riciclabili è stato raggiunto. Riguardo alla tecnica costruttiva "a secco", credo che le soluzioni adottate siano praticabili e di semplice realizzazione. Su questo punto però è importante fare una riflessione sul costo di costruzione, questo perchè ci sono alcuni aspetti che potrebbero far lievitare i costi rispetto all'utilizzo del tradizionale calcestruzzo armato.

Alcuni esempi possono essere l'elevato numero di pali di fondazione, la tempistica per la loro corretta infissione e il trasporto dell'apposito macchinario, così come l'elevato numero di elementi strutturali necessari ad isolare adeguatamente l'abitazione dal suolo tramite la realizzazione di una parete perimetrale doppia.

L'obiettivo di **efficienza energetica** è stato ampiamente raggiunto. Come descritto in precedenza, l'abitazione risulta totalmente autosufficiente in termini di produzione di energia elettrica e fabbisogno energetico per la climatizzazione degli ambienti interni grazie all'integrazione di un sistema geotermico passivo, un impianto fotovoltaico e un impianto solare termico, producendo addirittura più energia elettrica di quanta ne necessita.

Riguardo al **rispetto del paesaggio circostante** mi ritengo soddisfatto del risultato ottenuto, essendo riuscito a ricavare 661 metri cubi coperti totali, di cui soltanto 121 al di sopra del piano di campagna. Detto ciò, visti gli ottimi risultati ottenuti in termini energetici, sarebbe interessante sviluppare un progetto interamente ipogeo che garantisca il corretto apporto luminoso ad ogni locale mantenendo i principi di questa tecnologia costruttiva modulare.

CAPITOLO 8

CONCLUSIONE

Alla luce di quanto affrontato in questo studio di tesi posso affermare di ritenermi soddisfatto del lavoro eseguito. Nonostante qualche piccola difficoltà in fase di progetto, permane l'idea che nelle zone rurali le abitazioni ipogee rappresentino una soluzione da prendere in considerazione ogni volta che si affronta un nuovo processo costruttivo. In un futuro in cui le risorse energetiche saranno sempre più care e preziose, ritengo sia necessario sfruttare al meglio le tecnologie odierne per ridurre al minimo i consumi e l'impatto sull'ambiente. E' vero che, se nelle grandi città il problema deve essere affrontato in maniera differente, nelle piccole abitazioni indipendenti si può fare molto per raggiungere l'obiettivo di completa indipendenza in termini di fabbisogno energetico.

Altro aspetto da non sottovalutare è l'approccio modulare alla progettazione. Mi sono infatti accorto di quanto questa scelta costruttiva abbia semplificato il lavoro durante la fase progettuale, permettendomi di affrontare i problemi passo dopo passo pur mantenendo una chiara visione d'insieme. Ad oggi, soprattutto nel nostro paese, questo "modus operandi" non convince del tutto i committenti, ma credo che il compito dell'architettura sia anche quello di creare curiosità e interesse verso nuove soluzioni abitative, improntate alla sostenibilità ambientale, ad una miglior vivibilità degli spazi e ad un maggior contatto con la natura.

BIBLIOGRAFIA

- ALFANO G., D'AMBROSIO F.R., DE RPSSI F., (1987), *Fondamenti di benessere termoigrometrico*, Cuen.
- BAKER N.V., (1987), *Passive and low energy building design for tropical island climates*, ECD Partnership-Commonwealth Science Council.
- BERTUCCI, BIXIO, TRAVERSO, (1995), *Le città sotterranee della Cappadocia*, Erga edizioni.
- BUTERA F., (1995), *Architettura e ambiente*, Etaslibri, Milano.
- CATTANO G., (1994), *Tecnologie per l'architettura ipogea*, Politecnico di Torino.
- DESSI' V., (2017), *Progettare il comfort urbano*, Gruppo Editoriale Esselibri - Simone, Napoli.
- EVANS M., (1980), *Housing climate and comfort*, Architectural press, London.
- FATHY H., (1985), *Costruire con la gente*, Jaca Book, Milano.
- FATHY H., (1986), *Natural energy and Vernacular architecture*, University of Chicago Press.
- GROSSO M., (2017), *Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato, 4a edizione, pp. 1-528*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN).
- SERRA R., COCH H., *L'energia nel progetto di architettura*, Città Studi, Milano (1997).
- TAFFE P., (1996), *Un Modele qualitatif de Comfort Thermique*, Cuepe, Geneve.
- WENDT, R.L. (1982), *Earth sheltered housing, an evalutaion of energy conservation design, studio di ricerca presso Oak Ridge Natural Laboratory*.

PERIODICI

- DOMUS n. 812 (febbraio 1999), *Il progetto sotterraneo*, autore: Hans Hollein
- DOMUS, travel setting (2004), *Emilio Ambasz*, autore: Stefano Casciani
- OPERA IPOGEA, (febbraio 2007)

SITOGRAFIA

- | | | |
|---|---|---|
| http://www.erdhaus.ch | https://www.si24.it | https://www.moma.org |
| http://www.fastpile.it | https://www.area-arch.it | https://www.washingtonpost.com |
| http://www.green-block.it | https://mind-exchange.com | |
| http://www.chometemporary.it | https://www.modlar.com | |
| https://www.nationalgeographic.org | www.slideshare.net | |
| https://www.e-borghi.com | https://www.pinterest.it | |

Mi è doveroso dedicare questo spazio del mio elaborato alle persone che hanno contribuito, con il loro instancabile supporto, alla realizzazione dello stesso.

In primis, un ringraziamento speciale ai miei genitori che mi hanno sempre sostenuto, appoggiando ogni mia decisione fin dalla scelta del mio percorso di studi e che hanno saputo incoraggiarmi giorno dopo giorno a raggiungere questo importante traguardo accademico.

Ringrazio infinitamente il mio relatore, il professore Mario Grosso, e il mio correlatore, la professoressa Marianna Nigra, per la loro grande pazienza (della durata di 3 anni circa), per gli indispensabili consigli e per le conoscenze trasmesse durante tutto il percorso di stesura dell'elaborato.

Un grazie di cuore a Bebi, per il fervore e la perseveranza con cui mi ha supportato nella realizzazione di questo studio di tesi.

Grazie anche a nonno Piero, accanito sostenitore di tutti i suoi nipoti nelle occasioni più importanti della loro vita.

Infine, dedico questa tesi a me stesso, ai miei sacrifici e alla mia tenacia che mi hanno permesso di arrivare fin qui.