



POLITECNICO DI MILANO

Polo Regionale di Lecco

VI Facoltà di Ingegneria

Corso di Ingegneria Edile – Architettura



Redazione del Piano d' Azione dell' Energia Sostenibile per il Comune di
Cenate Sopra con riqualificazione del centro storico e progettazione del
nuovo polo scolastico elementare ad alta efficienza energetica

Relatore: Prof. Ing. Gabriele MASERA

Co-relatori: Prof. Ing. Matteo COLOMBO
Prof. Ing. Andrea GALLI
Ing. Michele MAZZOLA
Ing. Graziano SALVALAI

Tesi di Laurea di:

Davide Armando LEONARDI 679489

Alessandra PARSANI 677899

Alessandra TRAVELLI 678071

Anno Accademico 2009 – 2010

Follia è fare sempre la stessa cosa aspettandosi risultati diversi.

Albert Einstein

INDICE

Introduzione	pag. 003
Abstract	pag. 004
Capitolo 1: Il Patto dei Sindaci.....	pag. 005
1.1 Obiettivi e modalità	pag. 006
1.2 VCS: Val Cavallina Servizi	pag. 008
1.3 Metodo d'indagine	pag. 010
1.4 B.E.I.: Inventario di Base delle Emissioni	pag. 013
1.5 Il comune di Cenate Sopra	pag. 014
Capitolo 2: S.E.A.P.: Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile.....	pag. 016
2.1 Contesto generale: val Cavallina	pag. 017
2.2 Il caso specifico: Cenate Sopra	pag. 020
2.3 Azioni	pag. 035
Capitolo 3: Pianificazione urbanistica.....	pag. 053
3.1 Analisi territoriali	pag. 054
3.2 Definizione di obiettivi e concept di progetto	pag. 071
3.3 Masterplan generale	pag. 073
Capitolo 4: Metaprogettazione.....	pag. 078
4.1 Definizione ambito di progetto	pag. 079
4.2 Qualificazione del progetto: attori, obiettivi, vincoli	pag. 083
4.3 Definizione del concept progettuale	pag. 090
4.4 Compatibilità normativa	pag. 092
4.5 Coerenza del progetto con gli obiettivi	pag. 095
Capitolo 5: Il progetto architettonico e tecnologico.....	pag. 098
5.1 Studio preliminare	pag. 099
5.2 Funzioni	pag. 107
5.3 Accessibilità	pag. 111
5.4 Studio dei prospetti	pag. 111
5.5 Illuminotecnica	pag. 114
5.6 Funzionamento energetico	pag. 124
5.7 Tecnologie per l'involucro	pag. 131
5.8 Sicurezza antincendio	pag. 133

Capitolo 6: Analisi strutturali.....pag. 139

- 6.1 Struttura dell'ala con le aule didattiche pag. 140
- 6.2 Struttura dell'ala uffici e laboratori pag. 194

Capitolo 7: Analisi geotecniche.....pag. 226

- 7.1 Inquadramento pag. 227
- 7.2 Modello di scivolamento monodimensionale pag. 243
- 7.3 Calcolo dei cedimenti pag.254
- 7.4 Verifica allo sprofondamento delle fondazioni superficiali pag. 266

Capitolo 8: Fabbisogno energetico e sistema impiantistico.....pag. 273

- 8.1 La cogenerazione pag. 274
- 8.2 Valutazione preliminare pag. 275
- 8.3 La centrale termica pag. 281
- 8.4 Dimensionamento della centrale termica pag. 286
- 8.5 Sottostazione scuola elementare pag. 299
- 8.6 Le serre bioclimatiche pag. 318
- 8.7 Certificazione energetica dell'edificio pag. 328

Ringraziamenti pag.331

Bibliografia pag. 333

Indice delle tavole pag. 337

Indice delle figure pag. 340

Indice degli allegati pag. 344

Indice delle appendici pag. 344

PREFAZIONE

Il lavoro di tesi svolto rientra nel progetto del Patto dei Sindaci promosso dall'Unione Europea, la quale mediante la Banca Europea degli Investimenti si impegna ad offrire finanziamenti a tassi vantaggiosi a tutti i Comuni che appartengono all'Unione Europea, qualora essi dimostrino di riuscire a incrementare del 20% l'efficienza energetica degli edifici, ad abbattere del 20% le emissioni di gas serra e ad aumentare del 20% l'utilizzo di energia proveniente da fonti rinnovabili entro il 2020.

Il Comune di Cenate Sopra ha aderito a questo bando insieme ad altri 27 Comuni della Val Cavallina, una porzione di territorio che si estende tra le provincie di Bergamo e Brescia.

In queste pagine si illustrano le analisi dei consumi e delle emissioni della situazione attuale effettuate sul Comune e le possibili strategie da utilizzare per il raggiungimento dei tre obiettivi imposti dal bando che andranno poi sintetizzati in un Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile (S.E.A.P.) da inviare all'Unione Europea entro un anno dalla sottoscrizione del Patto; tale documento è stato redatto sulla base delle esigenze espresse dall'Amministrazione Comunale, considerando anche le risorse del contesto in modo da poter sfruttare il più possibile le opportunità offerte e da poter intervenire sulle criticità.

Green Way 20-20-20 è il simbolo della rete della sostenibilità che si diffonde in tutta Europa e passa anche attraverso Cenate Sopra: è un percorso ciclopedonale che segna il territorio, unisce luoghi di aggregazione e di verde pubblico e tocca i diversi aspetti della vita umana, cambiandoli profondamente. Fondamentale per la buona riuscita dell'intervento è il coinvolgimento della cittadinanza e la diffusione di una nuova cultura basata sul rispetto dell'ambiente, cominciando dalle nuove generazioni.

Proprio per questo motivi all'interno del Piano d'Azione si inserisce il progetto del nuovo polo scolastico elementare, come esempio concreto di edificio sostenibile dal punto di vista energetico ed ambientale. Si è studiato ogni dettaglio al fine di ottenere elevati livelli di comfort termoisolativo, acustico e visivo insieme alla riduzione dei consumi energetici e alla produzione di energia pulita da fonti rinnovabili, tanto da rientrare in Classe A con certificazione CasaClima.

Dopo aver effettuato un'analisi sulle effettive esigenze e sugli obiettivi di progetto, si è passati alla progettazione architettonica, prestando particolare attenzione all'orientamento dell'edificio e cercando di sfruttare il più possibile i diversi livelli altimetrici del terreno. Quindi sono stati studiati i pacchetti tecnologici e sono state eseguite le relative verifiche di conformità, senza dimenticare il progetto strutturale e le verifiche geotecniche, considerata la scarsa capacità portante del terreno. Dal punto di vista impiantistico sono state studiate diverse alternative al fine di trovare la soluzione che meglio rispondesse alle esigenze economiche ed ambientali, ma che allo stesso tempo impiegasse tecnologie all'avanguardia per dimostrare che si può cambiare qualcosa partendo proprio dalle realtà più piccole.

ABSTRACT

This thesis is based on the Covenant of Mayors design, powered by the European Union. Throughout the European Bank of Investments, it finances with little interests the villages that subscript the Covenant, if they show to increase 20% buildings energy efficient, to break down 20% pollution emissions and to increase 20% the use of renewable energy within 2020.

Cenate Sopra joins the Convenant with others 27 villages located in Val Cavallina, a region between Bergamo and Brescia.

In those papers are showed the consumption and emission analysis of the current situation of the village and the ways to reach the UE objectives; this must be summarized in a Sustainable Energy Action Plan to send to the European Union within a year from the covenant subscription. This document has been written starting from the municipal administration's needs, considering the use of the resources of the area and how to set in the problems.

Green Way is the symbol of the sustainable grid that go throughout the Europe and stop in Cenate Sopra: it is a pedestrian way that marks the territory, joints aggregation places and touches and changes the various moment of the life. The citizenship involvement is fundamental for the design successful, to the diffusion of a new lifestyle based on the environment respect, especially for the new generations.

Those are the motivations of the design of the new elementary school, like real example of sustainable building. It has been detailed studied, to guaranty high hygrothermal, acoustic and visual comfort together the cut of the energy consumption and the use of renewable energy sources. The building is included in the A-class of KlimaHaus certification.

We have analyzed the needs and the objectives to better design the school, paying attention to the building orientation and trying to take advantage of the various altitudes of the site. We have studied the technology packages and we have done the conformity checks. We have done the structural design and we have studied the geotechnical problems of the ground. We have compared different plant solutions to find the better economical and environmental system, using advanced technologies to show that something can be changed starting from the little.

Il Patto dei Sindaci

In questo capitolo si affrontano le tematiche di sostenibilità energetica ed ambientale attraverso le esplicitazioni degli obiettivi e delle modalità di attuazione del Patto dei Sindaci. Questo patto è stato istituito dall'Unione Europea per incentivare le città europee a diffondere una nuova cultura basata sul rispetto dell'ambiente. È necessaria una stretta collaborazione tra città vicine per il coordinamento degli interventi e per ottenere risultati tangibili. Il patto dei sindaci si concretizza con un piano d'azione per l'energia sostenibile che deve essere redatto per ogni comune o città firmataria dell'accordo e deve contenere le analisi di emissioni e consumi con un quadro della situazione attuale, le modalità di intervento e le previsioni sull'abbattimento appunto di emissioni e consumi. Il patto dei sindaci assume come obiettivi propri i famosi tre 20 e il principio fondante è la produzione di energia pulita. Lo scopo dell'iniziativa è la riduzione delle emissioni inquinanti del 20%, l'aumento di efficienza energetica degli edifici del 20% e l'aumento di impiego di energia da fonte rinnovabile del 20% rispetto al 1990.



Figura 1: Il Patto dei Sindaci, iniziativa per un Europa Energeticamente Sostenibile

1.1 Obiettivi e modalità

In occasione della seconda settimana europea dell'energia sostenibile EUSEW 2008, in data 29 gennaio 2008, è stata promossa una nuova iniziativa che coinvolge attivamente tutti gli stati membri dell'Unione Europea per il raggiungimento della sostenibilità energetica ed ambientale. "The Covenant of Mayors", il Patto dei Sindaci nasce sulla base di un documento stilato dall'Unione Europea in data 09 marzo 2009, "Energia per un mondo che cambia", all'interno del quale vengono elencati i tre obiettivi da raggiungere entro il 2020. Il primo è la riduzione del 20% di emissioni inquinanti, in particolare di CO₂; il secondo è l'aumento di efficienza energetica di tutti gli edifici di almeno il 20%; infine il terzo riguarda l'aumento del 20% di impiego di fonti di energia rinnovabili per la produzione di energia. Il target di riduzione è definito rispetto all'anno 1990, anno di riferimento del pacchetto clima 20-20-20 e del Protocollo di Kyoto.

Si riporta un estratto del testo del Patto dei Sindaci in cui vengono enunciati obiettivi e responsabilità che ogni sindaco si impegna ad assumersi in qualità di rappresentante del proprio comune:

*"Noi, sindaci, ci impegniamo
ad andare oltre gli obiettivi fissati per l'UE al 2020
a preparare un inventario base delle emissioni
a presentare il Piano di Azione per l'Energia Sostenibile
ad adattare le strutture della città
a mobilitare la società civile nelle nostre aree geografiche al fine di sviluppare il Piano di Azione
a presentare, su base biennale, un Rapporto sull'attuazione
a condividere la nostra esperienza
ad organizzare eventi specifici
a partecipare attivamente alla Conferenza annuale UE dei Sindaci
a diffondere il messaggio del Patto"*

Con quest'iniziativa viene data la possibilità ad ogni sindaco, ad ogni comune europeo di aderire al Patto dei Sindaci: la sottoscrizione del patto comporta la redazione di un piano d'azione per l'energia sostenibile specifico per il proprio comune che miri al raggiungimento degli obiettivi proposti. I comuni europei che hanno aderito sono 1903, di cui si contano 638 comuni italiani.

L'adesione al patto si concretizza, entro un anno dalla ratifica, con la redazione di un piano d'azione che deve contenere le strategie energetiche che il comune intenderà adottare per la riduzione di emissioni e consumi. Preventivamente la stesura del piano d'azione, ogni comune è chiamato a raccogliere dati necessari alla compilazione di un inventario di base delle emissioni per avere un quadro specifico della situazione attuale.

Nei due anni successivi, nel caso in cui il piano d'azione venga approvato dalla Commissione Europea, sarà possibile realizzare gli interventi previsti usufruendo di un finanziamento a tasso agevolato garantito dalla BEI, Banca Europea degli Investimenti. Dopo la realizzazione degli interventi è obbligatorio un periodo di monitoraggio per verificare il raggiungimento degli obiettivi.

All'interno del Piano d'Azione è importante prevedere strategie a breve termine e a lungo termine, supportate oltre che dai dati dell'inventario anche da un'indagine sulle esigenze del comune e dei suoi abitanti. Con strategie a breve termine si intendono tutte quelle azioni concretizzabili nell'arco dai 3 ai 5 anni dall'approvazione del SEAP, viceversa quelle a lungo termine richiedono dei tempi dilatati, ma che hanno come riferimento ultimo il 2020, anno entro il quale devono essere raggiunti gli obiettivi tre20.



Figura 2: Il percorso del SEAP

Il SEAP, Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile, raccoglie una serie di politiche di attuazione che riguardano il territorio comunale e mirano alla riduzione degli sprechi e dei consumi energetici e alla salvaguardia dell'ambiente con la conseguente riduzione di emissioni inquinanti. Il piano d'azione deve essere redatto su scala comunale, ma deve comunque rientrare in un piano più ampio, a livello provinciale se non addirittura regionale, in modo che i risultati possano essere tangibili.

Ogni comune ha un anno di tempo per la redazione del SEAP, che deve essere supportato da una serie di analisi su emissione e consumi e su una serie di indagini sulle esigenze del comune e dei suoi abitanti.

Il primo passo è la compilazione dell'inventario di base delle emissioni, si tratta di tre tabelle riassuntive fornite dall'Unione Europea stessa che riguardano rispettivamente i consumi energetici finali, le emissioni di CO₂ e la produzione di energia sia elettrica che di caldo e freddo. Per procedere con la stesura dell'inventario è necessaria un'indagine approfondita sul territorio che interessi i diversi settori.

Sulla base dell'inventario e delle risorse del territorio sarà possibile individuare le strategie energetiche migliori per intervenire e ridurre emissioni e consumi.

La Commissione Europea, in collaborazione con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, ha predisposto degli Elementi Guida con diverse indicazioni per la stesura del SEAP, che insieme ad alcune esperienze già maturate possono fornire un valido supporto per i comuni che si apprestano alla stesura del proprio SEAP.

Viene fornito uno schema per la strutturazione del SEAP: esso deve contenere gli obiettivi, la situazione attuale e le proiezioni future con i diversi scenari per la riduzione di emissioni e consumi energetici, gli aspetti organizzativi e finanziari con responsabilità e budget, l'inventario delle emissioni con i dati più significativi e i risultati della analisi ed infine le vere e proprie azioni pianificate, con strategie a breve e lungo termine.

La Commissione Europea, attraverso il proprio Centro Comune di Ricerca (CCR/JRC, Ispra-Va) ha predisposto un ulteriore supporto tecnico-scientifico, in particolare sulle metodologie e strumenti già esistenti e sulle linee guida e format specifici per l'inventario delle emissioni.

In Italia nell'ambito della Campagna SEE, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare coordinerà le azioni al fine di coinvolgere un numero sempre maggiore di città che si vorranno impegnare in obiettivi ambiziosi da realizzare entro il 2020.

1.2 VCS: Val Cavallina Servizi

La Val Cavallina Servizi s.r.l. è una società a partecipazione comunale, attiva nell'ambito territoriale che si occupa della diffusione di impianti per la produzione di energia da fonti alternative. Nel gennaio 2010 la società ha deciso di aderire al Patto dei Sindaci in qualità di ente rappresentativo dei comuni della Val Cavallina. Grazie al ruolo chiave della società nella promozione del programma europeo nella provincia di Bergamo sono 28 i comuni italiani della zona che hanno firmato il Patto dei Sindaci e si impegnano nel raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità ambientale ed energetica fissati per il 2020.

Tabella 1: Comuni aderenti al Patto dei Sindaci

Comune	Data Adesione SEAP
1. Berzo San Fermo	23/03/2010
2. Bianzano	25/03/2010
3. Borgo di Terzo	18/03/2010
4. Bossico	29/03/2010
5. Casazza	22/03/2010
6. Castro	04/03/2010
7. Cenate Sopra	18/02/2010
8. Costa Volpino	16/03/2010
9. Credaro	31/03/2010
10. Endine Gaiano	29/03/2010
11. Entratico	05/03/2010
12. Gaverina Terme	16/02/2010
13. Gorlago	19/04/2010
14. Grone	14/04/2010
15. Lovere	23/04/2010
16. Luzzana	30/03/2010
17. Monasterolo Del Castello	03/03/2010
18. Parzanica	15/04/2010
19. Ranzanico	18/03/2010
20. San Paolo D'Argon	03/03/2010
21. Sarnico	12/04/2010
22. Solto Collina	30/03/2010
23. Spinone al Lago	04/03/2010
24. Tavernola Bergamasca	27/03/2010
25. Trescore Balneario	29/03/2010
26. Vigano San Martino	30/03/2010
27. Villongo	06/04/2010
28. Zandobbio	26/03/2010

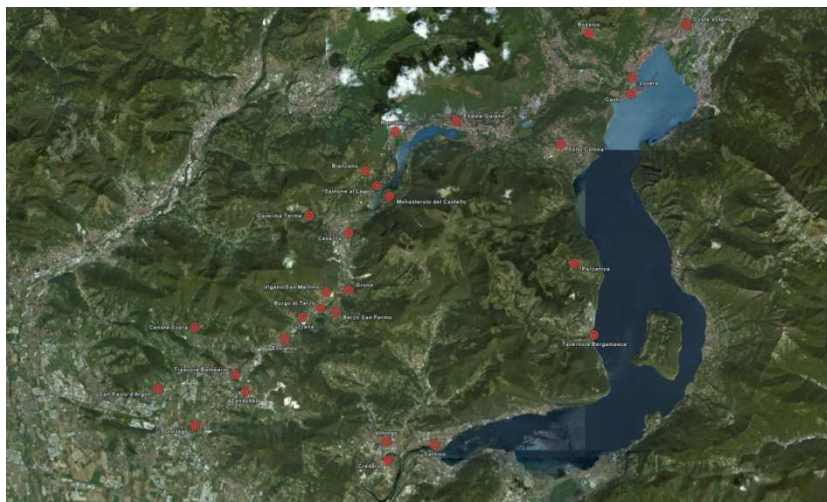


Figura 3: Panoramica comuni analizzati

Il gruppo di lavoro è costituito da un comitato direttivo ed un comitato operativo legati da una convenzione. Il comitato direttivo al suo interno è suddiviso in un comitato direttivo generale rappresentato dalla VCS S.r.l. ed in uno di controllo specifico di ogni comune. il comitato operativo invece è formato da due gruppi di lavoro: il primo si occupa della progettazione impiantistica ed è rappresentato dalla società ING S.r.l., mentre la parte di analisi di emissioni e consumi insieme alla raccolta dati e all'indagine territoriale è stata affidata al Politecnico di Milano, rappresentato dal Dipartimento BEST.

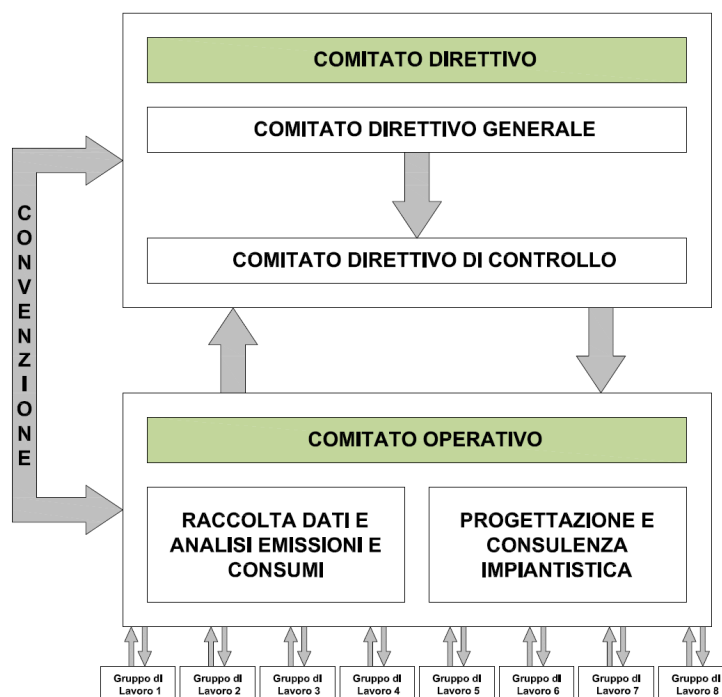


Figura 4: Schema gruppo di lavoro

Per facilitare la raccolta dati sono stati creati otto gruppi di lavoro formati da studenti che si sono occupati di alcuni comuni, in modo da coprire l'intero territorio. Ogni gruppo ha il compito di raccogliere i dati su emissioni e consumi per la determinazione dello scenario base di riferimento su cui poi poter intervenire. Dopo aver compilato l'inventario di base delle emissioni fornito dall'Unione Europea, sarà necessario individuare delle azioni da perseguire per la riduzione di CO₂ e del rispettivo consumo

energetico per la stesura del SEAP. Si dovranno definire diversi scenari possibili combinando le diverse azioni nel tempo in linea con gli obiettivi da raggiungere entro il 2020.

1.3 Metodo d'indagine

La metodologia di lavoro consiste nel integrare dati delle analisi da database e delle analisi sul territorio per la compilazione dell'inventario delle emissioni e per la progettazione finale del SEAP.

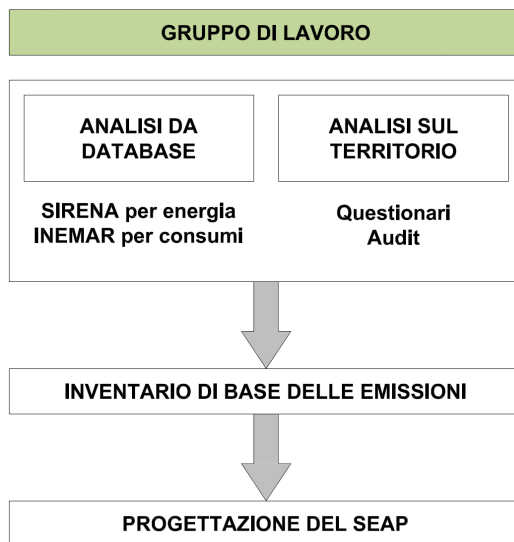


Figura 5: Schema metodologia di lavoro

La procedura per la raccolta dei dati consiste nell'utilizzare quanto possibile i database disponibili nella Regione Lombardia per quanto riguarda sia le emissioni di CO₂ in atmosfera sia l'energia consumata nei diversi settori.

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha lanciato la campagna "Energia Sostenibile per l'Italia" nell'ambito della campagna europea "Sustainable Energy Europe (SEE)". La campagna SEE è stata rilanciata dalla Commissione Europea con il nuovo triennio 2009-2011 e il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare continuerà a svolgere la funzione di Focal Point Nazionale. L'iniziativa ha tra i suoi obiettivi quello di accrescere la consapevolezza e modificare la produzione e l'utilizzo dell'energia nell'ottica anche del raggiungimento degli obiettivi del protocollo di Kyoto.

Il lavoro proposto consiste nella determinazione delle emissioni di agenti inquinanti in atmosfera, nello specifico nel calcolo della CO₂ equivalente e nel calcolo dell'energia consumata per i territori comunale firmatari del patto. A tale scopo sono stati utilizzati due database contenenti i dati necessari per il calcolo: SIRENA per i consumi energetici e INEMAR per le emissioni inquinanti.

Tabella 2: Metodologia calcolo emissioni


Metodologia per il calcolo delle EMISSIONI pro capite gas serra	
Descrizione indicatore	<p>La massiccia presenza e il continuo aumento delle emissioni di gas serra nell'atmosfera terrestre, a causa principalmente dell'utilizzo dei combustibili fossili, stanno facendo innalzare la temperatura del pianeta. Gli effetti del riscaldamento globale sono difficili da prevedere con esattezza, anche se molti segnali sono già osservabili da alcuni anni, fra cui lo scioglimento dei ghiacciai, l'estremizzazione degli eventi meteorologici o l'innalzamento del livello dei mari. I principali gas considerati responsabili dell'effetto serra sono l'anidride carbonica (CO₂), il metano (CH₄) e il protossido di azoto (N₂O). Il Protocollo di Kyoto (1997) è un accordo internazionale che mira a ridurre le emissioni dei gas che causano l'effetto serra, impegnando i Paesi industrializzati e quelli ad economia in transizione a ridurre le principali emissioni antropogeniche. Per emissione, in generale, si intende la quantità di sostanza inquinante introdotta in atmosfera da una certa fonte inquinante e in un determinato arco di tempo (generalmente essa viene espressa in tonnellate su anno).</p> <p>L'indicatore A01 ha lo scopo di dare una stima del livello di emissioni di "gas serra" derivanti dal specifico territorio Comunale</p>
Modalità di calcolo	<p>Gli inventari delle emissioni si propongono come una raccolta, realizzata secondo procedure e metodologie verificabili e aggiornabili, di informazioni e dati tecnologici, economici, territoriali, che permettono di individuare le fonti di inquinamento, la loro localizzazione con disaggregazione provinciale e comunale, la quantità e la tipologia di inquinanti emessi. La metodologia più diffusa per la stima delle emissioni è quella elaborata nell'ambito del progetto CORINAIR (CooRdination Information AIR), promosso e coordinato dalla Comunità Europea. L'Inventario della Regione Lombardia è stato realizzato secondo questa metodologia e fornisce la stima delle emissioni totali annue di macro e microinquinanti, disaggregate per attività emissiva e ripartite spazialmente su scala comunale. Nell'inventario emissioni sono disponibili i dati di alcuni parametri inquinanti "aggregati", ottenuti dalla combinazione dei dati di emissione di singoli inquinanti. Le emissioni di "CO_{2eq}" rappresentano le emissioni totali di gas serra, pesate sulla base del loro contributo all'effetto serra. La stima delle emissioni aggregate di gas serra si basa sulla seguente relazione:</p> <p>con CO_{2eq} = emissioni di CO₂ equivalente in kt/anno; GWPi = "Global Warming Potential", coefficienti IPCC pari a 1, 0.021 e 0.31 rispettivamente per CO₂, CH₄ e N₂O (IPCC, 2001); Ei = emissioni di CO₂ [kt/anno], CH₄ e N₂O [t/anno].</p> <p>Una volta stimato il valore di CO_{2eq} [kt/anno], le emissioni pro capite di Gas Serra si calcolano come rapporto fra emissione totale annua e popolazione residente: A01 = Emissioni pro-capite Gas Serra = CO_{2eq} / ab anno L'indicatore è stato calcolato per tutti i comuni della Val Cavallina; la stima delle emissioni è riferita all'anno 2007.</p>
Fonte dati	<p>La fonte dei dati utilizzati per il calcolo dell'indicatore si riferisce al progetto "INEMAR, Inventario emissioni in atmosfera. Emissioni in Lombardia nel 2003, dati finali aprile 2007", realizzato e messo a disposizione da ARPA Lombardia e dalla Regione Lombardia. INEMAR è un database progettato per realizzare l'inventario delle emissioni in atmosfera, ovvero stimare le emissioni a livello comunale dei diversi inquinanti; l'accesso al database è libero e può avvenire dal sito web dedicato.</p> 
Siti web	<p>Sito web dell'Inventario delle Emissioni in atmosfera in Lombardia (INEMAR): http://www.ambiente.regione.lombardia.it/inemar/inemarhome.htm.</p>

Tabella 3: Metodologia calcolo consumi

Metodologia per il calcolo dei CONSUMI ENERGETICI pro capite	
Descrizione indicatore	<p>I consumi energetici influenzano direttamente la qualità dell'ambiente urbano: l'inquinamento atmosferico locale è dovuto, nella maggior parte dei casi, al riscaldamento degli edifici e al trasporto. Il consumo delle fonti fossili di combustibili contribuisce a livello globale all'aggravarsi dell'“effetto serra” ovvero dell'innalzamento della temperatura globale del pianeta dovuto all'incremento in atmosfera di anidride carbonica e di altri gas (HFC; PFC; N₂O; SF₆; CH₄). L'inquinamento atmosferico è la fonte principale che causa danni alla salute dell'uomo e degli ecosistemi, dunque occorrerà perseguire con decisione l'obiettivo del risparmio energetico, razionalizzando i consumi e riducendo gli sprechi, nella consapevolezza che ad un vantaggio economico é associata un'azione che favorisce la salvaguardia ambientale.</p> <p>L'indicatore A02 ha lo scopo di fornire informazioni rispetto al consumo energetico nel territorio comunale, al fine di fornire una misurazione indiretta del grado di sfruttamento delle risorse energetiche.</p>
Modalità di calcolo	<p>Il Sistema Informativo Regionale ENergia Ambiente fornisce gli elementi di conoscenza per la descrizione dei flussi energetici che caratterizzano il territorio regionale, relativamente alle attività di produzione, importazione, esportazione, trasformazione e utilizzo finale dell'energia. Le informazioni derivano da un approccio metodologico che si può definire "misto": da una parte, le informazioni vengono elaborate secondo una stima "top-down" a partire dalla disaggregazione dei dati del Bilancio Energetico su base provinciale, utilizzando opportuni indicatori statistici (popolazione, numero di addetti, ecc.), dall'altra considerando direttamente alcune informazioni puntuali secondo un approccio "bottom-up" (grandi impianti industriali inclusi nel Registro Emission Trading, impianti a fonti rinnovabili, ecc).</p> <p>Nell'inventario della domanda di energia di SIRENA è possibile visualizzare tutte le informazioni relative ai consumi energetici finali, suddivisi per i diversi settori d'uso e per i diversi vettori impiegati all'interno del territorio comunale.</p> <p>È possibile leggere le informazioni in relazione all'anno di analisi (il periodo oggi a disposizione è riferito agli anni 2000-2007) e all'unità di misura. La lettura dei dati può quindi procedere analizzando i singoli vettori energetici o i singoli settori di consumo, accedendo ai rispettivi approfondimenti. Per ciascun vettore è poi possibile verificare la quantità di combustibile consumato in ciascun settore, compresa la trasformazione di energia. Inoltre, per ogni specifico settore è possibile verificare la ripartizione dei vettori utilizzati nel territorio comunale.</p> <p>I dati di consumo energetico riferiti ai diversi vettori impiegati sono confrontabili tra loro in termini di tonnellate di petrolio equivalente:</p> <p>1 TEP = 4,545 MWh elettrici; 1 TEP = 11,628 MWh termici.</p>
Fonte dati	<p>La fonte dei dati utilizzati per il calcolo dei consumi è SIRENA, il “Sistema Informativo Regionale ENergia Ambiente, sistema per il monitoraggio della sicurezza, dell'efficienza e della sostenibilità del sistema energetico regionale”, realizzato e reso disponibile da Cestec Spa, per conto della Regione Lombardia. SIRENA nasce con l'obiettivo di monitorare i consumi e le diverse modalità di produzione e di trasmissione/distribuzione di energia sul territorio lombardo.</p>
Sito web	<p>Sito web del Sistema Informativo Regionale ENergia Ambiente (SIRENA): http://sirena.cestec.eu/sirena/index.jsp.</p>

Le analisi sul territorio riguardano principalmente la verifica dei consumi elettrici e di gas metano degli edifici pubblici e dell'illuminazione pubblica grazie alla raccolta delle bollette al 2007. Sono stati stilati questionari da consegnare all'amministrazione pubblica per poter conoscere le esigenze del comune e le necessità dei suoi abitanti.

1.4 Baseline Emission Inventory

L'inventario delle emissioni è composto da quattro tabelle fornite dalla Commissione Europea, la cui compilazione permette di avere un quadro di riferimento sulla situazione attuale. Tutti i dati devono essere riferiti al 2007, qualora non fossero disponibili sarebbe opportuno fare delle ipotesi raccogliendo dati precedenti e posteriori, per avere la progressione nel tempo di consumi ed emissioni.

La tabella A riguarda i consumi energetici finali espressi in MWh ed interessa il settore dell'edilizia e dei trasporti. Per il primo settore si considerano le categorie di edifici comunali, terziari, residenziali, industriali e l'illuminazione pubblica. All'interno del secondo si distingue il parco auto comunale, il trasporto pubblico e privato. Per ogni categoria si evidenziano i consumi di elettricità, per il riscaldamento e raffrescamento e i consumi legati al tipo di fonte: combustibili fossili (gas naturale, gas liquido, olio da riscaldamento, diesel, benzina, lignite, carbone, altri combustibili fossili) e fonti rinnovabili (oli vegetali, biocarburanti, altre biomasse, energia solare termica, energia geotermica). Per completare la tabella si utilizzano i dati SIRENA suddivisi per settore, mentre per gli edifici pubblici si ricorre alle analisi sul territorio.

A. Consumo energetico finale
Si segnalano i dati per la separazione dei decimali al nono il punto (,). Non è consentita l'uso di separatori per la migliaia.

Categoria	CONSUMO ENERGETICO FINALE (MWh)														Totale	
	Elettricità	Calore/Freddo	Combustibili fossili							Energie rinnovabili						
			Gas naturale	Gas liquido	Olio da riscaldamento	Diesel	Benzina	Lignite	Carbone	Altri combustibili fossili	Oli vegetali	Bio-carburanti	Altre biomasse	Energia solare termica	Energia geotermica	
EDIFICI, ATTREZZATURE/IMPIANTI E INDUSTRIE																
Edifici, attrezzature/impianti comunali																
Edifici, attrezzature/impianti terziari (non comunali)																
Edifici residenziali																
Illuminazione pubblica comunale																
Industria (incluse le industrie contemplate nel Sistema europeo di scambio delle quote di emissione - ETS)																
Totale parziale edifici, attrezzature/impianti e industrie																
TRASPORTI																
Parco auto comunale																
Trasporti pubblici																
Trasporti privati e commerciali																
Totale parziale trasporti																
Totale																
(Eventuali) acquisti di elettricità verde certificata da parte del comune (MWh)																
Fattore di emissione di CO2 per gli acquisti di elettricità verde certificata (approccio LCAs)																

Figura 6: Tabella A

Nella tabella B vengono riconsiderate le stesse categorie e devono essere raccolti i dati riguardanti le emissioni di CO₂ equivalenti espresse in tonnellate all'anno sempre suddivise a seconda della fonte di energia da cui dipendono. Si possono aggiungere altre categorie qualora risultino particolarmente significative (smaltimento dei rifiuti, gestione delle acque reflue) ai fini delle analisi. In questo caso si utilizzeranno i dati INEMAR per ogni settore escluse le emissioni degli edifici pubblici ricavate dalle indagini dirette sul territorio.

B. EMISSIONI DI CO₂ EQUIVALENTI DI CO₂
Si segnalano i dati per la separazione dei decimali al nono il punto (,). Non è consentita l'uso di separatori per le migliaia.

Categoria	Emissioni di CO ₂ (t)/Emissioni equivalenti di CO ₂ (t)														Totale	
	Elettricità	Calore/Freddo	Combustibili fossili							Energie rinnovabili						
			Gas naturale	Gas liquido	Olio da riscaldamento	Diesel	Benzina	Lignite	Carbone	Altri combustibili fossili	Oli vegetali	Bio-carburanti	Altre biomasse	Energia solare termica	Carbone geotermica	
EDIFICI, ATTREZZATURE/IMPIANTI E INDUSTRIE																
Edifici, attrezzature/impianti comunali																
Edifici, attrezzature/impianti terziari (non comunali)																
Edifici residenziali																
Illuminazione pubblica comunale																
Industria (incluse le industrie contemplate nel Sistema europeo di scambio delle quote di emissione - ETS)																
Totale parziale edifici, attrezzature/impianti e industrie																
TRASPORTI																
Parco auto comunale																
Trasporti pubblici																
Trasporti privati e commerciali																
Totale parziale trasporti																
ALTRO																
Smaltimento dei rifiuti																
Decolore delle acque reflue																
Industria non in altre emissioni del settore comune																
Totale																
Corrispondenti fattori di emissione di CO ₂ in (t/MWh)																
Fattore di emissione di CO ₂ per l'elettricità non prodotta localmente (t/MWh)																

Figura 7: Tabella B

Le tabelle C e D riguardano la produzione locale di elettricità e di caldo/freddo e le corrispondenti emissioni di CO₂ equivalenti. Ad ogni tipo di impianto si associa la quantità di energia prodotta espressa in MWh, il vettore energetico utilizzato espresso in MWh, distinguendo tra combustibili fossili e fonti rinnovabili, e le corrispondenti emissioni di

CO₂ espresse in tonnellate. L'obiettivo è determinare le tonnellate di CO₂ emesse per ogni MWh di energia prodotta.

C. Produzione locale di elettricità e corrispondenti emissioni di CO₂

Si segnala che per la separazione dei decimali si usa il punto (.) Non è consentito l'uso di separatori per le virgole.

Elettricità prodotta localmente (tutti gli impianti > 20 MW)	Elettricità prodotta localmente [MWh]	Vettore energetico utilizzato [MWh]										Emissioni di CO ₂ o equivalenti di CO ₂ [t]	Fattori di emissione di CO ₂ corrispondenti per la produzione di elettricità in [t/MWh]	
		Combustibili fossili					Vapore	Rifiuti	Olio vegetale	Altre biomasse	Altri fonti rinnovabili			Altro
		Gas naturale	Gas liquido	Olio da lignite	Carbone									
Energia eolica														
Energia idroelettrica														
Cogenerazione di energia elettrica e termica														
Altra														
Specificare: _____														
Totale														

D. Produzione locale di calore/freddo (teleraiscaldamento/teleraffrescamento, cogenerazione di energia elettrica e termica...) e corrispondenti emissioni di CO₂

Si segnala che per la separazione dei decimali si usa il punto (.) Non è consentito l'uso di separatori per le virgole.

Calore/freddo prodotti localmente	Calore/freddo prodotti localmente [MWh]	Vettore energetico utilizzato [MWh]										Emissioni di CO ₂ o equivalenti di CO ₂ [t]	Fattori di emissione di CO ₂ corrispondenti per la produzione di calore/freddo in [t/MWh]	
		Combustibili fossili					Rifiuti	Olio vegetale	Altre biomasse	Altri fonti rinnovabili	Altro			
		Gas naturale	Gas liquido	Olio da lignite	Carbone									
Cogenerazione di energia elettrica e termica														
Impianti di teleraiscaldamento														
Altra														
Specificare: _____														
Totale														

Figura 8: Tabelle C e D

Dopo la compilazione dell'inventario è immediato il confronto con gli obiettivi del 20-20-20. Si ipotizzano diversi scenari e diverse combinazioni di azioni in modo da ottenere la riduzione del 20% delle emissioni di agenti inquinanti.

1.5 Il comune di Cenate Sopra

Il comune di Cenate Sopra ha sottoscritto il Patto dei Sindaci in data 18 febbraio 2010 e si è affidato alla VSC S.r.l. per la redazione delle analisi e la progettazione del SEAP.



Figura 9: Inquadramento territoriale



Figura 10: Comune di Cenate Sopra

Il comune si trova a circa 22 km da Bergamo ed ha una superficie di 6,93 kmq ad un'altitudine 330 m sul livello del mare. Il comune conta 2472 abitanti (fonte ISTAT al 2001) con una densità pari a 356 ab/kmq.

La fase di analisi e la progettazione del SEAP per questo comune sono state affidate al gruppo di lavoro 8 composto da Leonardi, Parsani e Travelli. Oltre allo sviluppo delle strategie energetiche per il raggiungimento degli obiettivi al 2020, il gruppo ha deciso di affrontare anche un passo successivo al SEAP: la progettazione di un edificio pubblico, in questo caso le nuove scuole elementari, come esempio di applicazione concreta di un nuovo modo di costruire ad impatto zero e con il minor consumo di energia possibile, grazie all'aiuto di fonti di energia rinnovabili e nuove tecnologie.

Conclusioni

In questo capitolo introduttivo si sono affrontate le tematiche generali e il contesto in cui si andrà ad operare. Si sono esplicitati gli obiettivi del Patto dei Sindaci, le modalità di attuazione e stesura del Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile. Il principio fondamentale è la sostenibilità energetica ed ambientale, i rappresentanti di ogni città e ogni comune europeo sono chiamati in prima persona ad affrontare la questione coinvolgendo la popolazione e favorendo la collaborazione tra paesi. Il contesto in cui si opera è quello del territorio bergamasco della Val Cavallina che conta 28 comuni che hanno sottoscritto il patto. Nello specifico si analizzerà la situazione del comune di Cenate Sopra, per il quale si redigerà un piano d'azione partendo dai risultati delle analisi di emissioni e consumi effettuate.

Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile

Il piano d'azione dell'energia sostenibile è assimilabile ad uno strumento di governo del territorio, dove i criteri decisionali rispondono a due obiettivi principali: la riduzione delle emissioni di inquinanti e dei consumi energetici e la produzione di energia pulita. Il piano è redatto su scala comunale con azioni diverse a seconda del settore in esame. Si definiscono azioni a breve termine, da realizzare in un arco di tempo che va dai 3 ai 5 anni e azioni a lungo termine che hanno un periodo di realizzabilità molto più lungo. Si interviene soprattutto nei settori critici con modalità d'attuazione commisurate alle risorse, soprattutto economiche, del comune. Per un piano d'azione ben progettato è fondamentale la compilazione dell'inventario di base delle emissioni e dei consumi per avere un quadro dettagliato della situazione attuale insieme alla stretta collaborazione con le amministrazioni, per comprenderne al meglio le esigenze e riuscire a dare una risposta concreta alle problematiche del comune.



Figura 1: Energia pulita

2.1 Contesto generale: Val Cavallina

Prima di illustrare i risultati specifici del comune di Cenate Sopra, si vuole mostrare una panoramica della situazione generale della Val Cavallina. Si sono raccolti in istogrammi i dati sui consumi energetici finali espressi in MWh e sulle emissioni di gas serra espressi in tonnellate di CO₂ equivalenti. I comuni sono ordinati in modo crescente secondo la popolazione residente definita dal censimento ISTAT del 2001. I dati sono suddivisi per settore e quelli analizzati sono: agricoltura, industria, residenziale, terziario, trasporti.

Allo scopo di confrontare i dati è stato necessario un processo di normalizzazione degli stessi: esso consiste nel rapportare tutti i dati al valore massimo presente per ogni settore sia per quanto riguarda i consumi che le emissioni.

Di seguito si riporta un esempio di processo di normalizzazione. Si consideri il settore residenziale: il massimo valore, sia per i consumi che per le emissioni, si ha in corrispondenza di Costa Volpino, si procederà quindi dividendo tutti i dati per il valore massimo della rispettiva categoria.

Esempio di normalizzazione: comune di Parzanica

Consumi:

Valore iniziale: 7662,85 MWh

Valore massimo: 84965,80 MWh

Valore normalizzato: $\frac{7662,85 \text{ MWh}}{84965,80 \text{ MWh}} = 0,090187$

Emissioni:

Valore iniziale: 0,766544 kt di CO₂eq

Valore massimo: 16,709294 kt di CO₂eq

Valore normalizzato: $\frac{0,766544 \text{ kt di CO}_2\text{eq}}{16,709294 \text{ kt di CO}_2\text{eq}} = 0,045875$

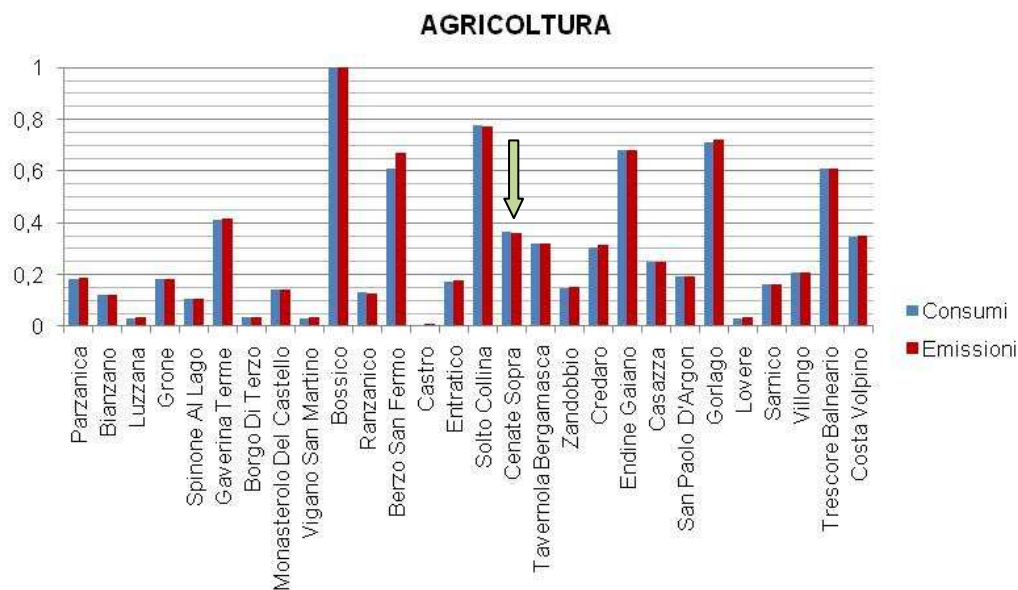


Grafico 1: Confronto consumi emissioni agricoltura

Agricoltura

Il settore agricolo del comune di Cenate Sopra è abbastanza sviluppato, data la presenza di zone collinari coltivate a vite. Il territorio verde e naturale è infatti molto più esteso rispetto alla superficie costruita. Il settore agricolo tuttavia ha un'incidenza marginale in termini di emissioni e consumi rispetto agli altri settori.

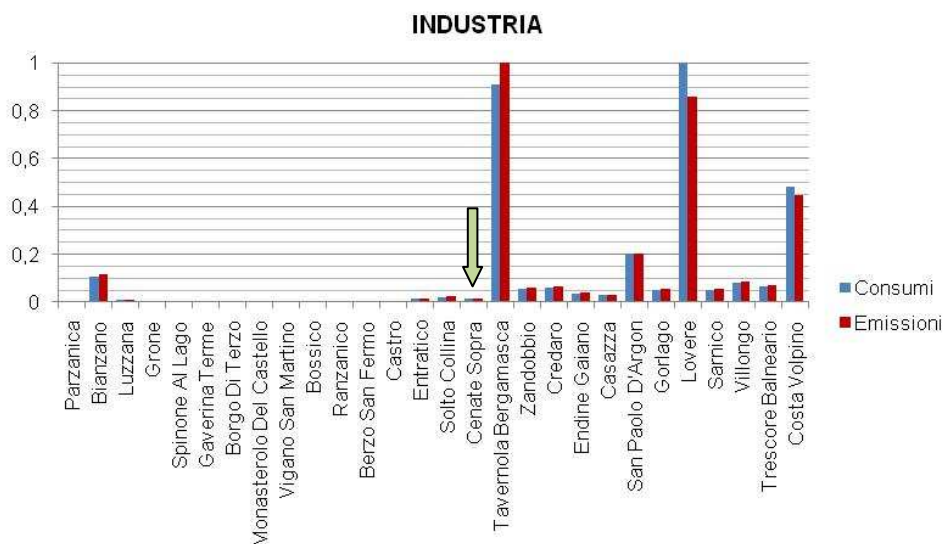


Grafico 2: Confronto consumi-emissioni industria

Industria

Il settore industriale è poco sviluppato all'interno del comune. La sua incidenza è molto bassa e all'interno delle analisi tale settore non sarà preso in considerazione.

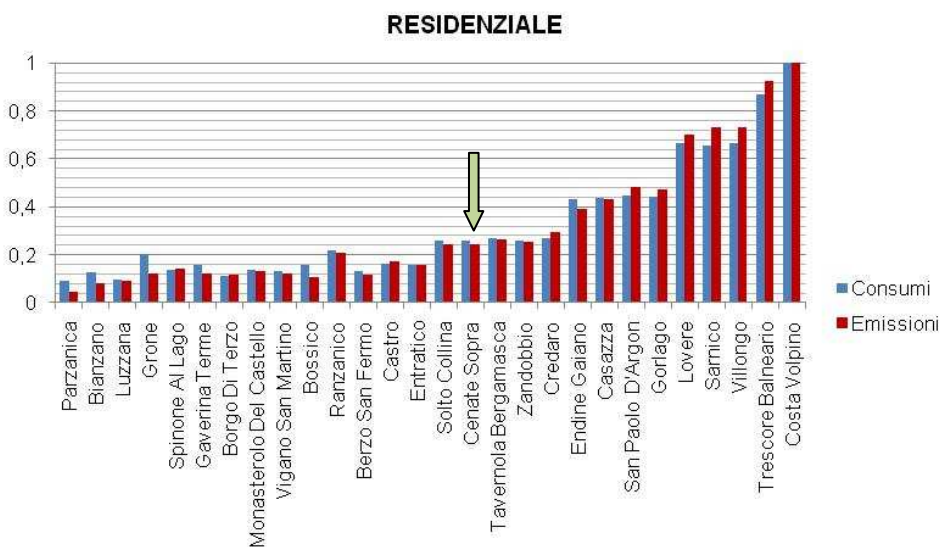


Grafico 3: Confronto consumi-emissioni residenziale

Residenziale

Il settore residenziale è quello in cui si registrano maggiori consumi ed emissioni per la maggior parte dei comuni della Valcavallina. In questo caso l'andamento delle due variabili è proporzionale al numero di abitanti. Cenate Sopra si trova in una posizione pressoché centrale.

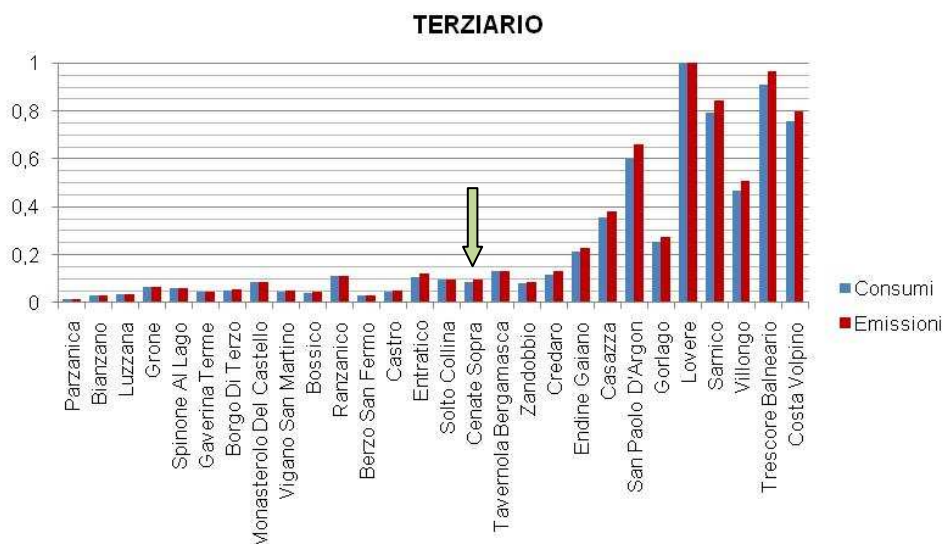


Grafico 4: Confronto consumi-emissioni terziario

Terziario

Per il settore terziario sono valide le stesse considerazioni del settore agricolo: l'incidenza è molto bassa, rispetto ad altri settori, quali il residenziale e i trasporti.

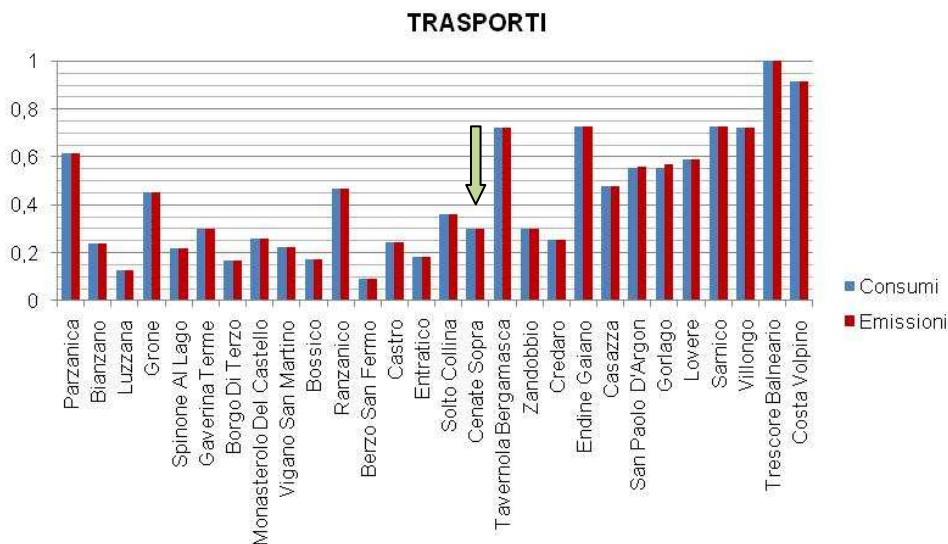


Grafico 5: Confronto consumi-emissioni trasporti

Trasporti

Il settore dei trasporti, insieme al residenziale, rappresenta un settore critico per la maggior parte dei comuni in analisi. Si ricorda infatti che tutti i comuni della Valcavallina sono attraversati da un'unica strada statale SS42 molto trafficata che collega Bergamo a Lovere.

Conclusioni generali

Dai grafici si può osservare che in tutti i settori analizzati, i consumi e le emissioni sono strettamente collegati tra loro e nella maggior parte dei casi raggiungono lo stesso valore normalizzato.

Nel settore agricolo e in quello industriale il livello di consumi ed emissioni non è proporzionale all'aumentare della popolazione, ma dipende invece dal fatto che il settore sia più o meno sviluppato all'interno del comune. Anche i consumi e le emissioni del settore trasporti non sono strettamente collegati al numero di abitanti, anche se è possibile osservare che vi è comunque una crescita nei comuni più popolosi, ma l'andamento dipende principalmente dalla presenza di strade extraurbane trafficate (come per esempio la strada statale SS42 che congiunge Treviglio a Bolzano attraversando totalmente la Val Cavallina) all'interno del territorio comunale. Nel settore residenziale e terziario invece i consumi e le emissioni sono direttamente proporzionali (esclusi alcuni casi specifici per quanto riguarda il terziario) all'andamento della popolazione.

2.2 Il caso specifico: Cenate Sopra

Per il comune di Cenate Sopra sono stati raccolti i dati sulle emissioni e sui consumi per settore grazie all'utilizzo dei database SIRENA e INEMAR.

Si riporta il grafico riassuntivo dei pesi in percentuale delle emissioni di CO₂ equivalente diviso per macrosettori, seguito da un grafico più specifico per il settore che risulta il più critico. Si nota immediatamente che la maggior parte delle emissioni inquinanti deriva dalla combustione non industriale per il 55% e dal trasporto su strada per il 26%. In particolare nel settore edilizio le emissioni sono causate per l'80% da impianti residenziali per riscaldamento e raffrescamento. Le azioni all'interno del SEAP si concentreranno maggiormente verso i settori più critici: il residenziale e i trasporti.

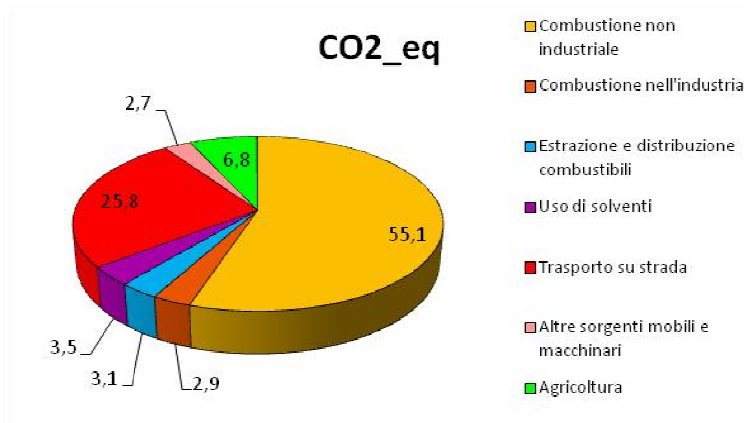


Grafico 6: Emissioni per settore

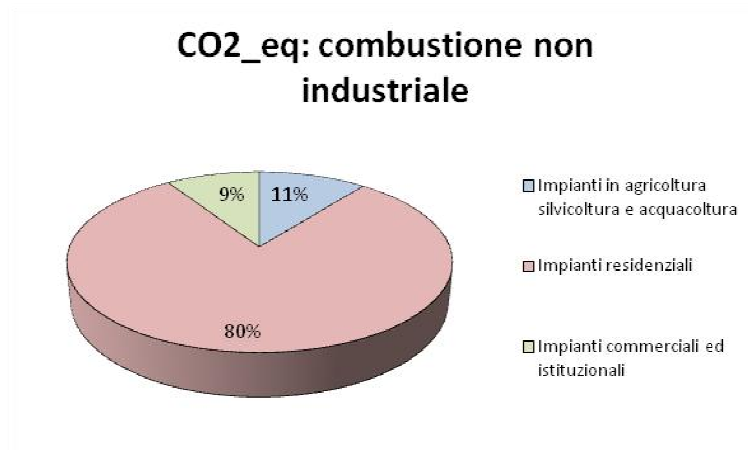


Grafico 7: Emissioni combustione non industriale

Di seguito si riportano i dati raccolti sui consumi suddivisi per macrosettori. Nel caso in esame il 48% dei consumi è legato al settore residenziale e il 28% al settore trasporti. Si considerano poi i due settori nello specifico, indagando sulle fonti di energia maggiormente utilizzate: nel primo caso si nota una percentuale del 54% associata al gas naturale seguita da un 20% associato alle biomasse e nel secondo caso una percentuale pari 65% associata al gasolio seguita da un 31% associato alla benzina.

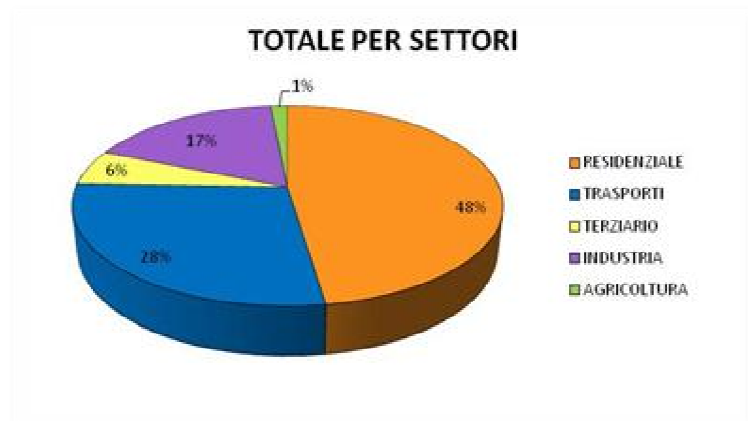


Grafico 8: Consumi per settori

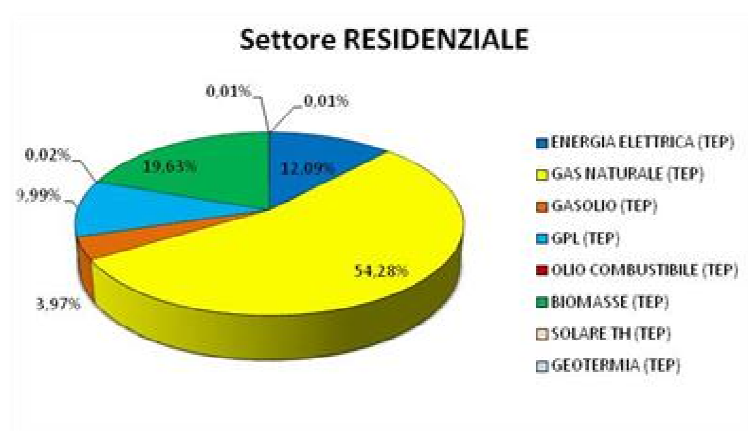


Grafico 9: Fonti di energia nel residenziale

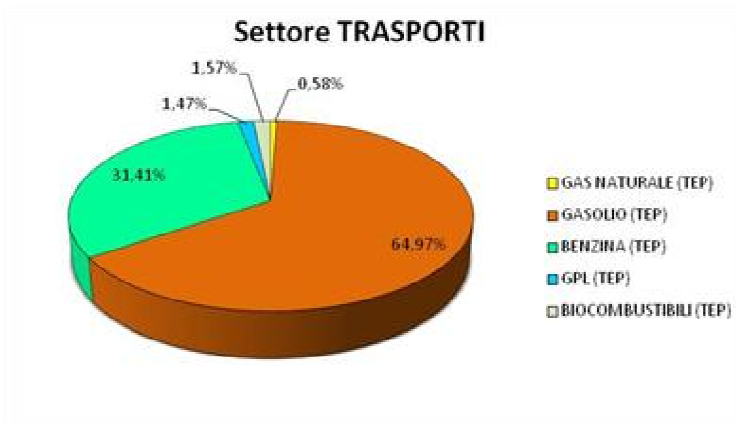


Grafico 10: Fonti di energia nei trasporti

Si riportano di seguito due tabelle riassuntive dei dati di partenza per la compilazione dell'inventario delle emissioni. Nella prima sono raccolti i consumi per settore in TEP (tonnellate di petrolio equivalenti) mentre nella seconda sono state effettuate le conversioni passando dai TEP ai MW piuttosto che ai MWh.

Per i fattori di conversione ci si riferisce alla Delibera EEN 09/10 del 12/04/2010:

	FATTORE DI CONVERSIONE
Energia elettrica [MW] → 1TEP=	5,384
Energia termica [MWh] → 1TEP=	11,628

Per la stima dei consumi di energia del patrimonio comunale sono state raccolte le bollette di gas metano e quelle elettriche per ogni singolo edificio includendo anche l'illuminazione pubblica. I dati si riferiscono all'anno 2007, sono stati raccolti mese per mese per avere la situazione di riferimento nell'arco dell'anno.

Sono stati presi in considerazione i seguenti edifici pubblici:

Tabella 1: Lista edifici pubblici

Utenza	Via	Superficie [m ²]	Volume riscaldato [m ³]
Scuola primaria	Via Belotti	825	2890
Palestra	Via Belotti	680	5515
Biblioteca comunale	Via Belotti	116	371
Magazzino	Via Belotti	192	660
Centro anziani	Via Belotti 1	234	998
Municipio	Corso Europa 3	336	1124
Centro Sportivo Comunale	Via Donizzetti	110	342
Cimitero	Via Papa Giovanni XXIII	-	-
Ambulatorio medico	Via Papa Giovanni XXIII	120	420

La tabella seguente contiene il riepilogo dei dati raccolti: per ogni edificio si riporta il volume riscaldato espresso in m³, i consumi energetici presunti sulla base delle letture dei m³ di gas consumato indicati sulle bollette e l'importo presunto annuo espresso in euro. I valori in corrispondenza di palestra comunale, biblioteca comunale e magazzino sono assenti poiché si tratta di un unico complesso legato alla scuola primaria, quindi ci si riferisce ad un unico dato.

Tabella 2: Consumi gas metano edifici pubblici

GAS METANO 2007			
Fornitore: S.G.M. SISTRIBUZIONE PAVESE S.R.L.			
Utenza	Volume riscaldato	Energia termica annuale contabilizzata presunta	Importo annuo presunto
	m ³	m ³	€
Scuola primaria	2890	15961	13360,03
Palestra comunale	5515	-	-
Biblioteca comunale	371	-	-
Magazzino	660	-	-
Centro anziani	998	1136	849,3
Municipio	1124	2998	2718,88
Centro Sportivo Comunale	342	1028	1027,52
Cimitero	0	-	-
Ambulatorio medico	420	98	99,17

La tabella seguente riporta invece i consumi elettrici annuali espressi in kWh/anno e l'importo presunto espresso in euro sempre suddivisi per edificio. Diversamente dal caso precedente, per i consumi elettrici il polo scolastico comprende la scuola primaria, la palestra comunale e il magazzino, escludendo la biblioteca comunale.

Tabella 3: Consumi elettrici edifici pubblici

ENERGIA ELETTRICA 2007		
Fornitore: ENEL		
Utenza	Consumi elettrici totali	Importo annuo presunto
	kWh/anno	€
Scuola primaria e Palestra	15575	3407,46
Palestra	-	-
Biblioteca comunale	2811	569,62
Magazzino	-	-
Centro anziani	4366	983,74
Municipio	7274	1748,36
Centro Sportivo Comunale	1067	543,55
Cimitero	8791	6822,97
Ambulatorio medico	54	124,54

Si riportano inoltre i dati riassuntivi riguardanti l'illuminazione pubblica sia i consumi espressi in kWh/anno che l'importo annuo espresso in euro. Sono stati raccolti inoltre il numero dei punti luce pari a 429 e la lunghezza delle strade pari a 14 km.

ENERGIA ELETTRICA 2007		
ILLUMINAZIONE PUBBLICA		
TOT 2007	kWh/anno	11504
	€	7393,25

Si riportano infine le tabelle generali riassuntive di tutti i dati raccolti necessari per la compilazione dell'inventario delle emissioni.

	Numeri abitanti	Estensione territoriale [kmq]	Superficie SLP [m ²]	Volume [m ³]	Consumi elettrici [kWh/anno]	Spesa per elettricità [euro]	Consumi metano [m ³ /anno]	Consumi metano MWh (8 kWh/m ³)	Spesa per metano [euro]
CENATE SOPRA	2518	6,93						8	
Scuola primaria*			825	2890	15575	3407,46	15961	127688	13360,03
Palestra e servizi annessi			680	5515	-	-	-	-	-
Biblioteca comunale			116	371	2811	569,62	-	-	-
Magazzino			192	660	-	-	-	-	-
Centro anziani			234	998	4366	983,74	1136	9088	849,3
Municipio			336	1124	7274	1748,36	2998	23984	2718,88
Centro Sportivo Comunale			110	342	1067	543,55	1028	8224	1027,52
Cimitero			0	0	8791	6822,97	-	-	-
Ambulatorio medico			120	420	54	124,54	98	784	99,17
TOTALI	2.518	6,93	2.613	12.320	39.938	14.200	21.221	169.776	18.055
CENATE SOPRA			Illuminazione pubblica [MW]	N° Punti Luce	Lunghezza strade [km]	Edifici comunali kg CO2 prodotta per kWh elettrico	Edifici comunali kg CO2 per mc di metano bruciato	Illuminazione pubblica kg CO2 prodotta per kWh elettrico	TOTALE kg/anno CO2
Scuola primaria*	0	0	185	429	14	0,531	2	0,531	
Palestra e servizi annessi	0	0				5743,28	31922,00		
Biblioteca comunale	0	0				-	-		
Magazzino						1036,56	-		
Centro anziani	0	0				-	-		
Municipio	825	2890				1609,96	2272,00	68218,75	58275,14
Centro Sportivo Comunale	680	5515				2682,29	5996,00		
Cimitero	234	998				393,46	2056,00		
Ambulatorio medico	336	1124				3241,68	-		
TOTALI	2.075	10,527	185	429	14	14.727	42.444	68.219	58.275

Tabella 4: Dati riassuntivi

Il passo successivo è la compilazione dell'inventario: il format utilizzato esclude il settore industriale, poiché quest'ultimo può essere coinvolto all'interno del piano d'azione solo per decisione dell'amministrazione comunale.

La tabella A riguarda i consumi energetici e i dati per la sua corretta compilazione fanno riferimento al database SIRENA e alle indagini sul territorio. Per la tabella B che riguarda invece le emissioni di gas inquinanti sono state ricavate le tonnellate di CO₂ equivalenti totale convertendo MWh per la produzione di energia elettrica e termica da combustione o da fonte rinnovabile, utilizzando i dati contenuti all'interno della guida alla compilazione del SEAP. Infine per le tabelle C e D è necessario reperire i dati sulla produzione di energia nel comune da fonti alternative: l'unico riferimento utilizzato è il Conto Energia con la produzione di 0,014 MWh da fotovoltaico.

Tabella 5: Fattori di emissione nazionali ed europei per l'energia elettrica

Country	Standard emission factor (t CO ₂ /MWh _e)	LCA emission factor (t CO ₂ -eq/MWh _e), low voltage
Austria	0.192	0.310
Belgium	0.288	0.402
Germany	0.624	0.706
Denmark	0.439	0.760
Spain	0.443	0.639
Finland	0.233	0.418
France	0.044	0.146
United Kingdom	0.629	0.658
Greece	1.036	1.167
Ireland	0.662	0.870
Italy	0.516	0.708
Netherlands	0.500	0.716
Portugal	0.369	0.750
Sweden	0.023	0.079
Bulgaria	0.561	0.906
Cyprus	0.789	1.019
Czech Republic	0.714	0.802
Estonia	0.908	1.593
Hungary	0.575	0.678
Lithuania	0.083	0.174
Latvia	0.143	0.563
Poland	0.982	1.185
Romania	0.583	1.084
Slovenia	0.557	0.602
Slovakia	0.252	0.353
EU-27	0.476	0.578

Tabella 6: Fattori di emissioni per energia fa fonti rinnovabili

Electricity source	Standard emission factor (t CO ₂ /MWh _e)	LCA emission factor (t CO ₂ -eq/MWh _e)
Solar PV	0	0.020-0.050
Windpower	0	0.007
Hydropower	0	0.024

Tabella 7: Fattori di emissione per combustibili fossili

Type	Standard emission factor [t CO ₂ /MWh _{fuel}]	LCA emission factor [t CO ₂ -eq/MWh _{fuel}]
Natural Gas	0.202	0.237
Residual Fuel Oil	0.279	0.310
Municipal Wastes (non-biomass fraction)	0.330	0.330
Motor Gasoline	0.249	0.299
Gas oil, diesel	0.267	0.305
Natural Gas Liquids	0.231	
Plant oil	0	0.182
Biodiesel	0	0.156
Bioethanol	0	0.206
Anthracite	0.354	0.393
Other Bituminous Coal	0.341	0.380
Sub-Bituminous Coal	0.346	0.385
Lignite	0.364	0.375

Tabella 8: Tabella A SEAP

A. Consumo energetico finale		CONSUMO ENERGETICO FINALE [MWh]														Totale
		Energie rinnovabili				Combustibili fossili										
Categoria	Elettricità	Calore/freddo	Gas naturale	Gas liquido	Olio da riscaldamento	Diesel	Benzina	Lignite	Carbone	Altri combustibili fossili	Oli vegetali	Biocombustibili	Altre biomasse	Energia solare termica	Energia geotermica	
																EDIFICI, ATTREZZATURE/IMPIANTI E INDUSTRIE
Edifici, attrezzature/impianti comunali	39,94		174,19													214,13
Edifici, attrezzature/impianti terziari (non comunali)	414,56		526,49	764,00	0,73	147,84								0,05	0,86	1854,52
Edifici residenziali	1227,80		11906,76	2192,56	4,31	871,93							4306,40	1,93	1,85	20513,54
Iluminazione pubblica comunale	185,00															185,00
Industrie (escluse le industrie contemplate nel Sistema europeo di scambio delle quote di emissione - ETS)																0,00
Totale parziale edifici, attrezzature/impianti e industrie	1867,29	0,00	12607,44	2956,56	5,04	1019,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4306,40	1,98	2,72	22767,20
TRASPORTI																
Parco auto comunale																0,00
Trasporti pubblici																0,00
Trasporti privati e commerciali	0,00	0,00	74,59	8368,77	0,00	147,84	4045,97	0,00	0,00	0,00	0,00	201,87	0,00	0,00	0,00	12839,03
Totale parziale trasporti	1867,29	0,00	12682,03	11325,33	5,04	1167,60	4045,97	0,00	0,00	0,00	0,00	201,87	4306,40	1,98	2,72	35606,23
(Eventuali) acquisti di elettricità verde certificata da parte del comune [MWh]:																
Fattore di emissione di CO2 per gli acquisti di elettricità verde certificata (approccio LCA):																

Tabella 9: Tabella B SEAP

Categoria	Emissioni di CO ₂ [t]/Emissioni equivalenti di CO ₂ [t]															Totale
	Energie rinnovabili			Combustibili fossili						Energie rinnovabili						
	Electricità	Calore/raffreddamento	Gas naturale	Gas liquido	Altre combustibili fossili	Gasolio	Diesel	Benzina	Lignite	Carbone	Altri combustibili fossili	Oli vegetali	Bio-carburanti	Altre biomasse	Energia solare termica	
EDIFICI, ATTREZZATURE/IMPIANTI E INDUSTRIE																
Edifici, attrezzature/impianti comunali	20,61		35,19													55,79
Edifici, attrezzature/impianti terziari (non comunali)	213,91		106,35	176,48	0,20	39,47										536,42
Edifici residenziali	633,54		2405,17	506,48	1,20	232,80								1567,53		5946,73
illuminazione pubblica comunale	95,46															95,46
Industrie (escluse le industrie contemplate nel Sistema europeo di scambio delle quote di emissione – ETS)																
Totale parziale edifici, attrezzature/impianti e industrie	963,52	0,00	2546,70	682,96	1,41	272,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1567,53	0,00	6034,41
TRASPORTI																
Parco auto comunale																
Trasporti pubblici																
Trasporti privati e commerciali																
Totale parziale trasporti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ALTRO																
Smaltimento dei rifiuti																
Gestione delle acque reflue																
<i>Indicare qui le altre emissioni del vostro comune</i>																
Totale	963,52	0,00	2546,70	682,96	1,41	272,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1567,53	0,00	6034,40554
Corrispondenti fattori di emissione di CO₂ in t/MWh																
Fattore di emissione di CO ₂ per l'elettricità non prodotta localmente [t/MWh]																

Tabella 10: Tabelle C e D SEAP

C. Produzione locale di elettricità e corrispondenti emissioni di CO2															
<i>Si segnala che per la separazione dei decimali si usa il punto [.] Non è consentito l'uso di separatori per le migliaia.</i>															
Elettricità prodotta localmente (esclusi gli impianti ETS e tutti gli impianti/le unità > 20MW)	Elettricità prodotta localmente [MWh]	Vettore energetico utilizzato [MWh]										Emissioni di CO2 o equivalenti di CO2 [t]	Fattori di emissione di CO2 corrispondenti per la produzione di elettricità in [t/MWh]		
		Combustibili fossili		Vapore	Rifiuti	Olio vegetale	Altre biomasse	Altre fonti rinnovabili	Altro						
		Gas naturale	Gas liquido							Olio da	Lignite			Carbone	
Energia eolica															
Energia idroelettrica															
Fotovoltaico	0,014														
Cogenerazione di energia elettrica e termica															
Altro															
Specificare:															
Totale	0,014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D. Produzione locale di calore/freddo (telerscaldamento/teleraffrescamento, cogenerazione di energia elettrica e termica...) e corrispondenti emissioni di CO2															
<i>Si segnala che per la separazione dei decimali si usa il punto [.] Non è consentito l'uso di separatori per le migliaia.</i>															
Calore/freddo prodotti localmente (esclusi gli impianti/le unità > 20MW)	Calore/freddo prodotti localmente [MWh]	Vettore energetico utilizzato [MWh]										Emissioni di CO2 o equivalenti di CO2 [t]	Fattori di emissione di CO2 corrispondenti per la produzione di calore/freddo in [t/MWh]		
		Combustibili fossili		Rifiuti	Olio vegetale	Altre biomasse	Altre fonti rinnovabili	Altro							
		Gas naturale	Gas liquido						Olio da	Lignite	Carbone				
Cogenerazione di energia elettrica e termica															
Impianto(i) di telerscaldamento															
Altro															
Specificare:															
Totale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Si riportano di seguito le possibili azioni suddivise per campo e per consumi energetici. Si possono individuare sostanzialmente due tipi di azioni: un tipo mira alla riduzione dei consumi medi e l'altro ha lo scopo di incentivare l'utilizzo di fonti energetiche alternative. La stessa azione può avere diverse incidenze a seconda delle risorse economiche del comune. La riduzione dei consumi medi può avvenire per fasi e sarà proprio il SEAP a contenere le modalità di applicazione di queste azioni.

Si sono ipotizzate in questa fase azioni generiche applicabili a tutti i comuni e con diverse percentuali in modo da ottenere due combinazioni generiche che mirino al raggiungimento degli obiettivi del 2020.

Tabella 11: Combinazioni azioni

CAMPO	NUMERO	TIPO DI AZIONE	
ILLUMINAZIONE PUBBLICA	1	RIDUZIONE 20% CONSUMI ELETTRICI ILLUMINAZIONE PUBBLICA	
INSTALLAZIONE FOTOVOLTAICO	2	INSTALLAZIONE FOTOVOLTAICO 10 MWh/anno	
	3	INSTALLAZIONE FOTOVOLTAICO 20 MWh/anno	
	4	INSTALLAZIONE FOTOVOLTAICO 100 MWh/anno	
PATRIMONIO COMUNALE	5	MIGLIORAMENTO EDIFICI COMUNALI	
	5A	Consumo obiettivo (riduzione del 20% dei consumi)	
	5B	Consumo obiettivo (riduzione del 50% dei consumi)	
RESIDENZIALE	6	MIGLIORAMENTO EDIFICI RESIDENZIALI	
		Numero abitazioni	824
		Consumo medio (MWh)	24,90
	6A	Consumo obiettivo medio 20% edifici (MWh)	
	6B	Consumo obiettivo medio 50% edifici (MWh)	
IPOTESI COMBINAZIONE 1		1 + 2 + 5B + 6B	
IPOTESI COMBINAZIONE 2		1 + 2 + 5A + 6A	

Ad ogni azione si associa una percentuale di riduzione esplicitata nella tabella. Per l'illuminazione pubblica si ipotizza una riduzione del 20%. Per l'installazione di pannelli fotovoltaici si ipotizzano tre diverse tipologie dell'impianto globale con una produzione di energia che va dai 10 ai 100 MWh/anno. Sia per gli edifici comunali che per quelli residenziali si ipotizza una riduzione dei consumi del 20% o del 50% applicata nel primo caso a tutti gli edifici comunali e nel secondo caso applicata almeno alla metà degli edifici residenziali.

Tabella 12: Previsione riduzione consumi

SENZA INDUSTRIE
[MWh]

SITUAZIONE ATTUALE	35606,23
OBIETTIVO UE 2020	28484,98

Δ 7121,25

N°	TIPO DI AZIONE	CONSUMI ATTUALI [MWh]	RIDUZIONE	RIDUZIONE CONSUMI [MWh]	RIDUZIONE SUL TOTALE SENZA INDUSTRIE [%]
----	----------------	-----------------------	-----------	-------------------------	--

1	RIDUZIONE 20% CONSUMI ELETTRICI ILLUMINAZIONE PUBBLICA	185,00	0,2	37,00	0,104
2	INSTALLAZIONE FOTOVOLTAICO 10 MWh/anno	4831,36	10	10,00	0,028
3	INSTALLAZIONE FOTOVOLTAICO 20 MWh/anno	4831,36	20	20,00	0,056
4	INSTALLAZIONE FOTOVOLTAICO 100 MWh/anno	4831,36	100	100,00	0,281
5	MIGLIORAMENTO EDIFICI COMUNALI	214,13			
5A	consumo obiettivo (riduzione del 20% dei consumi)		0,2	42,83	0,120
5B	consumo obiettivo (riduzione del 50% dei consumi)		0,5	107,07	0,301
6	MIGLIORAMENTO EDIFICI RESIDENZIALI	20513,54			
	numero abitazioni		824		
	consumo medio (MWh)		24,90		
6A	consumo obiettivo medio 20% edifici (MWh)		0,2	2051,35	5,761
6B	consumo obiettivo medio 50% edifici (MWh)		0,5	5128,39	14,403

IPOTESI COMBINAZIONE	CONSUMI ATTUALI [MWh]	RIDUZIONE	RIDUZIONE CONSUMI [MWh]	RIDUZIONE SUL TOTALE [%]
----------------------	-----------------------	-----------	-------------------------	--------------------------

I HP = 1+4+5B+6B	25744,03		5372,45	15,09
------------------	----------	--	---------	-------

Δ 30233,78

II HP = 1+2+5A+6A	25744,03		2141,18	7,52
-------------------	----------	--	---------	------

Δ 33465,05

Dalla tabella si evidenziano i risultati ottenuti per le due combinazioni: in entrambi i casi le azioni adottate non risultano sufficienti a raggiungere gli obiettivi del 2020. A questo punto si considera la combinazione d'azione peggiorativa, ovvero la prima, poiché tiene conto delle azioni che incidono maggiormente sulla riduzione dei consumi.

Tabella 13: Riduzioni 202020

SENZA INDUSTRIE
MWh

SITUAZIONE ATTUALE	35606,23
OBIETTIVO UE 202020	28484,98

Δ 7121,25

N°	TIPO DI AZIONE	CONSUMI ATTUALI [MWh]	RIDUZIONE	RIDUZIONE CONSUMI [MWh]	RIDUZIONE SUL TOTALE SENZA INDUSTRIE [%]	
1	RIDUZIONE 30% CONSUMI ELETTRICI ILLUMINAZIONE PUBBLICA	185,00	0,3	55,50	0,156	
4	INSTALLAZIONE FOTOVOLTAICO 100 MWh/anno	4831,36	100	100,00	0,281	
5	MIGLIORAMENTO EDIFICI COMUNALI					
5B	consumo obiettivo (riduzione del 50% dei consumi)	214,13	0,5	107,07	0,301	
6	MIGLIORAMENTO EDIFICI RESIDENZIALI					
	numero abitazioni	824				
	consumo medio (MWh)	24,90				
6B	consumo obiettivo medio 50% edifici (MWh)	0,70	20513,54	0,5	7179,74	20,164
IPOTESI COMBINAZIONE		CONSUMI ATTUALI [MWh]	RIDUZIONE	RIDUZIONE CONSUMI [MWh]	RIDUZIONE SUL TOTALE [%]	
I HP = 1+4+5B+6B		25744,03		7442,30	20,90	

Δ 28163,93

Per il raggiungimento degli obiettivi posti dall'Unione Europea il comune di Cenate Sopra deve adottare le seguenti azioni:

1. Illuminazione pubblica: riduzione consumi totali del 30%
2. Installazione fotovoltaico: produzione energia pulita di 100 MWh/anno
3. Edifici comunali: riduzione consumi totali del 50%
4. Edifici residenziali: riduzione consumi del 50% di almeno il 70% del totale delle abitazioni.

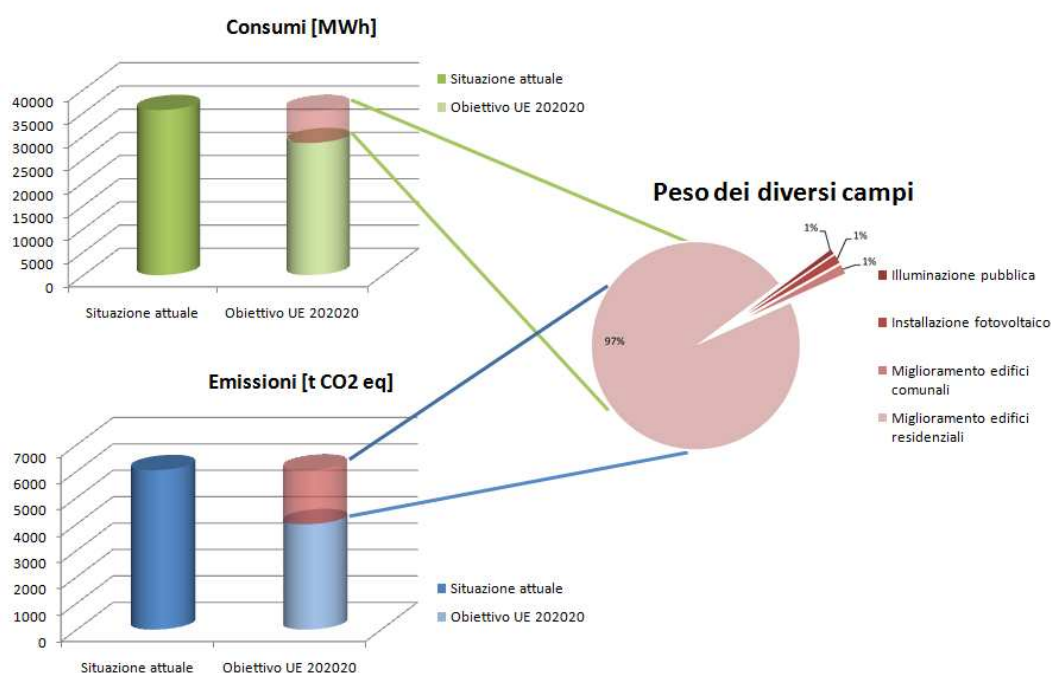


Figura 2: Previsionsi su consumi ed emissioni

Tabella 14: Riduzioni consumi ed emissioni

SITUAZIONE SENZA INDUSTRIE	Consumi [MWh]	Riduzione [%]	Emissioni [t CO2 eq]
Situazione attuale	35606	100	6034
Obiettivo UE 202020	28485	80	4828
Delta	7121	20	1207

I grafici rappresentano le riduzioni di consumi ed emissioni necessarie per ottenere il 20% sul totale. Ad un totale di consumi pari a 35606 MWh corrispondono 6034 tonnellate di CO₂ equivalente emessa in atmosfera. Si prevede una riduzione necessaria dei consumi pari a 7121 MWh a cui corrisponde una riduzione delle emissioni in atmosfera di 1207 tonnellate di CO₂ equivalente.

Per raggiungere gli obiettivi del 2020 è necessario un intervento preponderante sul settore residenziale. Agendo solamente sulla riduzione dei consumi della metà degli edifici residenziali si ottiene una percentuale di riduzione dei consumi pari al 14%. Agendo su una percentuale più elevata di edifici pari al 70% si raggiunge praticamente l'obiettivo dell'UE 202020. Il peso del settore residenziale è pari al 97%, l'incidenza delle azioni sugli altri campi è bassissima e arriva solo all'1%. Con miglioramento degli edifici pubblici e privati si raggiunge praticamente il 98% di riduzione dei consumi necessaria al raggiungimento degli obiettivi posti. Per miglioramento si intendono tutti quegli interventi atti a diminuire i consumi energetici di edifici preesistenti, per esempio l'incremento dell'isolamento delle chiusure dell'edificio, la sostituzione di serramenti con quelli più performanti, con doppio vetro, taglio termico e maggiore tenuta, l'adeguamento del sistema impiantistico, l'utilizzo di fonti di energia rinnovabili. Per gli edifici di nuova costruzione invece sono richiesti livelli elevati di sostenibilità energetica ed ambientale.

L'intervento sull'illuminazione pubblica unito all'installazione di pannelli fotovoltaici sul territorio comunale hanno un'incidenza molto bassa, ma comunque sono interventi importanti per la diffusione della produzione di energia pulita da fonte rinnovabile.

2.3 Azioni

Dopo aver chiarito la situazione del comune di Cenate Sopra in termini di consumi ed emissioni e quindi aver rintracciato i settori critici su cui intervenire è possibile passare alla definizione delle azioni. Con azioni si intende un intervento su un campo specifico che mira al miglioramento dell'efficienza energetica. All'interno delle linee guida per la stesura del SEAP vengono date indicazioni circa la redazione di vere e proprie schede d'intervento con la descrizione di ogni singola azione.

Secondo le linee guida le schede devono essere strutturate in un certo modo e devono contenere per quanto possibile i seguenti punti:

1. Descrizione dell'azione
2. Responsabile del dipartimento, persona o impresa
3. Tempi (inizio-fine, milestone importanti)
4. Stima dei costi
5. Stima dei risparmi di energia
6. Aumento di produzione delle energie rinnovabili
7. Stima della riduzione di CO2

In questo caso si tralasceranno il secondo e il terzo punto per impossibilità di definizione e per la stima dei costi ci si riferirà a dati desunti da letteratura.

2.3.1 Esempi di riferimento

Prima di definire le azioni per il comune di Cenate Sopra si sono studiati diversi esempi di SEAP applicati a diverse città italiane, quali Roma, Bologna, Milano e Correggio (RE). Ognuna di queste relazioni offre spunti interessanti e molto utili per la stesura delle schede. In ognuna di esse viene riportato un quadro generale della situazione della città e una serie di obiettivi che si vogliono raggiungere. Successivamente si passa alla definizione generale delle azioni suddivisa per ogni settore o campo e infine per ognuna di esse si specificano gli elementi caratterizzanti.

Il Programma Energetico Comunale di Bologna e il Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima del comune di Milano sono stati ritenuti i due esempi più significativi. Nel caso di Bologna vengono individuate sei tipologie di azioni e sono suddivise per settori di applicazione e ad ognuna di esse è associato un colore.

1. Reti di teleriscaldamento e cogenerazione
2. Involucro edificio
3. Riscaldamento e condizionamento estivo
4. Illuminazione
5. Ciclo dell'acqua
6. Fonti energetiche rinnovabili

Si passa poi alla definizione di azioni specifiche per ogni applicazione e quindi alla redazione di schede strutturate nel modo seguente:

- Descrizione
- Riferimenti normativi e legislativi
- Requisiti applicativi
- Tipologia d'intervento e prestazioni energetiche
- Costi e benefici

Si riporta di seguito lo schema generale delle azioni per il comune di Bologna e un esempio di scheda delle misure.

Comune di Bologna – Settore Ambiente e Verde Urbano – Unità Ambiente
Programma Energetico Comunale – Linee Guida per l'Energia

INDICE

SCHEDE AZIONE 1: RETI DI TLR E COGENERAZIONE
1.1 Teleriscaldamento e cogenerazione di piccola taglia
SCHEDE AZIONE 2: INVOLUCRO EDIFICIO
2.1 Orientamento dell'edificio 2.2 Diminuzione delle "isole di calore" 2.3 Isolamento termico dell'involucro 2.4 Geometria dell'edificio e basso rapporto (S/V) 2.5 Serre solari e sistemi "passivi" integrati nell'edificio 2.6 Serramenti 2.7 Contenimento delle dispersioni e ricambi d'aria 2.8 Illuminazione naturale 2.9 Ventilazione naturale 2.10 Certificazione Energetica
SCHEDE AZIONE 3: RISCALDAMENTO E CONDIZIONAMENTO ESTIVO
3.1 Caldaie ad alto rendimento 3.2 Condizionamento estivo e gruppi frigoriferi ad alta efficienza 3.3 Condizionamento estivo e gruppi frigoriferi ad assorbimento 3.4 Ventilazione meccanica controllata 3.5 Pannelli radianti e sistemi di distribuzione calore a bassa temperatura 3.6 Pompe di calore ad elevato rendimento 3.7 Valvole termostatiche e regolazione della temperatura 3.8 Contabilizzazione del calore 3.9 Verifica dei fabbisogni di raffrescamento
SCHEDE AZIONE 4: ILLUMINAZIONE
4.1 Sistemi di controllo dell'illuminazione 4.2 Standard di efficienza energetica per i sistemi di illuminazione
SCHEDE AZIONE 5: CICLO DELL'ACQUA
5.1 Contabilizzazione individuale dell'acqua potabile 5.2 Riduzione del consumo di acqua potabile 5.3 Recupero acque piovane
SCHEDE AZIONE 6. FONTI ENERGETICHE RINNOVABILI
6.1 Impianti solari termici 6.2 Impianti solari fotovoltaici

Figura 3: PEC Bologna

SCHEDE AZIONE: 6. FONTI ENERGETICHE RINNOVABILI

6.2 IMPIANTI SOLARI FOTOVOLTAICI

<p>Descrizione</p> <p>Installazione di impianti solari fotovoltaici per la produzione di energia elettrica</p>	<p>Riferimenti normativi e legislativi</p> <p>Legge 10/91, LR 26/04, Dlgs 387/03, DM 28/07/05, Dlgs 192/05, DM 06/02/06, Dlgs 311/06, DM 19/02/2007, Legge Finanziaria 2007 (n. 296/06)</p> <p>Requisiti applicativi</p> <p>Obbligatorio in edifici residenziali di nuova costruzione. Consigliato in tutti gli altri edifici che presentino una buona esposizione a Sud e elevate possibilità di integrazione dei pannelli fotovoltaici con la struttura architettonica (tetto o pareti verticali)</p>
--	---

<p>Tipologia d'intervento e prestazioni energetiche</p> <p>La Legge Finanziaria 2007 (n. 296/06), al comma 350, prevede l'introduzione nel Regolamento Edilizio Comunale dell'obbligo di una quota di fotovoltaico pari a 0,2 kW per ogni unità abitativa in tutti gli edifici di nuova costruzione. Tale obbligo è vincolante per ottenere il rilascio del permesso a costruire.</p> <p>Il DM 19/02/2007 definisce i nuovi criteri e le nuove modalità di incentivazione della produzione di energia elettrica da impianti solari fotovoltaici. Tale Decreto definisce una nuova politica di incentivazione del fotovoltaico rispetto ai precedenti decreti del 28/07/05 e 06/02/06, favorendo gli impianti che si integrano nella struttura edilizia. Viene riconosciuta, per 20 anni, una tariffa incentivante decrescente col crescere della potenza dell'impianto fotovoltaico e crescente col grado di integrazione dell'impianto nella struttura edilizia (tetto o pareti verticali).</p> <p style="text-align: center;"><i>Tariffe incentivanti per la produzione da impianti fotovoltaici, secondo il DM 19/02/07</i></p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Potenza nominale dell'impianto P [kW]</th> <th>Impianti non integrati nella struttura architettonica [€]</th> <th>Impianti parzialmente integrati nella struttura architettonica [€]</th> <th>Impianti integrati nella struttura architettonica [€]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$1 \leq P \leq 3$</td> <td>0,40</td> <td>0,44</td> <td>0,49</td> </tr> <tr> <td>$3 < P \leq 20$</td> <td>0,38</td> <td>0,42</td> <td>0,46</td> </tr> <tr> <td>$P > 20$</td> <td>0,36</td> <td>0,40</td> <td>0,44</td> </tr> </tbody> </table> <p>La tariffa è incrementata di un 5% nel caso in cui il soggetto responsabile dell'impianto sia una scuola o una struttura sanitaria pubblica.</p> <p>Nel caso in cui contemporaneamente all'installazione dell'impianto venga eseguita una certificazione energetica dell'edificio (o si compili l'attestato di qualificazione energetica come previsto dal DM 19/02/07 "Disposizioni in materia di detrazioni per le spese di riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente") e vengano eseguiti interventi di riqualificazione energetica dell'edificio, con riduzione di almeno il 10% dell'indice di prestazione energetica dell'edificio, si riconosce un premio sulla tariffa incentivante, espresso in incremento percentuale sui valori indicati alla tabella precedente, pari alla metà della riduzione percentuale dell'indice di prestazione energetica dell'edificio suddetto.</p> <p>Possono beneficiare delle tariffe le persone fisiche, le persone giuridiche, i soggetti pubblici e i condomini.</p> <p>La tariffa incentivante è riconosciuta per impianti connessi alla rete elettrica (l'utente può quindi usufruire dello scambio sul posto per impianti inferiori ai 20 kWp, come definito dalla Delibera 224/00 dell'Autorità per l'Energia Elettrica e il Gas).</p>				Potenza nominale dell'impianto P [kW]	Impianti non integrati nella struttura architettonica [€]	Impianti parzialmente integrati nella struttura architettonica [€]	Impianti integrati nella struttura architettonica [€]	$1 \leq P \leq 3$	0,40	0,44	0,49	$3 < P \leq 20$	0,38	0,42	0,46	$P > 20$	0,36	0,40	0,44
Potenza nominale dell'impianto P [kW]	Impianti non integrati nella struttura architettonica [€]	Impianti parzialmente integrati nella struttura architettonica [€]	Impianti integrati nella struttura architettonica [€]																
$1 \leq P \leq 3$	0,40	0,44	0,49																
$3 < P \leq 20$	0,38	0,42	0,46																
$P > 20$	0,36	0,40	0,44																

Figura 4: Esempio di scheda delle misure, PEC Bologna

L'esempio di piano del comune di Milano è impostato in modo diverso: si dichiarano per prima cosa gli obiettivi dell'intervento, si espone in modo dettagliato la situazione attuale con le percentuali di riduzione proposte per ogni campo di intervento. Si continua con una valutazione preliminare dei costi delle misure di abbattimento i cui risultati vengono raccolti nella tabella riassuntiva riportata di seguito.

N. Misure	Descrizione	Potenziale di abbattimento ktCO ₂ /anno	Costo medio abbattimento euro/tCO ₂
T3	Mobilità ciclistica	76	-402
R3	Cambio combustibili (da gasolio a metano)	54	-396
R4	Risparmio e.e. - efficienza usi finali abitazioni	113	-320
E3	Risparmio e.e. - efficienza usi finali - illum. pubblica	13	-202
T4	Car sharing	8	-191
T9	Cambio da auto a moto	18	-138
R2	Nuove abitazioni con interventi di efficienza energetica	97	-89
T7	Efficienza autovetture private	405	-65
T11	Efficienza mezzi commerciali	99	-65
Z3	Risparmio e.e. - efficienza usi finali edifici	65	-60
E2	Risparmio e.e. - efficienza usi finali - edifici	6	-60
R1	Aumento efficienza energetica abitazioni esistenti	156	-33
Z1	Aumento efficienza energetica immobili esistenti	23	-33
E1	Aumento efficienza energetica immobili esistenti	6	-33
A1	Superficie coltivata con tecniche conservative	5	-30
Z2	Nuovi immobili con interventi di efficienza energetica	24	35
W1	Rifiuti smaltiti in termovalorizzatore	19	40
P3	Teleriscaldamento	73	40
P2	Solare Fotovoltaico	26	191
A2	Piantumazione alberature	2	8.872
T1 + T2	Sviluppo trasporto Pubblico	111	da quantificare
T5	Car pooling	11	da quantificare
T6	Sistemi a chiamata	compreso in T2	da quantificare
T8	Altre riduzione degli spostamenti auto	44	da quantificare
T10	Percorrenze mezzi commerciali	72	da quantificare
T12	Efficienza mezzi pubblici	18	da quantificare
P1	Miglioramento efficienza produzione energia - A2A	454	da quantificare

Figura 5:Azioni di mitigazione ordinate per costi di abbattimento crescenti

Si definisco poi le diverse azioni suddivise nei seguenti macrosettori:

MACROSETTORE: TRASPORTI

1. Sviluppo trasporto pubblico
2. Sviluppo mobilità ciclabile
3. Servizio car sharing
4. Servizio car pooling
5. Sistemi a chiamata (Radiobus ATM)
6. Miglioramento efficienza autovetture private
7. Riduzione percorrenze autovetture private
8. Uso motocicli anziché autovetture
9. Riduzione percorrenze mezzi commerciali
10. Miglioramento efficienza mezzi commerciali
11. Miglioramento efficienza mezzi trasporto pubblico

MACROSETTORE: RESIDENZIALE

1. Miglioramento dell'efficienza energetica delle abitazioni esistenti
2. Miglioramento dell'efficienza energetica delle nuove abitazioni
3. Sostituzione del combustibile (gasolio/metano) per il riscaldamento nei settori residenziale e terziario
4. Risparmio ed efficienza energetica negli usi finali del settore residenziale

MACROSETTORE: TERZIARIO

1. Miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici esistenti (settore terziario)
2. Miglioramento dell'efficienza energetica dei nuovi edifici (settore terziario)
3. Risparmio ed efficienza energetica negli usi finali del settore terziario

MACROSETTORE: PATRIMONIO COMUNALE

1. Miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici di proprietà comunale ad uso non abitativo.
2. Risparmio ed efficienza energetica negli usi finali degli edifici comunali ad uso non abitativo
3. Risparmio ed efficienza energetica negli usi finali (illuminazione pubblica)

MACROSETTORE: PRODUZIONE ENERGIA

1. Miglioramento efficienza produzione energia
2. Utilizzo del solare fotovoltaico per la produzione di energia
3. Sviluppo del teleriscaldamento

MACROSETTORE: RIFIUTI

1. Smaltimento rifiuti tramite termovalorizzatore (con allacciamento a rete di teleriscaldamento)

MACROSETTORE: AGRICOLTURA E PIANTUMAZIONI

1. Utilizzo di tecniche conservative in agricoltura
2. Aumento del verde pubblico (piantumazione alberature)

Infine per ogni azione è presente una scheda delle misure che contiene i seguenti punti e di cui si riporta un esempio.

- Macrosettore
- Descrizione
- Potenziale abbattimento
- Ipotesi implementazione della misura
- Costo medio abbattimento
- Co-benefici

Macrosettore residenziale

R1 – Miglioramento dell'efficienza energetica delle abitazioni esistenti

Descrizione della misura:

Il Comune di Milano prevede una serie di strumenti per promuovere l'efficienza energetica nel settore residenziale, fra i principali si ricordano:

- la riduzione degli oneri di urbanizzazione per interventi finalizzati al risparmio energetico e all'uso delle fonti rinnovabili, applicata oltre che alle nuove costruzioni, anche agli ampliamenti di edifici esistenti e alle ristrutturazioni edilizie, già vigente dal 2007;
- l'introduzione di incentivi volumetrici negli strumenti urbanistici di prossima approvazione (Piano di Governo del Territorio e Regolamento Edilizio), per interventi di miglioramento dell'efficienza energetica sul patrimonio edilizio privato;
- incentivi economici per la sostituzione e/o l'aggiornamento tecnologico degli impianti termici, per interventi strutturali sul sistema edificio-impianto

Nella misura proposta dal Piano Clima viene stimato l'effetto complessivo al 2020 di tali interventi, vale a dire la riduzione dei consumi energetici per il riscaldamento invernale di circa 150.000 abitazioni esistenti nel territorio comunale, con un risparmio specifico annuo pari a 60 kWh/mq/anno.

Potenziale di abbattimento: 156 ktonCO₂/anno

Ipotesi di implementazione della misura:

- Effettiva implementazione e rafforzamento degli strumenti già previsti e introduzione di nuove forme di incentivo;
- Potenziamento delle attività di comunicazione e servizi di consulenza ai cittadini tramite lo Spazio Energia Sostenibile, per divulgare informazioni sugli incentivi disponibili e assistere nelle procedure amministrative necessarie; predisposizione di campagne informative diversificate a seconda del destinatario (proprietari, affittuari, etc.).

Costo medio di abbattimento: -33 €/tCO₂

Co-benefici:

- miglioramento della qualità dell'aria
- miglioramento del comfort termico negli edifici
- aumento dei valori delle proprietà immobiliari

Figura 6: Esempio di scheda delle misure, PAESC di Milano

2.3.1 La Regione Lombardia

Il CESTEC, Centro per lo Sviluppo Tecnologico, l'Energia e la Competitività, è una società partecipata da Regione Lombardia che opera tenendo conto dell'azione di governo regionale. La sua azione principale è quella di sostenere le imprese lombarde per la diffusione della cultura dell'innovazione e per promuovere l'utilizzo dell'energia pulita e sostenere il rispetto dell'ambiente.

CESTEC S.p.a. nasce il 6 gennaio 1979 e da ormai trent'anni si occupa di promuovere l'innovazione tecnologica per la sostenibilità energetica e ambientale, coinvolgendo le imprese locali e puntando verso l'internazionalizzazione del mercato.

Proprio questa società si è occupata di delineare strategie a livello regionale in merito al patto dei sindaci. Questo progetto è denominato Factor20 e si riporta la descrizione del progetto fornita dalla società stessa:



Figura 7: Progetto Factor20

“In stretta sinergia e collaborazione con i principali stakeholder nazionali (fra cui il Ministero per l'Ambiente), il progetto mira a definire un quadro sperimentale di burden sharing dei tre obiettivi della politica europea per il clima, utilizzando uno sviluppo del Sistema Informativo Regionale Energia e Ambiente.

Tra gli scopi del progetto anche lo sviluppo di alcune importanti azioni preparatorie (attività di burden sharing in accordo con le altre Regioni ed i Ministeri coinvolti – armonizzazione dei Piani Energetici ed Ambientali delle Regioni coinvolte – Sviluppo strategico di SIRENA) per poi sperimentare sul territorio l'ideazione, lo sviluppo ed il monitoraggio di Piani Factor20 per la sostenibilità energetica; tali piani vedranno il coinvolgimento degli Enti Locali e degli stakeholder territoriali in un percorso partecipato per la concreta affermazione di un impegno alla sostenibilità energetica. Il progetto prevede l'organizzazione e l'animazione di svariate attività di lavoro sul territorio e di diversi momenti ed eventi di comunicazione e di disseminazione, integrati da un'azione formativa di alto livello rivolta ai decisori pubblici. Il progetto è rivolto a Regioni, Ministeri competenti e Comuni.”

Il risultato finale è la redazione di un SEAP a livello regionale. Questa società ha individuato una serie di strategie in relazione a quattro settori diversi, che sono l'industria, la mobilità, gli edifici e il territorio e le infrastrutture, di cui si riporta lo schema riassuntivo.

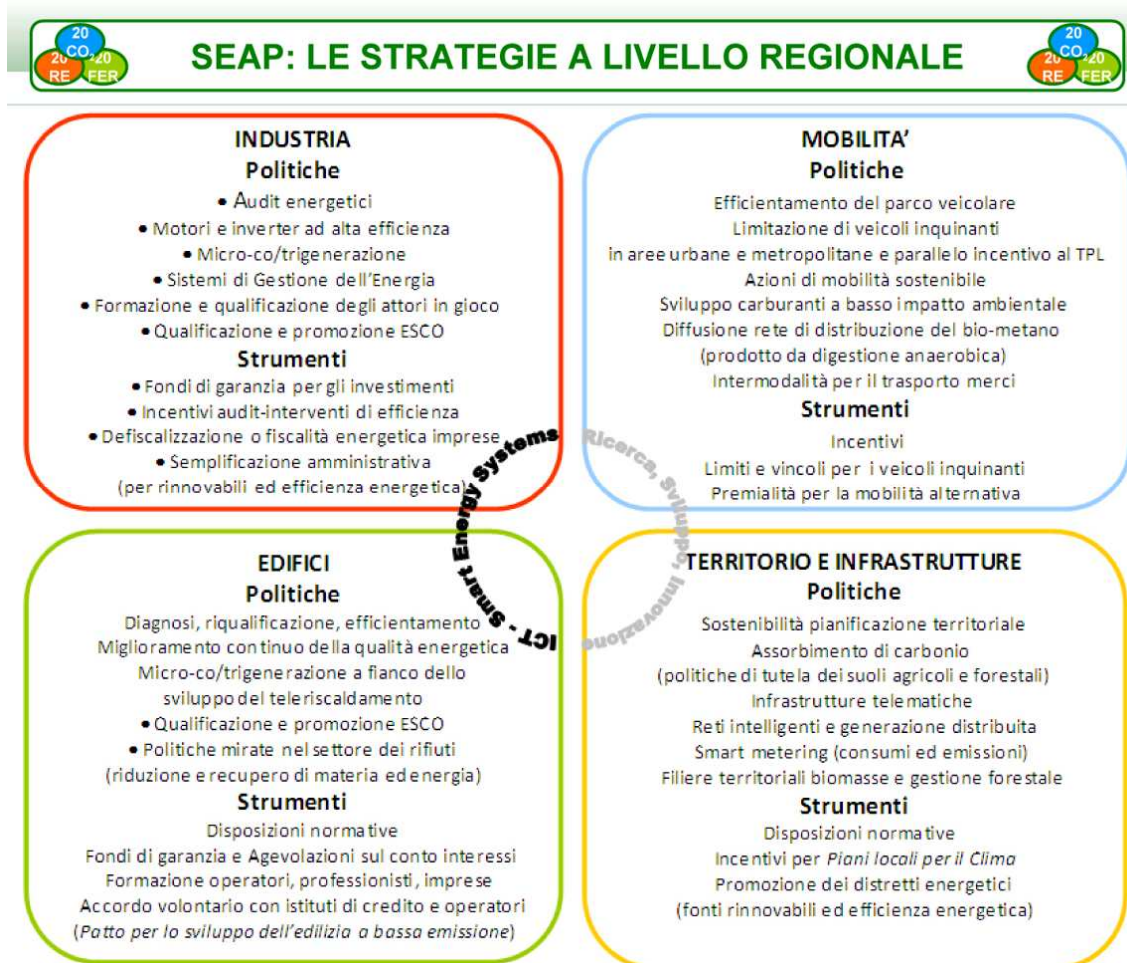


Figura 8: SEAP Regione Lombardia

L'analisi dell'esempio proposto è utile poiché dimostra che sia a livello regionale che comunale le problematiche sono le stesse pur essendo proiettate su diverse scale. Interessanti sono le strategie proposte per il settore della mobilità e degli edifici, che verranno riprese anche per il caso specifico del comune di Cenate Sopra.

Tra le azioni elencate infine si sottolineano quelle che permettono di ottenere i risultati più significativi, molte delle quali coincidono con quelle proposte su scala comunale.

Individuazione settori di intervento prioritari

- ➔ la riqualificazione dell'ambiente urbanizzato (edifici nuovi e patrimonio esistente);
- ➔ il miglioramento delle infrastrutture urbane (teleriscaldamento, illuminazione pubblica, reti elettriche intelligenti ecc.);
- ➔ l'attuazione di una pianificazione urbana e territoriale a basso consumo di energia;
- ➔ lo sviluppo delle fonti energetiche rinnovabili, con particolare attenzione alla loro integrazione in edilizia;
- ➔ la attuazione di politiche incisive per il trasporto pubblico e privato e per la mobilità urbana;
- ➔ la costante promozione del coinvolgimento diretto dei cittadini e dei portatori d'interesse;
- ➔ lo stimolo costante, attraverso iniziative e campagne di informazione, verso comportamenti intelligenti in fatto di utilizzo dell'energia da parte di cittadini, consumatori

Figura 9: Settori prioritari, Regione Lombardia

Dopo aver analizzato diversi esempi di schede delle misure e dopo aver delineato la situazione della Regione Lombardia, è possibile procedere con il caso specifico del comune di Cenate Sopra.

2.3.2 Schede delle misure del comune di Cenate Sopra

Si procede con la definizione generale dei possibili interventi sul comune. Dai risultati delle analisi emerge che i settori più critici sono rispettivamente il residenziale, i trasporti, il patrimonio comunale. Per ogni settore si individuano dei possibili campi d'azione: per il residenziale si distingue tra edifici di nuova costruzione e interventi sull'esistente; per il settore dei trasporti si individua il campo della mobilità pubblica, privata e ciclopedonale e infine per il patrimonio pubblico si differenziano azioni su edifici pubblici, sull'illuminazione pubblica e su reti di teleriscaldamento.

Si riporta il quadro generale riassuntivo per il caso specifico del comune in esame e successivamente si descrivono le azioni ipotizzate per ogni macrosettore e campo di intervento.

S.E.A.P.		Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile		S.E.A.P.					
M A C R O S E T T O R E	RESIDENZIALE		TRASPORTI		PATRIMONIO COMUNALE				
	Nuova Costruzione	Incrvenuto sull'esistente	Mobilità Pubblica	Mobilità Privata	Mobilità Ciclo-pedonale	Edifici Pubblici Nuova Costruzione	Edifici Pubblici Preesistenti	Illuminazione Pubblica	Rete di Teleriscaldamento
A Z I O N I	<p>1.1 SISTEMI PASSIVI:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Corretto orientamento -Basso rapporto S/V -Aperture a Sud, fronti compatti a Nord -Ventilazione e illuminazione naturale -Serre bioclimatiche -Schermature adeguate <p>1.2 INVOLUCRO:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Isolamento termico (evitare ponti termici) -Inerzia termica -Efficienza serramenti <p>1.3 IMPIANTI:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Uso di fonti di energia rinnovabili -Elementi a risparmio energetico (elettrodomestici in classe A, lampade a basso consumo) -Recupero acque piovane (acqua non sanitaria) 	<p>2.1 INVOLUCRO:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Capotto est/inf -Cambio serramenti <p>2.2 IMPIANTI:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Adeguamento impianti: caldaia, elettrodomestici, lampade -Produzione energia da fonti rinnovabili: fotovoltaico, geotermica, solare,... 	<p>1.1 POTENZIA-MENTO RETE:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Inservire uso mezzi pubblici -Aumento numero di corse giornaliere <p>1.2 MEZZI:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Uso di mezzi poco inquinanti: metano, elettrici 	<p>2.1 MOBILITÀ:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Disincentivare utilizzo mezzi privati <p>1.2 MEZZI:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Uso di mezzi poco inquinanti: metano, elettrici 	<p>3.1 MOBILITÀ:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Aumentare la presenza di piste ciclabili e zone pedonali adeguate -Aumentare la sicurezza in strada per pedoni e ciclisti 	<p>1.1 SISTEMI PASSIVI:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Corretto orientamento -Basso rapporto S/V -Aperture a Sud, fronti compatti a Nord -Ventilazione e illuminazione naturale -Serre bioclimatiche -Schermature adeguate <p>1.2 INVOLUCRO:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Isolamento termico (evitare ponti termici) -Inerzia termica -Efficienza serramenti <p>1.3 IMPIANTI:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Uso di fonti di energia rinnovabili -Elementi a risparmio energetico (elettrodomestici in classe A, lampade a basso consumo) -Recupero acque piovane (acqua non sanitaria) 	<p>2.1 INVOLUCRO:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Capotto est/inf -Cambio serramenti <p>2.2 IMPIANTI:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Adeguamento impianti: caldaia, elettrodomestici, lampade -Produzione energia da fonti rinnovabili: fotovoltaico, geotermica, solare,... 	<p>3.1 FONTI:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Alimentazione da fonti di energia rinnovabili (pannelli fotovoltaici) <p>3.2 COMPONENTI:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Uso lampade a basso consumo energetico. 	<p>4.1 PRODUZIONE ENERGIA:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Produzione di energia con teleriscaldamento accoppiato a cogenerazione o trigenerazione con utilizzo di fonti di energia rinnovabili.

Figura 10: Panorama generale delle azioni

MACROSETTORE	Residenziale
CAMPO	Nuova costruzione
AZIONI	<p>Per edifici di nuova costruzione è possibile garantire l'efficienza energetica con una progettazione attenta, che tenga conto di piccoli accorgimenti per un edificio di qualità.</p> <p>È possibile intervenire per migliorare le prestazioni dell'edificio a diversi livelli. Il primo è quello dai sistemi passivi: un edificio ben progettato è immediatamente riconoscibile se sfrutta le risorse che il territorio offre, partendo da un corretto orientamento, da una distribuzione delle aperture in posizioni che permettano di sfruttare le brezze per la ventilazione e con dimensioni e orientamenti tali da riuscire trovare il compromesso ottimale tra dispersioni verso l'esterno e apporti solari fino all'utilizzo di serre bioclimatiche. Fondamentale risulta un basso rapporto superficie –volume per limitare le dispersioni, così come avere prospetti con elementi trasparenti a Sud e molto compatti con poche aperture a Nord. L'edificio deve interagire con l'ambiente esterno quando è possibile trarne un beneficio energetico, come per esempio avere apporti solari gratuiti piuttosto che un ricambio d'aria per ventilazione naturale. Viceversa deve essere protetto nelle situazioni critiche, ad esempio grandi vetrate esposte a Sud nei mesi più caldi possono essere fonte di sovraccarichi termici provocando situazioni di discomfort per l'utenza, perciò un'attenta progettazione di schermature mobili o fisse studiate tenendo conto dell'inclinazione dei raggi solari permette di evitare queste situazioni. Il secondo livello di intervento è la corretta progettazione dell'involucro. Le chiusure opache devono avere livelli di trasmittanze molto basse per garantire un buon isolamento termico e limitare le dispersioni verso l'esterno nelle stagioni più rigide. Allo stesso tempo si deve tener conto di altri due fattori importanti che sono lo sfasamento e l'attenuazione. È necessario bilanciare isolamento e massa termica, in modo da avere un buon comportamento sia nelle stagioni invernali che estive. Per i componenti vetrati è fondamentale sia l'isolamento che la tenuta alle infiltrazioni. Serramenti performante sono dotati di taglio termico, ottimo grado di tenuta e isolamento, con almeno doppio vetro e camera d'aria singola. Fondamentale è il dettaglio dei nodi tra gli elementi e quindi lo studio dei ponti termici che devono essere eliminati, garantendo la sempre la continuità dell'isolante.</p> <p>Il terzo ed ultimo livello riguarda il sistema impiantistico. L'efficienza energetica dipende anche dal tipo di impianto. Ideale sarebbe l'utilizzo di energia da fonte rinnovabile, come pannelli fotovoltaici, geotermia, eolico, etc. Altri accorgimenti sono l'efficienza degli impianti utilizzati per il riscaldamento/raffrescamento degli edifici parallelamente alla riduzione di consumi e sprechi con l'utilizzo di elettrodomestici certificati a basso. Infine una particolare attenzione per l'acqua, è molto importante evitare gli sprechi ed è consigliabile aver un sistema di recupero delle acque piovane per acqua ad uso non sanitario, come irrigazione giardini scarico WC.</p>

MACROSETTORE	Residenziale
CAMPO	Intervento sull'esistente
AZIONI	<p>Per interventi sull'esistente è necessario cercare di migliorare le prestazioni energetiche dell'edificio agendo direttamente sull'involucro. Il metodo più utilizzato è il cappotto, ovvero l'applicazione di uno strato consistente di isolamento termico alle chiusure dell'edificio, con spessori dagli 80 ai 160 mm. Il cappotto può essere fatto sia all'esterno che all'interno dell'edificio. Esistono particolari tipi di isolanti multistrato che consentono di avere elevati livelli di isolamento con spessori molto ridotti e sono utilizzabili nel caso di mancanza di spazio per la realizzazione del cappotto tradizionale. Per gli elementi vetrati l'unica soluzione possibile è la sostituzione con serramenti più performanti con taglio termico e tenuta elevata. La sostituzione deve essere applicata anche ad impianti ed elettrodomestici molto vecchi che non rispettano gli standard attuali di efficienza energetica. Inoltre l'occupazione delle coperture di edifici preesistenti con pannelli solari termici e fotovoltaici è un'azione fondamentale per la diffusione della produzione di energia pulita da fonti rinnovabili.</p>

MACROSETTORE	Trasporti
CAMPO	Mobilità pubblica
AZIONI	Per il settore dei trasporti sono due le principali linee di intervento: la prima punta al miglioramento del servizio offerto e la seconda riguarda la natura dei mezzi pubblici di trasporto. Innanzitutto è dovere dell'amministrazione rendere il sistema dei trasporti pubblici molto efficiente garantendo una copertura di tutto il territorio comunale e un servizio più o meno intenso a seconda delle fasce orarie d'utilizzo più o meno critiche. Incentivare l'utilizzo dei mezzi pubblici per diminuire la circolazione di auto private, riducendo notevolmente le emissioni di inquinanti in atmosfera. Allo stesso tempo l'amministrazione deve investire su mezzi pubblici ad energia rinnovabile o meno inquinanti, auto elettriche piuttosto che a metano. Punto di partenza è la sostituzione del parco auto comunale con mezzi di trasporto ad energia alternativa, anche come esempio positivo per la popolazione, fino ai mezzi di trasporto pubblico.

MACROSETTORE	Trasporti
CAMPO	Mobilità privata
AZIONI	In questo campo ottenere risultati concreti è molto difficile. L'amministrazione comunale può disincentivare l'utilizzo dei mezzi privati, potenziando la rete dei mezzi pubblici. È possibile mettere a disposizione dei fondi per la cittadinanza per incentivarla all'utilizzo di automobili a fonti di energia alternative. Tutto questo però è strettamente legato alle disponibilità finanziarie ed economiche del comune e dell'utenza.

MACROSETTORE	Trasporti
CAMPO	Mobilità ciclopedonale
AZIONI	Favorire la mobilità ciclopedonale è un'altra strategia per evitare l'utilizzo dell'automobile per i brevi spostamenti. Con favorire la mobilità si intende creare le condizioni necessarie per avere spazi appositi percorribili da pedoni e ciclisti nelle condizioni di sicurezza necessarie. Per prima cosa è necessaria la continuità delle piste ciclabili che nella realtà attuale molto spesso si interrompono bruscamente. Prevedere zone di sosta o di verde attrezzato a servizio dell'utenza. Aumentare gli spazi aperti per creare luoghi di aggregazione, luoghi di incontro, di svago o di studio. Infine garantire la sicurezza di pedoni e ciclisti con attraversamenti pedonali ben visibili e segnalati, con segnalazioni di eventuali pericoli, evitando che le piste costeggino strade ad elevata percorrenza automobilistica.

MACROSETTORE	Patrimonio comunale
CAMPO	Edifici pubblici di nuova costruzione
AZIONI	Per le strategie di intervento sugli edifici pubblici si rimanda alle azioni sul residenziale.

MACROSETTORE	Patrimonio comunale
CAMPO	Edifici pubblici preesistenti
AZIONI	Per le strategie di intervento sugli edifici pubblici si rimanda alle azioni sul residenziale.

MACROSETTORE	Patrimonio comunale
CAMPO	Illuminazione pubblica
AZIONI	In questo campo è possibile agire sulle fonti di energia o sui componenti del sistema. È possibile installare piccoli pannelli fotovoltaici lungo la rete di illuminazione per la produzione pulita di energia elettrica oppure è possibile sostituire gli elementi illuminanti con lampade a basso consumo energetico.

MACROSETTORE	Patrimonio comunale
CAMPO	Rete di Teleriscaldamento
AZIONI	In questo caso si considera direttamente la produzione di energia. È possibile adottare un sistema di teleriscaldamento per l'alimentazione di un gruppo di edifici o di un intero territorio comunale. Avere un'unica centrale termica che alimenta diverse utenze con una produzione combinata di energia permette un notevole risparmio di costi di produzione, di energia primaria con una conseguente riduzione delle emissioni inquinanti in atmosfera. La cogenerazione permette la produzione combinata di energia per il riscaldamento ed energia elettrica. Con la trigenerazione è possibile produrre anche energia per il condizionamento degli edifici. L'efficienza energetica di questi edifici è molto superiore rispetto alla produzione tradizionale separata di energia. Se questi sistemi innovativi vengono poi integrati con sistemi fotovoltaici o con l'utilizzo di combustibili considerati ecocompatibili (biomasse, oli vegetali, etc.), il risultato è la produzione di energia a zero emissioni.

Per completare il discorso sulla sostenibilità energetica ed ambientale si riportano due esempi di schede delle misure applicati al comune. Si scelgono i due più rappresentativi che rispondono alle necessità espresse dall'amministrazione comunale.

Tabella 15: Esigenze amministrazione comunale

Installazione Fotovoltaico	Polo pubblico + Nuova scuola elementare + Palestra comunale
Illuminazione Pubblica	Riduzione dei consumi
Abbattimento Energetico	Polo pubblico + Nuova scuola Elementare + Palestra comunale + Centrale termica

Si analizza l'installazione del fotovoltaico e l'abbattimento di emissioni e consumi raggiunto dal nuovo edificio scolastico. Per la descrizione dettagliata del progetto si rimanda ai capitoli successivi. Per ora basti sapere che è volontà dell'amministrazione comunale accentrare tutte le funzioni pubbliche e amministrative nel centro del comune di fronte alla chiesa parrocchiale ed è inoltre necessaria la costruzione di un nuovo edificio scolastico, poiché l'esistente ha gravi problemi di stabilità strutturale. La palestra comunale, nonostante la vicinanza alla scuola, non ha problemi statici, per questo motivo è da conservare ed integrare con il nuovo edificio scolastico.

Le schede tipo contengono il settore di riferimento e il campo di applicazione, una breve descrizione dell'azione, una stima dei costi, la percentuale di abbattimento dei consumi e delle emissioni e l'eventuale produzione di energia pulita.

SCHEDA DELLE MISURE: INSTALLAZIONE FOTOVOLTAICO	
MACROSETTORE	Patrimonio comunale
CAMPO	Edifici pubblici di nuova costruzione
AZIONE	Impianti: installazione fotovoltaico 1.3
DESCRIZIONE	<p>Creazione di un nuovo centro polifunzionale che racchiude le principali funzioni pubbliche: nuovo municipio, poste, ambulatorio medico, centro diurno per anziani e del nuovo polo scolastico con nuove scuole elementari da integrare con la palestra comunale esistente e con una nuova biblioteca comunale. Su ognuno di questi edifici è prevista l'installazione di un certo numero di pannelli fotovoltaici con conseguente produzione di energia pulita. Si ipotizza l'utilizzo di pannelli fotovoltaici con una potenza nominale in condizioni di esercizio pari a 161 W e di dimensione pari a 1559x798 mm. Si determina la superficie disponibile con l'orientamento ottimale per l'installazione dei pannelli.</p> <p>Scuola Elementare Sc = 44 mq, 35 pannelli FV Palestra comunale Sc = 100 mq, 80 pannelli FV Municipio Sc = 50 mq, 40 pannelli FV Biblioteca comunale Sc = 40 mq, 32 pannelli FV Ambulatorio Medico, Poste, Centro Diurno, Anziani Sc = 75 mq, 60 pannelli FV Totale superficie coperta = 309 mq Totale potenza installata = 161 W/mq x 309 mq = 49,7 kW</p>
COSTO INTERVENTO	<p>Stimato circa 4000€ / mq per pannello fotovoltaico installato.</p> <p>Costo totale stimato = 4000 €/mq x 309 mq = 1.236.000 €</p>
ENERGIA PULITA PRODOTTA	<p>Stimato circa 1100 kWh di energia pulita prodotta per kW di potenza installata.</p> <p>Energia pulita prodotta = 1100 kWh/kW x 49,7 kW = 54670 kWh</p>
EMISSIONI CO₂ EVITATE	<p>Stimato circa 0,561 ton di CO₂ equivalenti emesse per ogni kWh elettrico prodotto.</p> <p>Totale emissioni evitate = 0,561ton/ kWh x 54670 kWh = 30.669 ton</p>

SCHEDA DELLE MISURE: ABBATTIMENTO CONSUMI ENERGETICI CON LA REALIZZAZIONE DELLA NUOVA SCUOLA ELEMENTARE	
MACROSETTORE	Patrimonio comunale
CAMPO	Edifici pubblici di nuova costruzione
AZIONE	Nuovo edificio a basso consumo 1.1-1.2-1.3
DESCRIZIONE	Progettazione di un nuovo polo scolastico ad alta efficienza energetica. Utilizzo di sistemi passivi e attivi per ottenere un edificio a bassissimo consumo energetico. Sfruttamento dell'orientamento, inserimento di serre bioclimatiche, alimentazione dell'impianto da una rete di teleriscaldamento e integrazione di pannelli solari termici e fotovoltaici. Un involucro particolarmente performante e l'integrazione con il sistema impiantistico commisurato alle esigenze dell'edificio consentono il raggiungimento della classe energetica B. L'integrazione con pannelli fotovoltaici fanno guadagnare all'edificio la classe A con un consumo medio di energia pari a 25 kWh/mq anno.
COSTO INTERVENTO	In fase di determinazione
RIDUZIONE CONSUMI	<p>Per un edificio scolastico di scarsa efficienza energetica in classe F si stima un consumo energetico di 150 kWh/mq anno. Per un edificio scolastico di media efficienza energetica in classe C si stima un consumo energetico di 70 kWh/mq anno. Per un edificio scolastico di alta efficienza energetica in classe A si stima un consumo energetico di 30 kWh/mq anno.</p> <p>Superficie totale 2.200 mq</p> <p>Classe F: Consumi Totali = 330.000 kWh/anno</p> <p>Classe C: Consumi Totali = 154.000 kWh/anno</p> <p>Classe A: Consumi Totali = 66.000 kWh/anno</p> <p>Una scuola in classe F consuma 5 volte tanto una scuola in classe A, mentre per una scuola in classe C questo valore si riduce a 2,3.</p>
EMISSIONI CO₂ EVITATE	<p>Stimato circa 0,561 ton di CO₂ equivalenti emesse per ogni kWh di energia consumata.</p> <p>Classe F Totale emissioni = 0,561ton/ kWh x 330.000 kWh = 185130 ton</p> <p>Classe C Totale emissioni = 0,561ton/ kWh x 154.000 kWh = 86394 ton</p> <p>Classe A Totale emissioni = 0,561ton/ kWh x 66.000 kWh = 37026 ton</p> <p>Una scuola in classe F emette 5 volte tanto una scuola in classe A, mentre per una scuola in classe C questo valore si riduce a 2,3.</p>

Conclusioni

La redazione del SEAP è stata fondamentale per comprendere la situazione attuale del comune di Cenate Sopra. Le analisi hanno permesso di avere un quadro generale di riferimento e hanno fornito gli spunti necessari per passare alla progettazione degli interventi. Tutte le azioni sono pensate specificamente per il comune e mirano ad intervenire nei settori più critici, quali il residenziale e i trasporti. Si è cercato inoltre di includere azioni alla portata del comune, facilmente realizzabili, monitorabili e con benefici quantificabili. È fondamentale il coinvolgimento dei cittadini e la diffusione dell'informazione quando si tratta di operazioni di questo tipo: ogni cittadino deve partecipare attivamente partendo dalla propria abitazione. Per il settore residenziale è fondamentale il controllo dei consumi energetici sia per edifici esistenti che di nuova costruzione. Per i trasporti invece è necessario disincentivare l'utilizzo dell'automobile a favore di mezzi pubblici con un servizio efficiente e diffondere l'utilizzo di vetture ecocompatibili con ridotte emissioni di gas inquinanti, ad alimentazione elettrica o a gas.

Pianificazione urbanistica

Questo capitolo tratta tutti gli aspetti fondamentali della pianificazione urbanistica. Punto di partenza è un'analisi approfondita del contesto e del sito di progetto. Si riportano una serie di analisi specifiche con lo scopo di evidenziare le criticità e le opportunità che caratterizzano il luogo di intervento. Le analisi interessano il centro del paese e toccano diversi aspetti: il sistema territoriale, la distribuzione delle funzioni e dei servizi, il sistema del verde e delle infrastrutture fino alle analisi demografiche. Partendo dai risultati delle analisi si procede con la definizione degli obiettivi principali della pianificazione urbanistica e quindi del concept del masterplan. Infine si descrive un'ipotesi di masterplan generale con l'indicazione dei funzioni, flussi e collegamenti, accessi e volumetrie. Sono due i principi fondamentali attorno ai quali ruotano le scelte effettuate: l'accentramento delle funzioni e la presenza di luoghi di aggregazione, quali parchi e piazze, collegati da un percorso pedonale.



Figura 1: Planimetrico Cenate Sopra

3.1 Analisi territoriale

Di seguito si riportano una serie di analisi ritenute necessarie per avere una conoscenza approfondita del contesto territoriale e per avere una base solida su cui sviluppare il progetto urbanistico.

3.1.1 Inquadramento

Il comune di Cenate Sopra si trova in Lombardia, in provincia di Bergamo. Esso dista da Bergamo circa 22 km e da Milano circa 73 km. Il territorio comunale ha una superficie di 6,93 kmq e si situa a 330 m sul livello del mare. Il comune conta 2472 abitanti (fonte ISTAT al 2001), con una densità pari a 356 ab/kmq.



Figura 2: Inquadramento territoriale, Lombardia

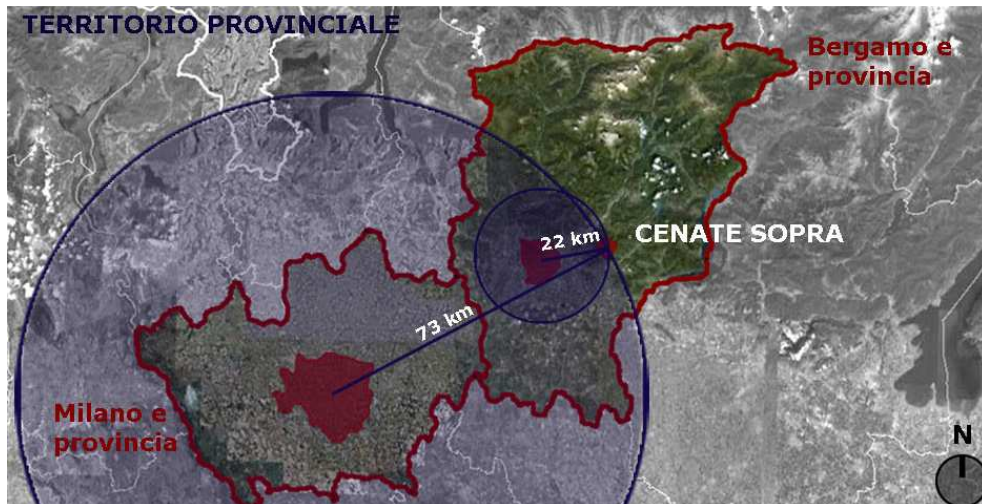


Figura 3: Inquadramento territoriale, Cenate Sopra

Si nota immediatamente l'orografia del comune con la zona Nord più collinare e pedemontana e la concentrazione dell'insediamento a Sud del comune vicino ai principali collegamenti con gli altri comuni. Il comune di Cenate Sopra è situato nel territorio della Val Cavallina, ai piedi del Monte Misma. Proprio dal comune, infatti, si diramano diversi sentieri verso la montagna. Il comune è molto piccolo con una caratterizzazione fortemente residenziale. Non sono presenti grandi industrie, grandi supermercati e purtroppo nemmeno zone di parco pubblico o verde attrezzato. La grande quantità di verde presente all'interno del comune è naturale, boschivo o coltivato a vite.

Il sito di intervento si colloca nel cuore del comune in un'area residenziale proprio di fronte alla Parrocchia di San Leone Papa. Fondamentale è l'integrazione con il contesto e il rispetto degli elementi storici simbolo del comune, proprio come la Parrocchia.



Figura 4: Localizzazione sito di progetto

L'area di intervento è un ambito di trasformazione individuato dall'amministrazione ed è oggetto di un piano integrato di intervento che prevede la realizzazione di una nuova area di espansione residenziale da parte di un privato in cambio della realizzazione di una serie di servizi per la collettività.

La porzione più a Nord avrà una destinazione d'uso residenziale, segnalata con tratteggio giallo, mentre nella zona più a Sud, segnalata con tratteggio rosso, saranno concentrati i servizi pubblici: nuovo polo scolastico elementare, nuova biblioteca comunale, nuovi spogliatoi e tribune per la palestra comunale esistente, nuova sede del municipio, nuova sede di poste, ambulatorio medico e centro diurno per anziani.

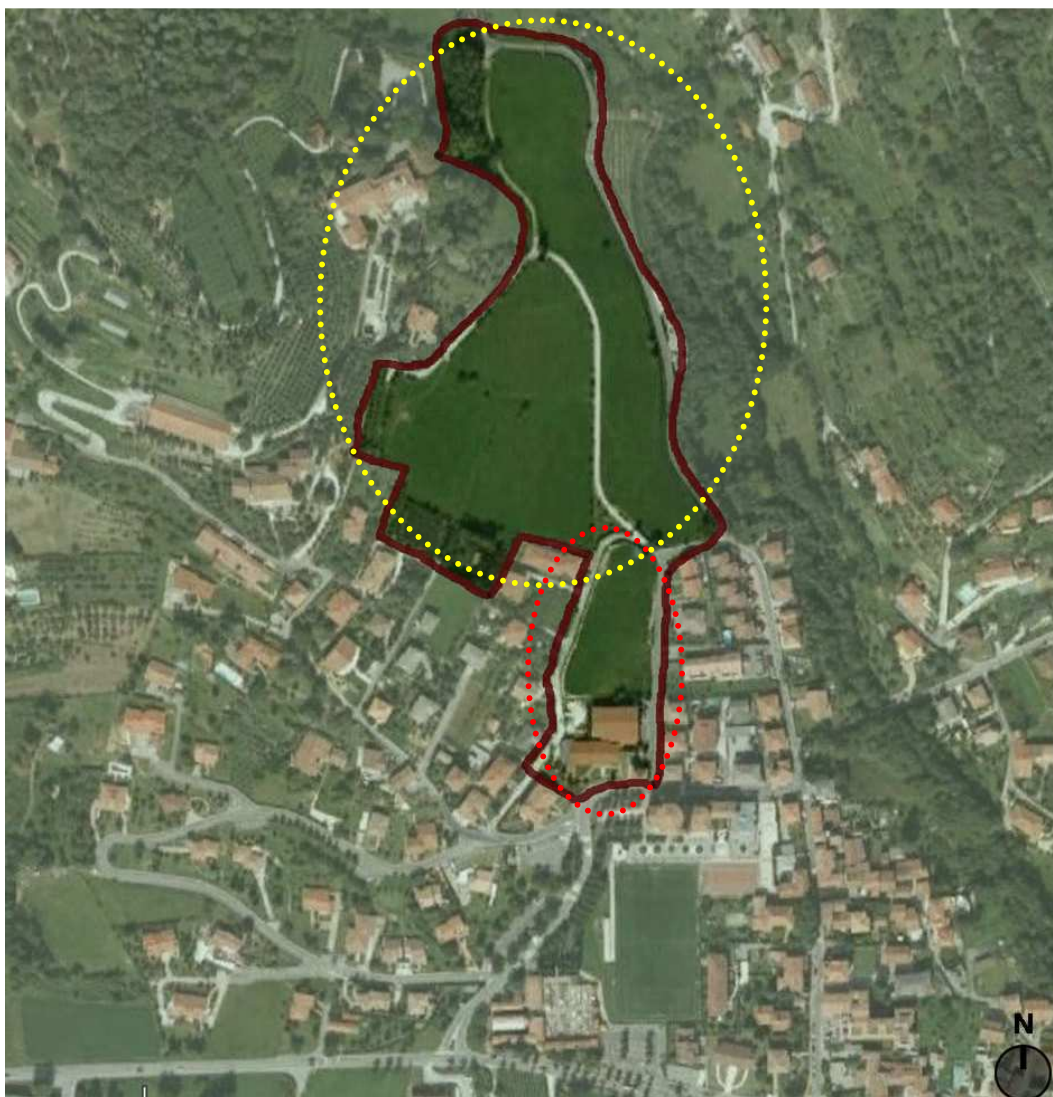


Figura 5: Area di intervento

Vedi Allegato: TAVOLA 01 – Inquadramento territoriale

3.1.2 Viabilità

L'analisi della viabilità non presenta particolari difficoltà poiché si possono individuare immediatamente gli elementi caratterizzanti: la strada statale SS42, la Via Provinciale e il sistema di viabilità comunale.

La strada statale SS42 è l'unico collegamento esistente tra Bergamo e Lovere e attraversa l'intera Val Cavallina congiungendo tutti i comuni. Per questo motivo rappresenta un notevole elemento di disturbo sia in termini di inquinamento atmosferico che acustico, dato l'elevato livello di traffico e congestionamento che raggiunge. Fortunatamente il comune di Cenate Sopra è situato in una zona più periferica rispetto alla statale SS42, diversamente da molti comuni altri che sono attraversati completamente da essa. La presenza o meno di questa via di collegamento all'interno di un comune avrà degli effetti evidenti nelle analisi successive di emissioni di inquinanti in atmosfera. In tutti i comuni attraversati da essa, il settore dei trasporti risulta il maggior responsabile in termini di emissioni, quindi il settore più critico su cui intervenire.

La Via Provinciale è la strada principale che attraversa il comune di Cenate Sopra e rappresenta il collegamento con la statale SS 42 e con la Valpredina. Essa rappresenta la via d'accesso principale al comune, ma anche un elemento di sviluppo del tessuto urbano.

Tutte le altre strade sono comunali e permettono semplicemente l'accesso ai diversi quartieri residenziali piuttosto che ai servizi presenti nel comune.

All'interno del comune si possono distinguere due tipologie di collegamenti: distribuiti più a Sud si trovano le strade che in direzione dei comuni principali, quali Bergamo, Seriate e Lovere e quelli in direzione dei comuni limitrofi, quali Cenate Sotto e Trescore Balneario; mentre più a Nord si trovano i principali collegamenti verso la montagna, partendo dalla località Piazze, punto di partenza di diversi sentieri. Sono presenti diversi collegamenti veicolari in punti strategici da cui si diramano diversi sentieri di montagna, da dove si può raggiungere la cima del Monte Misma, la località Sant'Ambrogio e l'oasi naturale della Valpredina.

Vedi Allegato: TAVOLA 02- Analisi della viabilità

3.1.3 Tessuto urbano

Dall'analisi del tessuto urbano emerge immediatamente la sua natura organica, dove gli unici elementi che regolano lo sviluppo del territorio sono l'orografia del terreno e l'arteria principale di collegamento con gli altri comuni, Via Provinciale. Sono del tutto elementi regolari che gerarchizzano il tessuto o griglie geometriche che ne definiscono perfettamente i contorni. Il tessuto urbano è organico e frammentario, ma abbastanza omogeneo con elementi che si diradano salendo verso Nord.

Dai risultati delle analisi effettuate e da quanto è stato possibile osservare dai sopralluoghi nel comune di Cenate Sopra, l'insediamento ha un carattere prevalentemente residenziale. Esistono due principali edifici che sono distinguibili all'interno del tessuto urbano: il primo è la Parrocchia di San Leone Papa situata nel cuore del comune e il secondo è la rinomata Villa Maestri, edificio settecentesco situato ai piedi del Monte Misma.

Il tipo di insediamento è prevalentemente residenziale, è molto diffuso sul territorio: si tratta per la maggior parte di edifici singoli o raggruppati in poche unità che raggiungono mediamente altezze di al massimo due piani fuoriterra.

L'edificato si concentra nella zona Sud del comune e si sviluppa soprattutto lungo i collegamenti principali con il resto del territorio. Verso Nord, invece, l'edificato è molto meno compatto e si distribuisce con elementi puntuali sul territorio pedemontano.

Vedi Allegato: TAVOLA 03 – Analisi del tessuto urbano

3.1.4 Evoluzione storica

Un'analisi dell'evoluzione storica è ritenuta necessaria per comprendere la natura dell'edificato. Il sito di intervento si colloca proprio al centro del comune, perciò è fondamentale riuscire a classificare gli edifici in base al loro peso storico. In questo caso sono previste delle demolizioni (centro diurno per anziani e scuola elementare) di edifici che devono essere ben valutate per non cancellare elementi di testimonianza storica.

Nella tavola vengono indicati con diverse tonalità di colore che vanno dal marrone scuro al giallo, gli agglomerati urbani a seconda della data di costruzione partendo dal 1889 fino al 2008. E' possibile risalire all'evoluzione del tessuto urbano grazie ai catasti conservati negli archivi comunali e grazie agli aerofotogrammetrici più moderni.

Sono due le preesistenze storiche principali risalenti al 1889: la Parrocchia di San Leone Papa e Villa Maestri. Queste preesistenze sono un simbolo dell'identità comunale, che la pianificazione urbanistica non può assolutamente trascurare. Con la Parrocchia di San Leone Papa si ha un rapporto diretto e di integrazione, data la vicinanza al sito dove sorgerà il nuovo centro polifunzionale.

In generale l'edificato risulta di costruzione piuttosto recente con una buona parte di agglomerati urbani risalente al 1975. Si notano molti quartieri residenziali di recentissima costruzione, datati al 1996 o addirittura al 2008.

Per quanto riguarda la viabilità storica risalente al 1889 si osserva che coincide per buona parte con la Via Provinciale e collega i due principali edifici storici risalenti allo stesso periodo, la Chiesa Parrocchiale e la Villa Maestri, con il resto del territorio.

Vedi Allegato: TAVOLA 04 – Analisi dell'evoluzione storica

3.1.5 Il sistema del verde

All'interno del comune la presenza del verde è molto forte: si tratta all'80% di verde naturale e solo per un 20% di verde artificiale. Il verde artificiale coincide per la maggior parte con il verde privato, che si divide sostanzialmente in giardini privati annessi alle residenze o porzioni di territorio coltivate a vite verso le zone collinari.

Si nota immediatamente l'assenza di verde pubblico attrezzato e di parchi pubblici comunali; esistono solamente due aree verdi attrezzate per lo sport: una compresa nel sistema oratoriale con un campo da calcio e una annessa ad un complesso residenziale di nuova costruzione, con un piccolo parco pubblico, che però resta chiuso all'interno del complesso. Solo la piazza della chiesa rappresenta un buon esempio di spazio all'aperto ben progettato: pavimentazione colorata, attrezzato con panchine e con una serie di alberi per la creazione di zone d'ombra.

La potenzialità di creare spazi aperti pedonali e vivibili sono sfruttate al minimo, il territorio è lasciato allo stato naturale. Anche la presenza di diversi sentieri di montagna potrebbe essere ulteriormente valorizzata.

La creazione di parchi pubblici e zone di verde attrezzato con collegamenti ciclopeditoni diventerà un punto fondamentale nella pianificazione urbanistica, come elemento forte di valorizzazione del territorio.

Il verde naturale è soprattutto boschivo nella zona nord del comune, mentre a sud esistono grandi distese di verde libere, a prato o con vegetazione diffusa, con alberi e arbusti.

Il grafico sottostante rappresenta le diverse percentuali di tipologie di verde all'interno del comune: da notare l'elevata percentuale di verde boschivo e naturale rispetto a quello artificiale del territorio adibito a giardini o coltivato a vite.

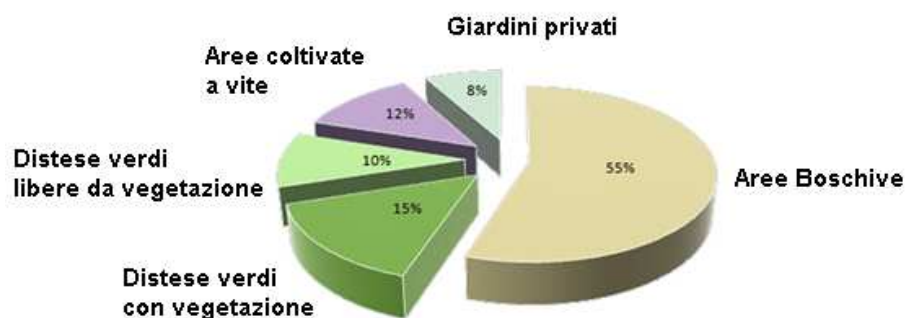


Grafico 1: Tipologie di verde

Vedi Allegato: TAVOLA 05 – Analisi del sistema del verde

3.1.6 Il sistema dei servizi

L'analisi dei servizi è stata eseguita individuando una serie di raggi d'azione che si diramano dal centro dell'area residenziale. Sono state individuate quattro distanze, una ogni 250 m fino ad 1 km di distanza, per individuare tutti quei servizi facilmente raggiungibili con percorsi pedonali, considerando che il tempo medio di percorrenza di 500 m è circa 15 minuti a piedi.

Emerge subito che i servizi sono concentrati nel cuore del paese, dove troviamo edifici per il culto, quali la chiesa e il cimitero; edifici a servizio della comunità, quali l'oratorio con aree verdi per il gioco e lo sport annesse, le scuole elementari con la palestra e la biblioteca comunale, le poste e il municipio.

Risulta evidente come la maggior parte dei servizi sia collocata entro un raggio di 500 m dall'area residenziale, ragione per cui sarà possibile promuovere un intervento dove l'uso dell'automobile sia minimizzato il più possibile e siano potenziati e valorizzati tutti i collegamenti ciclopedonali e di trasporto pubblico.

Esistono diverse aree attrezzate a parcheggio diffuse sul territorio a disposizione della comunità, che sono dislocate lungo le strade o in apposite piazzole.

Esse risultano sufficienti per le esigenze attuali della comunità, tuttavia con il nuovo intervento di espansione residenziale e accentramento delle funzioni dovranno essere previsti appositi parcheggi sia per i lavoratori dipendenti, i residenti e gli utenti dei vari servizi.

Nonostante la grande presenza di verde all'interno del comune, nel sistema dei servizi sono assenti parchi pubblici e il verde attrezzato si limita a viali alberati con sedute che affiancano le principali vie di comunicazione.

Per quanto riguarda le attività commerciali sono del tutto assenti i grandi supermercati, ma sono dislocati lungo le strade principali e nel centro dei piccoli negozi a conduzione familiare, lungo Via Papa Giovanni XXIII.

Vedi Allegato: TAVOLA 06 – Analisi del sistema dei servizi

3.1.7 Analisi demografiche

Le analisi demografiche sono necessarie per il dimensionamento dei nuovi servizi e il potenziamento dei servizi esistenti che potrebbero risultare inadeguati. Inoltre uno studio del nucleo familiare, del numero dei componenti di ogni famiglia e dello stato civile ha permesso di adeguare il tipo di unità abitative allo stile di vita della popolazione. I dati sono stati reperiti da fonti ISTAT o da relazioni effettuate dall'amministrazione comunale.

Andamento della popolazione residente

Dalle analisi dei dati statistici relativi all'andamento della popolazione nel decennio 1997-2007 si evidenzia come la popolazione sia in costante aumento, così come il numero delle famiglie. Un altro dato interessante è il numero medio dei componenti delle famiglie che resta costante nel tempo con un valore pari a 2,70. Quindi la popolazione è in continuo aumento, ma i nuclei famigliari sono meno allargati, con un forte aumento nuclei formati da singoli, da coppie o coppie con un unico figlio. Questo dato risulta fondamentale per la progettazione di una nuova area di espansione residenziale, con unità abitative che si adattino al nuovo standard di nucleo familiare.

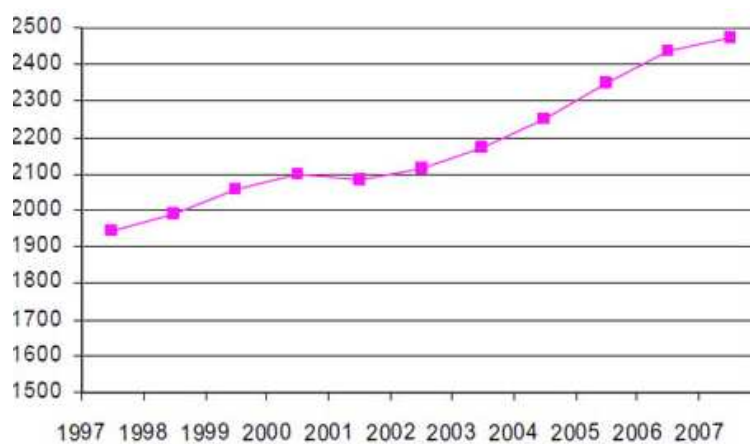


Grafico 2: Andamento popolazione residente

Andamento saldo naturale, migratorio, totale

Il saldo naturale è la differenza tra il numero di nati ed il numero di morti in un dato periodo. Il saldo migratorio è la differenza tra il numero di immigrati e quello di emigrati riferito ad una determinata città, zona o paese in un anno o per un certo periodo di tempo. Il saldo totale tiene conto di entrambi i fattori. Il saldo naturale e il saldo migratorio presentano un andamento variabile nel tempo molto simile. Entrambi anno raggiunto valori minimi in corrispondenza dell'anno 2001, dopo il quale hanno avuto un forte ramo crescente fino al 2004. Dal 2004 l'andamento è decrescente fino alla situazione attuale. Tutti i saldi sono comunque positivi, ad eccezione dei minimi raggiunti nel 2001, ciò significa che il numero dei nati è superiore a quello dei moti, così come quello degli immigrati è superiore a quelli degli emigrati.

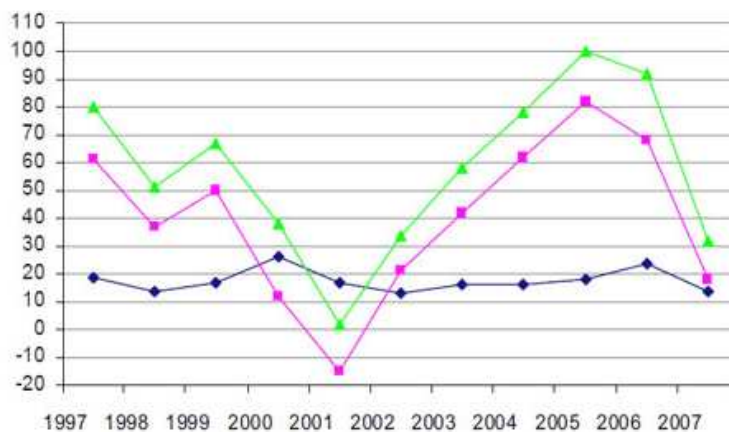
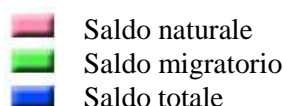


Grafico 3: Andamento saldo naturale, migratorio, totale

Andamento del numero di famiglie

Il numero di famiglie è sempre in aumento dal 1997 al 2006, ad eccezione di un leggero calo nel 2001. Dal 2006 al 2007 la situazione è rimasta pressoché stazionaria. L'area di espansione residenziale risulta necessaria, dato il continuo aumento della popolazione.

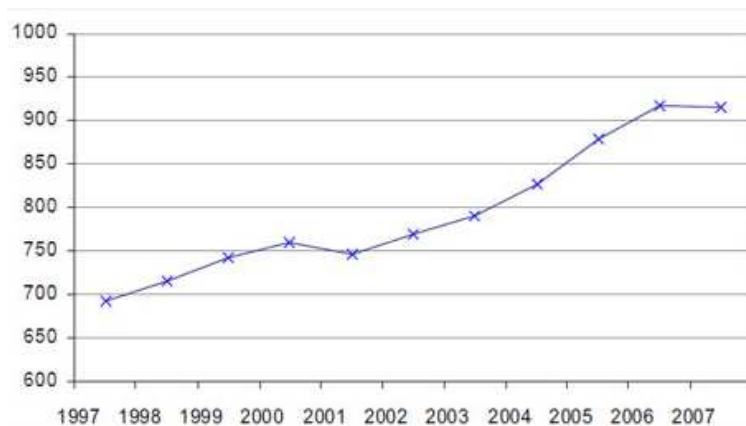


Grafico 4: Andamento del numero delle famiglie

Tasso di natalità e tasso di mortalità

Si osserva che il tasso di natalità è sempre superiore al tasso di mortalità, il numero dei nati è sempre superiore al numero dei morti, quindi la popolazione è in costante aumento. L'andamento delle nascite e delle morti è abbastanza costante, ad eccezione dei due picchi di nascite registrati rispettivamente nel 2000 e nel 2006.

- Tasso di Natalità
- Tasso di Mortalità

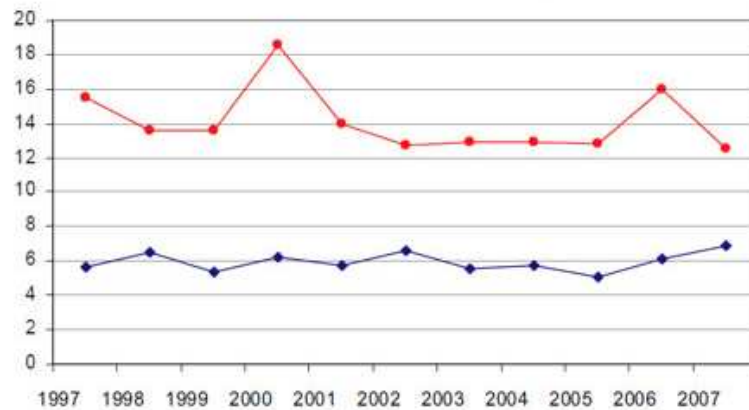


Grafico 5: Andamento tasso di natalità e mortalità

Immigrazione ed emigrazione

Si evidenzia che dal 2002 il numero degli immigrati è sempre maggiore rispetto al numero degli emigrati. Negli ultimi anni mentre il tasso di emigrazione tende ad aumentare quello di immigrazione tende a diminuire.

- Tasso Immigrazione
- Tasso Emigrazione

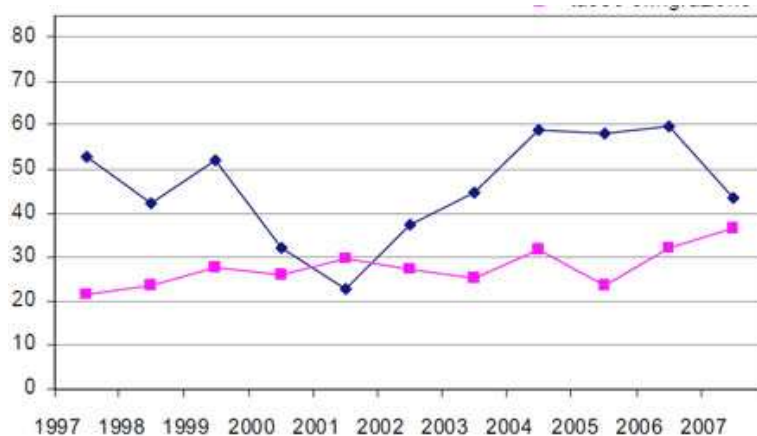


Grafico 6: Tasso di immigrazione e di emigrazione

Popolazione attiva e non attiva

Nel grafico sono messi a confronto i dati rilevati sulla popolazione attiva e non attiva negli ultimi tre decenni, riferendosi ai censimenti rispettivamente del 1981, del 1991 e del 2001. Si osserva che la popolazione non attiva è leggermente inferiore a quella attiva. La popolazione attiva inoltre registra un costante aumento.

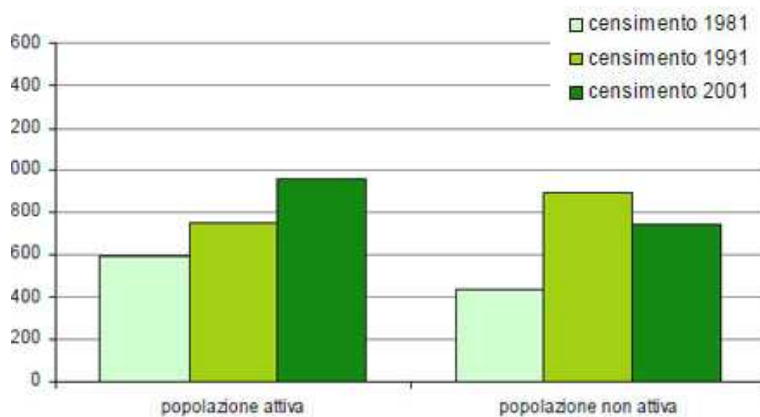


Grafico 7: Popolazione attiva e non attiva

Stato civile della popolazione

Lo stato civile più diffuso tra la popolazione è quello coniugale, ma sono in aumento i nuclei familiari ridotti al singolo: celibi, nubili, separati e divorziati.

Questo dato è rilevante per la nuova espansione residenziale, dove dovranno essere previste unità abitative per famiglie ridotte al singolo e non solo famiglie con due o più componenti.

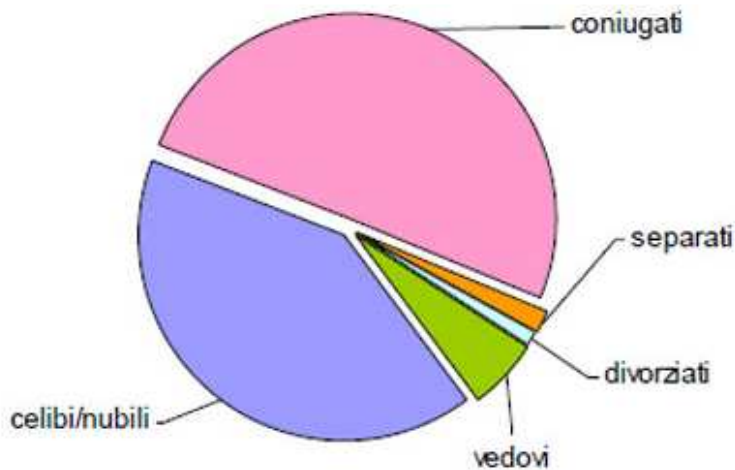


Grafico 8: Stato civile della popolazione

3.1.8 Normativa e vincoli

Fondamentale per la progettazione è la conoscenza della normativa e dei vincoli presenti nel contesto. In particolare all'interno di un piano integrato di intervento generalmente l'amministrazione fornisce elementi chiave e vincoli che il progetto deve rispettare.

All'interno del Piano di Governo del Territorio sono state redatte dall'amministrazione comunale delle schede per ogni ambito di trasformazione con una serie di modalità attuative. Queste schede definiscono la localizzazione e i confini dell'ambito di trasformazione con la principale destinazione d'uso. Successivamente indicano le superfici edificabili e le volumetrie da rispettare; segnalano l'esistenza di particolari vincoli ed infine forniscono delle linee guida per la progettazione. In questo caso l'ambito di trasformazione è la zona Nord dell'area di intervento che ha una destinazione d'uso residenziale. Di seguito si riportano le indicazioni sulle metrature e le linee guida fondamentali per la progettazione.

EDIFICABILITA' E SERVIZI

Superficie ambito: mq 46734

Superficie edificabile: mq 37786

Superficie lorda di pavimento: mq 9300

Superficie permeabile minima: mq 14020

Abitanti teorici: 186

Dotazione minima standard: mq 18

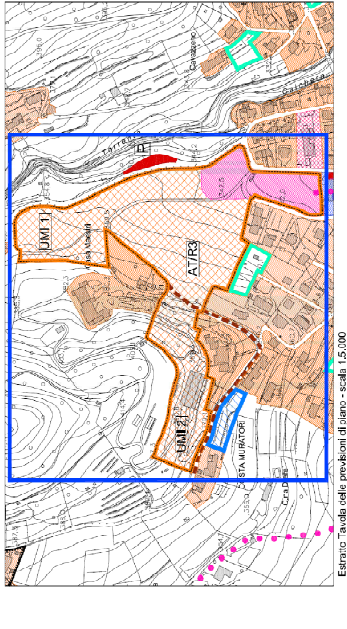
LINEE GUIDA PER LA PROGETTAZIONE

- Conservazione di porosità nel costruito che consentano la continuità ecologica tra la Valpredina e la Valcalchera.
- Dovrà essere prevista la realizzazione del collegamento viario tra Via Costa Muratori e la viabilità interna dell'intervento.
- E' fortemente consigliato l'uso di tecnologie costruttive a basso impatto ambientale ed ad alta efficienza energetica.

	ATR/3.1 (UMI 1)	ATR/3.2 (UMI 2)	TOTALE
5. Edificabilità	46.734	12.046	58.780
- superficie ambito (mq):	37.785	12.046	49.832
- superficie edificabile (mq):	9.300	2.350	11.650
- piani abitati (n.):	2	2	2
- superficie coperte massima predefinita (mq):	6.000	1.500	7.500
- superficie permeabilità minima (%):	14,020	3,814	17,834
- distanze:	art. 4 delle NTA del Piano delle regole		
- abitanti di teorico insediamento (1 ab/50mq SLP):	86	47	233
- dati dall'edificabilità di comparto è esclusa la nuova Scuola elementare, la c.d. "Consistenza" verrà determinata in sede di PA.			
6. Servizi di competenza			
- dotazione complessiva : -UMI1: mq. 8.549 (area per attrezzature scolastiche) più un posto auto (da 13 mq) ogni 75 mc. di SLP - UMI2: mq. 1.250			
- dotazione non monetizzabile: è esclusa la possibilità di monetizzazione in entrambe le UMI			
- dotazione aggiuntiva per compensazione urbanistica:			
- UMI1: sono contenitori, e ad ogni effetto prescriviti, gli impegni per urbanizzazione primaria e secondaria e per standard di qualità previsti dalla convenzione urbanistica allegata alla DCC n. 24 del 9 luglio 2009 di approvazione definitiva del PII "San Leone"			
- UMI2: (75 mq/ab.) = mq. 3.525			
7. Vincoli o prescrizioni sovraordinati			
- Paesaggistico (D.lgs. 42/06):			
- fiumi:	si	- Aree di elevata naturalità (art. 17 NA del PTRP):	no
- boschi:	no	- Idrogeologico:	no
- SIC Valpescina Misma:	no	- Cimiteriale:	no
8. Faticosità geologica			
- classe di fatica: 2-3			
- fattore di sismicità: H2			
9. Previsioni di PTCP (Organizzazione del territorio e sistemi insediativi) - Quadro strutturale			
- ambiti definiti dalla pianificazione locale:	si		
- ambiti di primo riferimento (art.53):	si		
- ambiti di opportuna istituzione di Pils (art.71):	no		
- versanti boscati (art.57):	si		
- versanti delle zone collinari e pedemontane (art.63):	si		
- dati di riferimento dei versanti boscati e da investire in funzione della situazione rilevata (art.61, col DdP)			
10. Linee guida per la progettazione			
L'operazione urbanistica potrà prevedere lo sviluppo sia dell'intero ambito con unico PA, sia il suo frazionamento in due comparti (corrispondenti alle due UMI individuate) regolamentati da PA autonomi. In sede di progettazione urbanistica ed edilizia si dovrà tenere conto della valenza ambientale del sito. Particolare attenzione dovrà essere posta alla conservazione di porzioni nel costruito che consentano la continuità ecologica tra la Valpredina e la Valcalchera. La percorrenza pedonale da via Costa Muratori dovrà essere conservata, pur modificandone, se necessario, il tracciato. All'interno degli impegni convenzionali dovrà essere prevista la realizzazione del collegamento viario tra via Costa Muratori e la visibilità interna di Piano attuativo. L'edificio esistente nel comparto dovrà essere demolito; la relativa consistenza planimetrica e da inserirsi gli ricompresa nella SLP totale assegnata all'Ambito. Dovrà essere approfondito il tema della mitigazione ambientale, da perseguire con impianti di essenze arboree autoctone di alto fusto, corredando il progetto urbanistico di specifico studio predisposto a cura di tecnico paesaggista. È fortemente consigliato l'uso di tecnologie costruttive a basso impatto ambientale ed a alta efficienza energetica.			

AMBITO ATR/3 - San Leone

1. Localizzazione
L'Ambito interessa una porzione di territorio compresa tra via Valcalchera a est e la frazione di Costa Muratori a ovest; posta subito a nord del centro del Comune. È costituito da due suoi - ambiti morfologicamente ben distinguibili: la zona a est, che coinvolge le aree a dolce declivio poste a valle della "casa Maestrini", la zona a ovest, inmarcasi dalla presenza di un fabbricato ex agricolo, con pendenze nord-sud di un certo rilievo. Interseca le due porzioni d'area descritte un sentiero comunale. La zona è servita sia dalla viabilità, che dai servizi a rete di urbanizzazione.



2. Riferimenti cartografici

3. Strumento attuativo
Piano attuativo

4. Destinazione d'uso (art. 5 delle NTA del Piano delle regole)
- destinazione principale: residenza (R)

Figura 6: Estratto P.G.T., scheda ambito di trasformazione

Oltre alla presenza di vincoli e linee guida specifiche per l'area di trasformazione, sono presenti altri vincoli non trascurabili che interessano l'area di intervento.

Sempre consultando il piano di governo del territorio sono stati rilevati due forti vincoli territoriali. Il primo è un vincolo idrogeologico: una fascia dell'area di intervento è classificata come area di conoide, pertanto dovranno essere effettuate delle verifiche geotecniche per assicurare la stabilità degli edifici. Bisognerà verificare innanzitutto che non ci siano scivolamenti del pendio, nel caso di verifica positiva si potrà procedere con la progettazione degli edifici, viceversa sarà necessaria la realizzazione di opere di sostegno. Inoltre sarà necessaria una verifica dei cedimenti in modo che siano contenuti in intervalli ammissibili per evitare cedimenti differenziali nelle strutture.

Il secondo forte vincolo è legato alla fattibilità geologica: fortunatamente gran parte dell'area è in classe 2 con modeste limitazioni, ma sono presenti fasce in classe 3 confinanti con fasce con gravi limitazioni di fattibilità. La scuola elementare esistente presenta, infatti, gravi dissesti strutturali, dovrà essere demolita per la realizzazione di un nuovo edificio scolastico.

Data la natura del terreno con una scarsa capacità portante, saranno necessari studi particolari per la scelta delle fondazioni, con le relative verifiche per l'utilizzo di fondazioni profondo come i pali, piuttosto che delle fondazioni a platea.

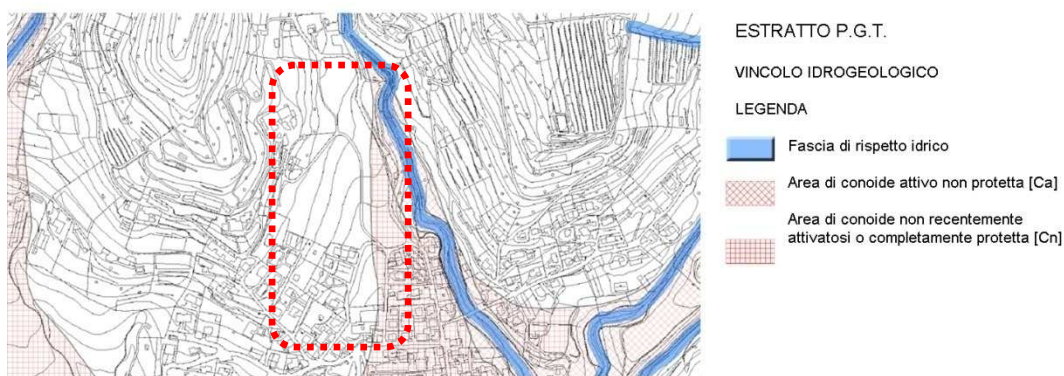


Figura 7: Estratto P.G.T., vincolo idrogeologico



Figura 8: Estratto P.G.T., fattibilità geologica

3.1.9 Rilievo fotografico

Il rilievo fotografico e il sopralluogo si rivelano fondamentali per capire, vedere, sentire il contesto, per respirare l'atmosfera e riuscire a coglierne i diversi aspetti che viceversa non si potrebbero immaginare. Ogni volta che ci sia la possibilità il sopralluogo è d'obbligo.

Il rilievo fotografico è un ulteriore strumento di analisi, in questo caso è limitato alla zona sud dell'area d'intervento, dove sono concentrati gli edifici storici e i servizi per la comunità. La nuova area di espansione è semplicemente una distesa verde libera dal costruito.

Si osservano alcune caratteristiche principali che accomunano tutti gli edifici per i servizi pubblici: il colore giallo, la scritta in caratteri di tonalità bordò con esplicitazione della funzione, la copertura in tegole inclinata. Tutti gli edifici sono molto vicini e hanno una posizione abbastanza centrale rispetto all'estensione del territorio comunale.

Vedi Allegato: TAVOLA 07 – Rilievo fotografico

3.1.10 Analisi Criticità e Opportunità

L'ultima fase propedeutica alla pianificazione urbanistica è l'analisi approfondita delle specificità dell'area di intervento con l'individuazione dei punti deboli, delle sue criticità e dei punti di forza e quindi delle possibili opportunità da sfruttare e valorizzare.

Tra le opportunità si raccolgono tutti gli spunti che il sito offre per un progetto di qualità, tutti gli elementi positivi che favoriscono la realizzazione dell'intervento.

Tra i fattori esogeni che potrebbero favorire lo sviluppo del progetto si trovano: l'estensione dell'area di intervento con una buona esposizione e in gran parte libera da costruito; la vicinanza delle principali preesistenze storiche, quali la Chiesa di San Leone Papa e la Villa Maestri, con la possibilità di valorizzazione e integrazione; la vicinanza delle principali funzioni pubbliche all'area di intervento con la possibilità di favorire la mobilità ciclopedonale, la presenza di un ingresso esistente al deposito del piano interrato della palestra.

Tra le criticità si raccolgono tutti gli elementi di disturbo, tutte le problematiche che devono essere affrontate nell'ottica di riuscire a proporre una soluzione alternativa di miglioramento dove ovviamente sia possibile.

Tra i fattori esogeni che potrebbero limitare lo sviluppo del progetto si trovano: la presenza di un terreno argilloso con scarsa capacità portante e di un'area di conoide attivo che richiederanno studi di fattibilità specifici; l'orografia del terreno con grandi differenze di quota e difficoltà di raccordo tra le diverse aree e le diverse pendenze soprattutto lungo la sezione trasversale del sito; la viabilità è difficile data la limitata larghezza delle strade e la difficoltà di manovra dei mezzi, la mobilità ciclopedonale inoltre è poco sicura, data l'assenza di marciapiedi.

Vedi Allegato: TAVOLA 08 – Analisi criticità e opportunità

3.2 Definizione di obiettivi e concept di progetto

3.2.1 Obiettivi

Dopo un'approfondita analisi del sito, dopo aver valutato le esigenze della committenza e le aspettative della popolazione sono stati individuati i seguenti obiettivi per la definizione del masterplan:

- Intervento ecosostenibile, zero carbon: l'amministrazione comunale ha firmato il patto dei sindaci, perciò un intervento nel cuore del comune deve assolutamente prestare attenzione alla tematica della sostenibilità energetica ed ambientale, puntando ad un intervento ad impatto zero.
- Sfruttare l'orientamento e la morfologia del territorio: l'intervento deve risultare il meno invasivo possibile, riducendo al minimo le operazioni di reinterro e sbancamento, gli edifici si devono adattare alla morfologia del terreno, elemento che può diventare uno spunto interessante per la progettazione.
- Concentrare la volumetria degli edifici: per un intervento ad alta efficienza energetica è necessario ridurre la superficie disperdente, ma allo stesso tempo per garantire il rispetto dell'ambiente e salvaguardare il verde esistente è necessario limitare l'occupazione del suolo.
- Proporre una nuova tipologia edilizia: introdurre la tipologia del complesso residenziale che riunisce le unità abitative, piuttosto che la riposizione della tipologia a villette singole.
- Integrazione con le preesistenze: il nuovo centro polifunzionale si interfaccia direttamente con la Chiesa Parrocchiale, fondamentale è il rapporto tra gli edifici che può essere risolto con la creazione di un'unica piazza in continuità con quella esistente. La presenza di Villa Maestri sarà valorizzata con la creazione di un percorso pedonale che mantenga un rapporto visivo forte con essa. Infine la nuova scuola elementare dovrà prevedere un collegamento diretto con la palestra comunale esistente.
- Favorire e privilegiare la mobilità ciclopedonale: la green line è un percorso pedonale che attraversa l'intera area di progetto, collega tutte le funzioni da Nord a Sud e i principali luoghi di aggregazione all'aperto, quali parchi e piazze.
- Inserire parchi pubblici: dai risultati delle analisi del sistema del verde è emersa la totale assenza di zone parco o verde pubblico attrezzato. Un obiettivo forte sarà quindi l'inserimenti di parchi pubblici all'interno del territorio comunale.

3.2.2 Concept

L'immagine della sostenibilità energetica ed ambientale come una rete metropolitana che si diffonde in tutta Europa, ha portato alla definizione del concept plan. Una nuova linea deve essere introdotta, una green way, un percorso che si ferma in diverse stazioni e che conduce agli obiettivi del 2020. Finalità del percorso è la diminuzione del 20% delle emissioni di inquinanti, l'aumento del 20% dell'efficienza energetica e l'aumento del 20% di impiego di energia da fonte rinnovabile.



Figura 9: Concept plan

La green way ferma anche a Cenate Sopra con la pianificazione del centro comunale. Fondamentale è il coinvolgimento della cittadinanza, proprio per questo motivo ad ogni “fermata” si associano tre diverse attività umane. “To Relate” indica il relazionarsi con gli altri, negli spazi di aggregazione, all’interno della piazza dove si accentrano tutte le funzioni. “To Educate” indica l’importanza dell’educazione, dell’istruzione, della diffusione della cultura del rispetto dell’ambiente partendo dalle nuove generazioni. “To Live” è associato alla zona residenziale, ad un nuovo modo di costruire e vivere, cercando di ridurre sprechi e consumi per la salvaguardia dell’ambiente.

Nella definizione del concept plan emergono diversi elementi caratterizzanti: la creazione di parchi pubblici e piazze attorno alle quali si organizzano le diverse funzioni, l’integrazione con le preesistenze con la continuità della piazza tra quella della Chiesa Parrocchiale e la nuova e con il rapporto visivo con la Villa Maestri. Tutti questi elementi sono collegati dalla green line, un percorso ciclopedonale che attraversa il comune. Si evidenzia anche la disposizione dei complessi residenziali, immersi nel verde e orientati il più possibile in direzione Nord-Sud.

Partendo dalle istanze e senza perdere di vista gli obiettivi prefissati si sono valutate diverse ipotesi progettuali. I primi punti fissi sono stati la creazione di una piazza collegata con quella esistente, la creazione di parchi pubblici all’interno dell’area e un percorso pedonale che colleghi tutti i luoghi di aggregazione.

Proseguendo nel processo di progettazione si è cercato di valorizzare le preesistenze storiche e il rapporto con il territorio, sia dal punto di vista morfologico che funzionale.

Fondamentale il rapporto con le preesistenze che è stato risolto creando un’unica piazza ricca di funzioni integrata con quella esistente della chiesa e creando un percorso pedonale con alberi e sedute che mantenga un rapporto visivo con la Villa Maestri.

Dal punto di vista funzionale i principali servizi collettivi sono organizzati attorno alla piazza nella zona sud dell’area, mentre la zona nord ha una destinazione d’uso residenziale. Si è cercato di creare un’alternanza di piazze e parchi verdi tra le diverse funzioni: le piazze per garantire l’accessibilità e i parchi pubblici come luoghi di aggregazione.

L’intera area è attraversata dalla green line che funge da collegamento ciclopedonale passando attraverso piazze e parchi e permettendo l’accesso alle diverse funzioni. La green line vuole essere un percorso piacevole e accattivante caratterizzato da una forte presenza di verde, deve avere una forma tale da attirare l’utenza e invogliare ad abbandonare l’uso dell’automobile per una passeggiata bella e sicura.

Per quanto riguarda l’area residenziale è fondamentale che le unità abitative abbiano un senso di unitarietà e siano organizzate in complessi residenziali. Questi devono essere adagiati sulle curve di livello per ridurre al massimo le operazioni di sbancamento e reinterro. Le volumetrie devono essere concentrate sia per minimizzare l’occupazione del suolo che per limitarne la superficie disperdente. L’orientamento dei complessi deve essere il più possibile in direzione nord-sud.

L’area è attraversata dalla green line in direzione della Villa Maestri e sono previsti diversi collegamenti pedonali trasversali per garantire l’accesso alle diverse unità.

Vedi Allegato: TAVOLA 09 – Definizione del concept plan

3.3 Masterplan generale

I risultati delle analisi, la definizione degli obiettivi e del concept hanno portato alla definizione del masterplan generale. Si evidenzia con il colore bianco la localizzazione dell'edificio scolastico, di cui si tratterà la progettazione dettagliata nei capitoli successivi. In grigio chiaro si evidenziano le volumetrie concettuali e la disposizione degli edifici di nuova costruzione. Per la mobilità il grigio scuro indica i collegamenti veicolari e il marrone o il verde indicano i percorsi ciclopedonali.

Nei paragrafi seguenti si affronta l'evoluzione del concept plan attraverso diverse tematiche: la viabilità, le funzioni e un approfondimento sull'area residenziale con alcune linee guida per la progettazione.

Vedi Allegato: TAVOLA 10 - Planimetrico

3.3.2 Masterplan generale: viabilità

Attualmente tutte le strade sono a doppio senso di circolazione tranne la traversa di Via Papa Giovanni XXIII che permette l'accesso al municipio dalla Via Provinciale. Tutte le vie hanno la funzione di accesso alle residenze, tranne Via Papa Giovanni XXIII sulla quale si affacciano la maggior parte dei servizi.

La nuova proposta di viabilità consiste nel rendere Via Papa Giovanni XXIII una strada a senso unico fino all'incrocio con Via Padre Paolo Belotti e renderne l'ultimo tratto a traffico limitato inserendo degli appositi dissuasori che permettano di avere le due piazze libere dalla circolazione veicolare in caso di particolari eventi e manifestazioni.

Per la zona residenziale è previsto un nuovo collegamento rappresentato dal proseguimento e allargamento di Via Costa Muratori fino a Via Vacalchera seguendo le curve di livello.

Si prevede inoltre l'inserimento di una rotatoria per agevolare il traffico all'incrocio tra Via Padre Paolo Belotti e Via Vacalchera.

Sarà necessario anche un allargamento delle strade preesistenti fino al raggiungimento di una larghezza almeno pari a 6 m per consentire la mobilità veicolare in sicurezza, lo stesso incrocio tra Via Papa Giovanni XXIII e Via Padre Paolo Belotti sarà ampliato demolendo il centro diurno per anziani, elemento di disturbo per la viabilità che rende difficoltosa la manovra dei mezzi e che rappresenta un elemento di cesura tra le due piazze.

Per quanto riguarda i collegamenti pedonali si prevede la realizzazione di un percorso che attraversi l'area da Nord a Sud passando attraverso le zone adibite a parco e le piazze nodali dalle quali si accede alle diverse funzioni. Infine si dovrà realizzare un'apposita zona di sosta e fermata dell'autobus di fronte alla scuola elementare.

Vedi Allegato: TAVOLA 11- Plaimetrico: Viabilità

3.3.2 Masterplan generale: funzioni

Si rappresentano nello specifico le diverse destinazioni d'uso e la distribuzione delle diverse funzioni all'interno dell'area.

Partendo dalla zona sud, attorno alla piazza sono collocate rispettivamente la nuova sede del municipio, le nuove poste, il nuovo ambulatorio medico e il nuovo centro diurno per anziani. Procedendo verso Nord si trova la palestra comunale esistente che dovrà essere adeguatamente integrata nel progetto e alla quale si aggiungeranno spogliatoi e tribune. Questa è direttamente collegata con il polo scolastico elementare con porticato all'aperto. Il parco a sud della scuola elementare è adeguatamente recintato e ad uso solamente scolastico. Oltre la scuola si trova la biblioteca comunale con una piazza antistante e una zona di parco adeguatamente attrezzata con zone studio.

La parte più collinare ospita le nuove residenze con zone di parcheggio private ricavate sfruttando le curve di livello caratterizzate da una copertura con pannelli fotovoltaici.

Infine la zona più a Nord ospita un parco pubblico con una parte molto naturale, date le forti pendenze e una parte attrezzata con zone ristoro, tavolini, sedute e aree per il gioco e lo sport.

Si è cercato di creare diverse piazze a diverse quote che fungessero da luogo di aggregazione e di smistamento delle diverse funzioni, tutte collegate dalla green line, un percorso pubblico che attraversa l'intera area e mantiene vivo il rapporto con le preesistenze.

Vedi Allegato: TAVOLA 12- Distribuzione delle funzioni

3.3.2 Masterplan generale: area di espansione residenziale

La tabella seguente riassume le richieste della committenza desunte dal P.G.T., in termini di superfici edificabili e non, altezze massime, numero di abitanti previsti e dotazione di servizi.

Tabella 1: Richieste della committenza

RICHIESTE DELLA COMMITTENZA		
Superficie totale	mq	46734
Superficie edificabile	mq	37786
Superficie lorda di pavimento	mq	9300
Superficie permeabile	mq	14020
Altezza massima di costruzione	m	6,50
Numero di abitanti	ab	186
Dotazione minima standard	mq	18

Di seguito si riportano invece le diverse superfici previste nella progettazione urbanistica per il costruito, per il verde pubblico e privato e per i servizi alle abitazioni.

Tabella 2: Rispondenza del progetto

SUPERFICI PREVISTE		
Superficie verde privato residenziale	mq	14175
Superficie verde pubblico	mq	9554
Superficie parcheggi	mq	4121
Superficie unità abitative	mq	100
Totale appartamenti	unità	93
Totale superficie edificata	mq	9300
Complesso A	Totale appartamenti: 20	
Complesso B	Totale appartamenti: 22	
Complesso C	Totale appartamenti: 20	
Complesso D	Totale appartamenti: 16	
Complesso E	Totale appartamenti: 15	

Si descrivono ora le linee guida per la progettazione dell'intervento residenziale. Le residenze dovranno avere alcuni requisiti e caratteristiche specifiche esplicitate all'interno del masterplan. Si ricorda che obiettivi principali sono la realizzazione di un intervento ad impatto zero, con edifici ad alta efficienza energetica con particolare attenzione per il contesto. L'intervento deve essere il meno invasivo possibile e deve essere caratterizzato da una forte presenza di verde.

Le unità abitative possono essere organizzate in duplex distribuendo le metrature in modi diversi in base al tipo di utenza: possibilità di avere un bilocale da 70 mq ad un piano e un trilocale da 130 mq su due piani, invece di due unità da 100 mq ad un piano disposte su due livelli diversi.

I complessi residenziali devono essere ortogonali all'andamento delle curve di livello in modo da limitare al minimo le operazioni di scavo e reinterro e avere un buon orientamento rispetto alla direzione Nord-Sud. Questi devono essere adagiati sul terreno e possono raggiungere al massimo due piani fuori terra.

I prospetti sud dovranno essere molto vetrati con schermature adeguate e i prospetti nord molto compatti con aperture limitate. Per quanto riguarda le coperture esse dovranno essere tetti verdi, sfruttabili come terrazze o tetti fotovoltaici per la produzione di energia pulita.

Nelle abitazioni non sono presenti box, tuttavia apposite zone di parcheggio coperte sono ricavate sotto le curve di livello, lasciando la possibilità di avere in copertura zone verdi o parchi fotovoltaici. Sono previste comunque zone per la sosta temporanea delle auto di fronte ai complessi.

Conclusioni

La pianificazione urbanistica è riuscita ad unire l'aspetto funzionale con la rispondenza alle esigenze dell'utenza con l'aspetto di sostenibilità energetica ed ambientale favorendo la mobilità ciclopedonale dell'area con una grande presenza di verde all'interno dell'area di intervento. Le diverse funzioni si collocano lungo la green line, un percorso verde che attraversa l'area di intervento e sono commisurate in previsione dell'aumento della popolazione residente nel comune, data la presenza di una nuova area di espansione residenziale. La molteplicità delle utenze e la loro vicinanza è fondamentale per l'introduzione di un sistema di teleriscaldamento in modo da utilizzare tecnologie all'avanguardia per la produzione di energia per soddisfare il fabbisogno energetico comunale. Questo sistema consente la riduzione di sprechi di energia e la notevole riduzione di emissioni di inquinanti in atmosfera, con il risultato di avere un ambiente più salubre e più pulito, tanto da classificare il tipo di intervento ad impatto zero.

Metaprogettazione

In questo capitolo si delinea tutto uno studio preliminare che è insito in una progettazione di qualità. Questa fase serve ad esplicitare ogni particolare in modo che le scelte che si effettuano durante il processo progettuale siano sempre giustificate e abbiamo motivazioni chiare e trasparenti. Si definiscono gli ambiti di intervento, i portatori di interesse e quindi gli attori coinvolti con i loro obiettivi. Si esplicitano i vincoli che devono essere rispettati, sia sottoforma di esigenze degli attori coinvolti, sia sottoforma di normative o termini da rispettare esplicitati nel bando di concorso. La fase di progettazione è strettamente legata alla terna tempi, costi e qualità. In questa fase si determinano le influenze della terna sulla progettazione. Solo in questo modo è possibile prevedere eventuali imprevisti, anticipare i vincoli e progettare con lungimiranza. Più si producono alternative plausibili, più la scelta di una sola di esse è complessa, tuttavia essa sarà quella che massimizzerà il livello di completezza dei risultati attesi.

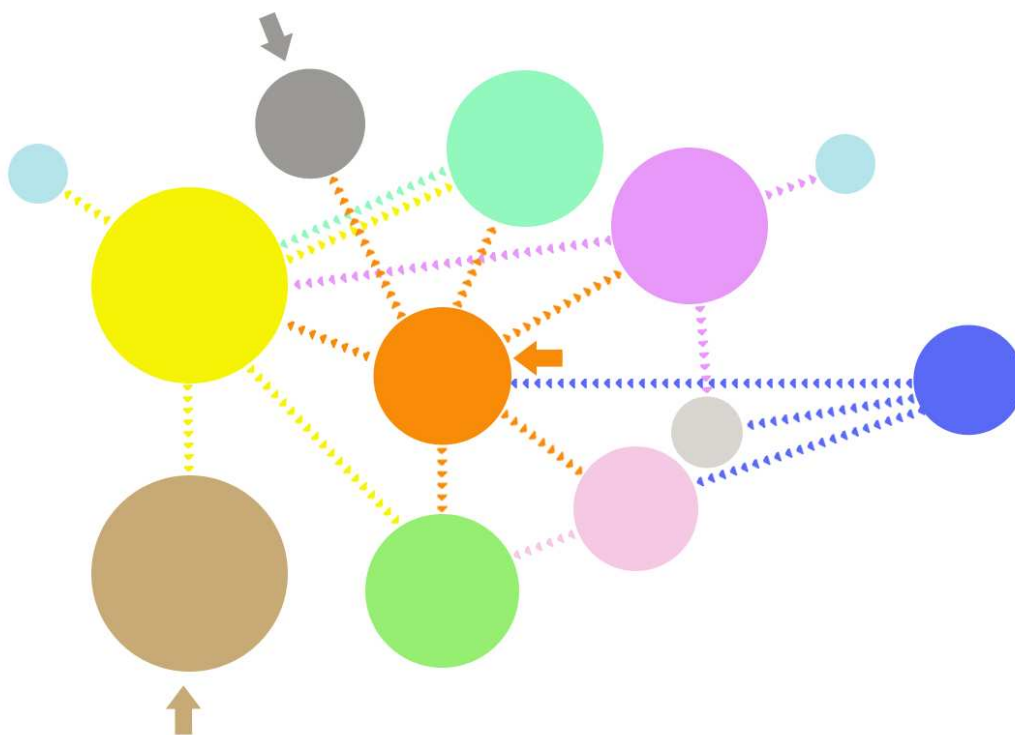


Figura 1: Schema funzionale scuola elementare

4.1 Definizione ambito di progetto

La progettazione di un edificio scolastico nel comune di Cenate Sopra vuole essere un esempio concreto di applicazione delle strategie di sostenibilità energetica ed ambientale. La stesura del SEAP è la fase di pianificazione generale che precede la progettazione di interventi specifici.

Il comune di Cenate Sopra, a differenza di tutti gli altri comuni della Valcavallina, offre spunti molto interessanti per una progettazione sostenibile. Necessità principale del comune è l'accentramento delle funzioni pubbliche e amministrative nel cuore del paese. Il nuovo municipio e le nuove scuole elementari sono il simbolo dell'amministrazione e dell'istruzione pubblica, devono rappresentare il paese e quindi un nuovo modo di progettare e costruire nel rispetto dell'ambiente.

È stata effettuata un'analisi approfondita sul territorio, sono state vagliate le disponibilità e le esigenze di ogni comune firmatario del patto dei sindaci e infine è stato scelto quello più idoneo alla tipologia di intervento realizzabile.

Tabella 1: Definizione ambito di progetto

DISPONIBILITA' SUL TERRITORIO			
ELENCO COMUNI	ESIGENZE	PRO	CONTRO
Berzo S.Fermo	Nessuna risposta		
Bianzano	Nessuna risposta		
Borgo di Terzo	Nessuna risposta		
Bossico	Nessuna risposta		
Casazza	Ampliamento polo scolastico	Simbolo cultura	Intervento sull'esistente
		Tipologia diffusa sul territorio	Impossibilità di ottenere un modello zero carbon
		Possibilità di educare le nuove generazioni	
Castro	Nessuna risposta		
CENATE SOPRA	Nuovo polo scolastico	Simbolo cultura	Situato in un comune piccolo
		Tipologia diffusa sul territorio	
		Possibilità di educare le nuove generazioni	
		Creazione di un modello zero carbon per le tipologie simili	
	Nuovo municipio	Simbolo del paese	Situato in un comune piccolo
		Possibilità di sensibilizzare la popolazione	
		Creazione di un modello zero carbon per le tipologie simili	
	Piazza	Luogo di aggregazione	Situato in un comune piccolo
		Possibilità di scambio di informazione	
Progettazione del centro del paese			
Costa Volpino	Nessuna risposta		
Credaro	Nessuna risposta		
Endine	Nessuna risposta		

ELENCO COMUNI	ESIGENZE	PRO	CONTRO
Entratico	Ampliamento polo scolastico	Simbolo cultura	Intervento sull'esistente Impossibilità di ottenere un modello zero carbon
		Tipologia diffusa sul territorio	
		Possibilità di educare le nuove generazioni	
		Creazione di un modello zero carbon per le tipologie simili	
Gaverina Terme	Nessuna risposta		
Gorlago			
Grone	Azienda agricola	Creazione di un modello zero carbon per le tipologie simili	Dimensioni ridotte dell'intervento
			Tipologia poco diffusa nella Valcavallina
Lovea	Nessuna risposta		
Luzzana	Nessuna risposta		
Monasterolo	Ampliamento polo scolastico	Possibilità di educare le nuove generazioni	Intervento sull'esistente
			Impossibilità di ottenere un modello zero carbon
	Nuovo polo sportivo	Luogo di aggregazione	Difficoltà per ottenere lo zero carbon
			Grandi spazi all'aperto rispetto all'edificato
Struttura turistico-ricettiva	Creazione di un modello zero carbon per le tipologie simili	Utilizzo stagionale	
Parzanica	Nessuna risposta		
Ranzanico	Nessuna risposta		
San Paolo d'Argon	Nessuna risposta		
Sarnico	Padiglione espositivo	Tipologia richiesta dal bando europeo	Dimensioni ridotte dell'intervento
		Possibilità di diffondere le informazioni	Difficoltà per il riutilizzo
	Sala congressi	Possibilità di diffondere le informazioni	Uso saltuario
	Nuovo quartiere residenziale	Creazione di un modello zero carbon per le tipologie simili	Intervento poco rappresentativo
	Complesso uffici	Creazione di un modello zero carbon per le tipologie simili	Intervento poco rappresentativo
Solto Collina	Nessuna risposta		
Spinone al Lago	Nessuna risposta		
Tavernola bergamasca	Nessuna risposta		
Trescore Balneario	Nuovo polo scolastico	Simbolo cultura	Preferibile un intervento sull'esistente
		Tipologia diffusa sul territorio	
		Possibilità di educare le nuove generazioni	
		Creazione di un modello zero carbon per le tipologie simili	
Vigano San Martino	Nessuna risposta		
Villongo	Nessuna risposta		
Zandobbio	Nessuna risposta		

Il nuovo municipio è simbolo del comune e permette l'applicazione concreta di edifici a basso consumo energetico e zero emissioni. Le nuove scuole elementari sono un simbolo culturale ed è importante educare le nuove generazioni al rispetto dell'ambiente ed abituarle fin dall'infanzia a considerare il patrimonio comune come un bene da salvaguardare.

L'accentramento delle funzioni pubbliche e la creazione di una nuova piazza integrata con quella esistente su cui si affaccia la chiesa parrocchiale, permettono la creazione di uno spazio pubblico fruibile, un luogo di aggregazione dove avviene la diffusione dell'informazione.

Il punto di partenza per lo sviluppo del progetto della scuola elementare è l'indagine sul territorio della situazione attuale con una previsione sulle esigenze future. In primo luogo è stato effettuato un sopralluogo del sito e successivamente è stata intervistata la Dirigente di Plesso, la Signora Giusi Viganì che ha chiaramente esposto le esigenze della committenza.

La scuola attuale conta 8 aule didattiche, di cui due aggiunte recentemente per mancanza di spazi. Essa ospita un numero di alunni pari a 165. La scuola attuale è dotata di un solo laboratorio, adibito a sala informatica. Sono assenti gli spazi di interciclo per attività con più classi, è assente il servizio mensa e qualsiasi altro laboratorio diverso dalla sala informatica. Gli spazi per i docenti e il personale di servizio sono molto limitati. Anche lo spazio verde esterno alla scuola non è attrezzato ed è molto ristretto rispetto al numero di alunni presenti. Oltre a non avere spazi sufficienti per lo svolgimento delle attività didattiche e integrative, la scuola presenta diversi problemi di stabilità strutturale, data la cedevolezza del terreno e dovrebbe subire un intervento di adeguamento sismico.

In vista della nuova espansione residenziale, la nuova scuola deve tener conto di un possibile incremento dell'utenza. Gli spazi nuovi sono progettati per servire un numero di alunni pari a 265, un centinaio in più rispetto alla situazione attuale. La nuova scuola è dotata di dieci aule con una capienza massima di 26 alunni, tre laboratori (informatico - lingue, musica e artistica), una sala docenti e una per il ricevimento parenti, segreteria, ufficio preside, spazi per servizi ATA e infermeria e una sala polivalente per le attività di interciclo ed extrascolastiche.

Tabella 2: Esigenze future

FUNZIONE	NUMERO	UTENZA	SERVIZI / ANNESSI	SUPERFICIE MIN PER ALUNNO [m ²]	SUPERFICIE MIN [m ²]	h MIN [m]	[lux] MIN TAVOLI	SUPERFICIE PROGETTO ESISTENTE [m ²]
ALUNNI	165							
DOCENTI	14							
ORARI	Da Lunedì a Sabato: 8.15-12.35 / Solo Lunedì e Mercoledì: 14.15-16.35							
SUPERFICIE TOTALE [m ²]	5670							
Aula didattica	10	26		2,4	62,4	3	80	43 * 10 aule
Aula PC	1	26			150			88,75 (divisibile in 2)
Lab Artistico	1	26	lavandini		150			88,75 (divisibile in 2)
Lab scientifico	1	26			150			19
Lab Musicale	1	26			150			44
Lab. linguistico	1	26			150			
Sala polivalente	1				20	2,4-3		
Sala Docenti	1					3		44
Ufficio Preside	1				15	3		2 * 15
Mensa	1	100	lavandini, tavoli	0,7	70	3		137 (con sala riunioni)
Infermeria	1					3		
Segreteria	1					3		
Deposito	1							35,5 + 10
Archivio								56
Spogliatoio ATA uomini	1	2	larghezza > 1,6 m		15-18			
Spogliatoio ATA donne	1		larghezza > 1,6 m		15-16			
Servizi igienici docenti uomini	1							10
Servizi igienici docenti donne	1							10
Servizi igienici femmine	10	260	con antibagno, a N	1,54	400,4			19 + 19
Servizi igienici maschi	10	260	con antibagno, a N					19 + 19
Spazi di distribuzione Verde		260				2,4		
				3 volte la sup. coperta dalla scuola				

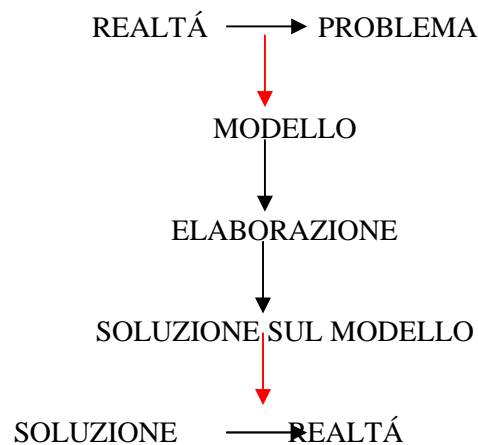
4.2 Qualificazione del progetto: attori, obiettivi, vincoli

Il progetto presenta delle problematiche complesse, che richiedono un'analisi dettagliata ed una progettazione congiunta e sono difficilmente risolvibili a meno di non affidarsi all'aiuto di un modello.

□ importante prima di proseguire definire la differenza tra complicato e complesso, poiché i due termini vengono spesso confusi, benché presentino una sostanziale differenza di significato. Il primo si riferisce ad un problema con n sottosistemi, ognuno dei quali si può spiegare e risolvere singolarmente per poi venir assemblato agli altri, pezzo per pezzo, mediante un procedimento analitico. Diversamente, il progetto è un sistema complesso e va affrontato in maniera sintetica, mettendo insieme le diverse problematiche; per questo è necessario, all'inizio della progettazione, costituire un team che agirà congiuntamente fino alla fine.

Il modello è un oggetto sul quale si possono effettuare studi ed ha l'obiettivo di semplificare la realtà; è un'astrazione, ossia estrapola le caratteristiche del problema; è un'idealizzazione, ossia ricrea il comportamento reale. A tutte queste definizioni va aggiunto l'aggettivo selettivo, nel senso che il modello è selettivo rispetto al problema che deve affrontare ed al variare di obiettivi e vincoli ottengo modelli differenti.

Si parte dalla realtà che ha un problema e si deve tornare alla realtà con una soluzione, come esemplificato dallo schema seguente:



Le frecce rosse evidenziano i passaggi propri dell'ingegneria. Quando il problema viene rimandato alla realtà si devono reintrodurre le variabili che erano state tolte per rendere possibile la trasposizione. Il modello ha la funzione di collegare le soluzioni alle variabili rilevanti.

OBIETTIVO DEL MODELLO: $E = f(V_R)$

- > IDENTIFICARE E
- > IDENTIFICARE V_R
- > TROVARE f

I problemi da risolvere sono gli effetti (E), che vanno identificati insieme alle variabili rilevanti (V_R) al fine di trovare la funzione (f).

Le variabili possono essere esogene/ ambientali o decisionali; le prime non dipendono dai soggetti coinvolti, a differenza delle seconde che rappresentano le decisioni. Esistono anche le variabili endogene che dipendono dal modello, ma comunque rientrano o nella tipologia decisionale o in quella ambientale. L'elaborazione del modello si conclude quando sono presenti solo variabili decisionali o ambientali.

PROBLEMA A MOLTI OBIETTIVI: $E = f(D;A)$ $E = \sum E_i$

Per risolverlo si possono individuare due metodi estremi:

Metodo A → Dando un peso agli obiettivi: $E = \sum \lambda_i E_i$

Metodo B → Privilegiando un obiettivo ed imponendo gli altri come vincoli:

opt $E_1 \longrightarrow$ s.t. $E_i > E_i$

Il problema è sempre multiobiettivo perché le variabili ambientali (A) sono sempre soggette a rischio o ad incertezza; le prime si presentano se si conosce la funzione associata di densità di probabilità o di distribuzione di probabilità; nelle variabili sotto incertezza si può conoscere il campo, ossia il valore di max e min, ma non si hanno informazioni circa la forma. Se le variabili ambientali (A) sono sotto rischio, anche gli effetti (E) sono sotto rischio e sono noti solo come funzione di densità di probabilità, per cui si deve pesare il rischio.

La concezione di progetto non comprende solo la trasposizione grafica di idee, ma fa parte di una serie di passaggi più ampia che va dall'uscita del bando o dall'attribuzione dell'incarico alla gestione dell'opera compiuta. Per questo è importante, già nelle prime fasi, distinguere se il progetto è già attribuito o da attribuire; in questo caso ci si trova nella prima situazione.

Un'altra operazione da fare subito è definire gli attori e dar loro il relativo peso in modo da poter ponderare i loro obiettivi e vincoli. L'attore principale è quello del quale si prende il punto di vista ed i suoi obiettivi sono quelli che definiscono il concept, mentre gli obiettivi degli altri attori sono dei vincoli per lui. Dato che nessun progetto è istantaneo, anche gli obiettivi dello stesso cambiano. Il tempo rappresenta sempre un vincolo, per questo rientra nella formula degli effetti.

$E(t) = f [D(t) ; A(t)]$ per $0 < t < t+T$

Un altro aspetto da non sottovalutare è il bisogno; i progetti possono creare bisogni cambiando il comportamento dell'ambiente, rendendo le variabili ambientali (A) parzialmente controllabili cambiando la percezione della generazione; maggiore è il tempo a disposizione, più è facile che ciò avvenga.

Gli attori si possono essenzialmente dividere in tre macro categorie: decisori sul progetto (committenza), clienti e fornitori.

Nella definizione degli obiettivi è necessario non dimenticare la coerenza e la razionalità e considerare sempre il terzetto "Qualità, Costi, Tempi" che garantisce la buona riuscita di un progetto; solo la committenza ha il potere di intervenire su questi macro obiettivi.

La definizione degli obiettivi è importante per la creazione di un modello, entro il quale il criterio di selezione sono obiettivi e vincoli; gli effetti (E) fanno quindi riferimento ad obiettivi e vincoli. Ribaltando il concetto, si può dire che si pongono obiettivi e vincoli diversi a seconda degli effetti che si vogliono misurare.

La schematizzazione seguente può aiutare a chiarire il procedimento che si intende adottare:

CARATTERISTICHE QUALIFICANTI UN PROGETTO COMPLESSO

- RICHIEDE L'ESPLICITAZIONE DI OBIETTIVI E VINCOLI DEL PROGETTO.
Comprende l'esame delle possibili alternative e la conseguente scelta. Una strategia può essere quella di aumentare di molto il numero di idee originarie, in modo di avere più possibilità di generare un'idea geniale; anche la riduzione del tempo può rivelarsi utile, ossia appena si sceglie un'idea la si rende operativa.
- UNICITÀ.
Più il progetto è in uno stato avanzato, più correggerlo o modificarlo diventa un'operazione costosa. La maggiore attenzione al progetto va prestata nella fase di concept.

Una parziale soluzione può essere quella di procedere lasciando aperte delle strade in modo da dare spazio a possibili modifiche in loco. Per regolare eventuali disturbi sul sistema ed incomprensioni circa il suo funzionamento, si può adottare un sistema di controllo in feedback, a patto che la correzione non presenti dei costi insostenibili e quindi sia reso necessario un sistema di controllo feedforward (alimentazione in avanti).

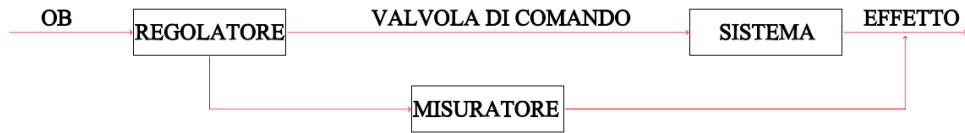


Figura 2: Sistema di controllo feedforward

Nel regolatore si deve introdurre un anticipatore di disturbi al fine di evitare vincoli e disturbi che potrebbero compromettere il progetto.

- **TEMPORANEITÀ.**

Un progetto nasce, si sviluppa e muore; per questo ci si deve porre il problema di quello che accadrà una volta finita la sua vita utile. Va prestata attenzione anche al momento della nascita per poter gestire al meglio le risorse, alcune delle quali vanno procurate anche all'esterno al fine di riunire competenze diverse.

- **COMPLESSITÀ.**

I legami sono tra loro dipendenti, vi è complessità di collegamenti tra obiettivi, vincoli e competenze disciplinari. Qui il problema è dato dal cervello umano, che tende a lavorare per fasi e che quindi predilige la risoluzione analitica; lo sforzo da fare è convertire il più possibile il progetto da complesso a complicato, dividendolo in n sottosistemi e semplificando le connessioni. Globalmente, il processo sarà sempre complesso, ma nell'insieme risulterà meno complesso.

In questo concetto di complessità rientra anche il sistema di deleghe e responsabilità, che va definito a priori nei dettagli, onde evitare che una parte di lavoro e di energie vengano assorbite dalla ricerca di alibi e responsabilità.

Di seguito sono schematizzati in tabelle gli obiettivi del progetto, gli attori partecipanti ed i vincoli. In questa situazione l'attore principale è il progettista. Questa figura è il decisore principale sul progetto e ha il dovere di far propri gli obiettivi di tutti gli altri attori, interpretarli e rielaborarli per la definizione del concept progettuale. Ogni attore ha degli obiettivi in relazione al ruolo che ricopre all'interno del progetto: gli obiettivi dell'utenza sono molto diversi rispetto a quelli della committenza, delle imprese edili o dei regolatori. I vincoli principali per ogni attore sono espressi sostanzialmente in termini di qualità, tempi e costi.

Tabella 3: Attori

ATTORI	
Attore principale	ING S.r.l. - Progettista
Committente	Val Cavallina Servizi S.r.l.
Clienti	Amministrazione pubblica
	Cittadini privati
Fornitori	A.R.P.A., privati, archivi
	Politecnico di Milano, Dipartimento BEST
	I.E.B: Banca Europea degli Investimenti
	Imprese Edili
	Fornitori di materiali
Regolatori	Unione Europea
	Normativa Italiana
	Normative Locali
Ambiente Esterno	

Si riporta in allegato la tabella riassuntiva con la definizione di attori, obiettivi e vincoli.

Vedi Allegato 1: Attori, Obiettivi, Vincoli

Si definiscono due diverse tipologie di variabili: rilevanti e irrilevanti. Gli obiettivi devono essere una funzione delle sole variabili rilevanti:

$$O = f(V_R) = f(D; A)$$

Si devono qualificare le variabili rilevanti per arrivare ad un modello che comprenda solo variabili di decisione ed ambientali o esogene. Le variabili esogene vanno previste, mentre per individuare le variabili decisionali bisogna generare alternative, che implicano la scelta; tempi e costi sono le variabili incombenti che, ad un dato momento, obbligano al mantenimento del modello, nonostante questo potrebbe venir migliorato.

L'obiettivo primario è quello generato dall'attore principale, mentre gli altri possono avere natura molto differente tra loro; alcuni sono sottobiettivo, altri obiettivi laterali.

I sottobiettivo sono obiettivi gerarchicamente subordinati, secondo lo schema seguente:

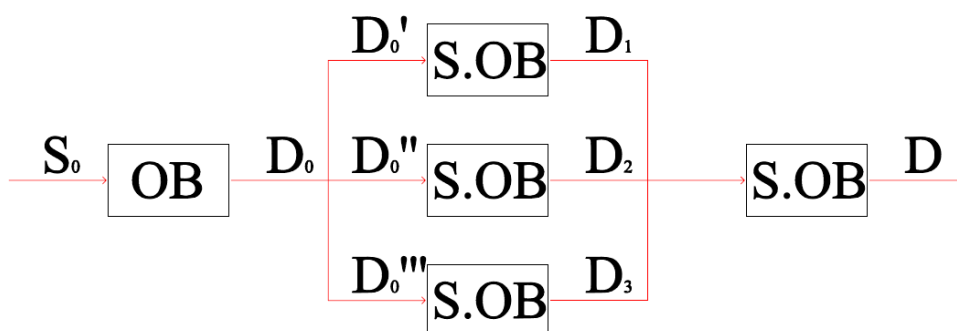


Figura 3: Gerarchia obiettivi

S_0 = specifiche iniziali

D_0' = specifiche

D = decisione finale

Si deve verificare che i singoli sistemi portino al raggiungimento dell'obiettivo primario, senza contrasti. Ogni qualvolta si divide un sistema in sottosistemi si pone il problema di della definizione di autonomia, deleghe e responsabilità.

Con gli obiettivi laterali si può operare in forma sequenziale: l'obiettivo principale viene affrontato subito e diventa un vincolo per gli altri obiettivi; per questo nella definizione del concept devono rientrare anche gli obiettivi laterali e si devono fare delle verifiche di compatibilità tra tutte le competenze coinvolte.

Tabella 4: Obiettivo principale e obiettivi laterali

OBIETTIVO PRINCIPALE	DECLINAZIONE OBIETTIVO PRINCIPALE	OBIETTIVI LATERALI
Ottenimento finanziamento data l'approvazione del SEAP	Controllo emissioni e consumi	Qualità estetica
		Visibilità
		Integrazione nel contesto
	Promozione di un nuovo stile di vita	Accessibilità al sito
		Fruibilità da parte di tutti
		Funzionalità
	Tipologia Rappresentativa	Comfort d'utilizzo
		Budget limitato
		Modularità
		Flessibilità

Il comportamento degli stakeholders è un dato esogeno; in molti casi i progettisti lo possono influenzare per raggiungere un obiettivo migliore, a vantaggio del progetto.

Per far ciò gli attori principali devono sapere vendere il loro progetto, ossia evidenziare i punti di forza generando il maggior numero di alternative possibili. L'ultima fase è la definizione delle attività di progetto che sono raccolte nella schematizzazione seguente dove si considerano i cinque punti fondamentali del progetto:

- ARCHITETTURA
- IMPIANTISTICA
- MANUTENZIONE
- SPAZI ESTERNI
- COSTRUZIONE

Vedi allegato 5: Attività di progetto

4.3 Definizione del concept progettuale

Partendo dagli obiettivi e dalle alternative elencate si procede estrapolando il concept di progetto; il concept è il concepimento del progetto in cui si delineano gli elementi di forma e le caratteristiche complessive. Ciò che emerge da questo concept ha carattere vincolante verso tutte le fasi successive della progettazione.

In un progetto complesso come quello trattato, in cui i sistemi sono fortemente interagenti, il concept è unico e definisce tutti i sottoinsiemi. Ogni sottosistema è caratterizzato da obiettivi e vincoli e da diverse specifiche. Tutti i sottosistemi devono confluire in un unico concept, senza entrare in conflitto tra loro.

Questo sistema richiede la formazione di un team di lavoro, nel quale siano presenti tutte le competenze necessarie per una buona progettazione al fine di formare un gioco di squadra.

Una procedura ottimale richiederebbe anche la definizione dei gradi di libertà, da definire nella costruzione e che non influiscano sul concept, operando separatamente dopo che si sono definite delle regole.

In questo caso il concept è la progettazione di un edificio manifesto. Per essere tale, l'edificio deve possedere tre requisiti fondamentali: essere un edificio zero carbon con il controllo di emissioni e consumi; l'edificio deve essere esempio concreto di un nuovo stile di vita, dove il rispetto dell'ambiente come patrimonio comune da salvaguardare si il principio fondante; l'edificio deve essere una tipologia rappresentativa, un modello da seguire per le costruzioni simili. Fondamentale per l'ottenimento degli obiettivi è il connubio tra tecnologie innovative, il rispetto dell'ambiente e la diffusione di questa cultura tra la popolazione.

Tabella 5: Definizione Concept

CONCEPT DI PROGETTO	EDIFICIO MANIFESTO		
EDIFICIO ZERO CARBON	Controllo energia ed emissioni	di produzione	controllo della filiera produttiva
		di costruzione	tecniche costruttive / cantiere trasporto
	di gestione		vita utile
			manutenzione smaltimento / dismissione
PROMOZIONE DI UN NUOVO STILE DI VITA	Diminuzione degli sprechi		
	Riduzione dei consumi		
TIPOLOGIA RAPPRESENTATIVA	Edificio come modello per le costruzioni simili		

Sulla base di quanto emerso nella fase di concept si effettuano alcune considerazioni progettuali, dalle quali è emerso lo schema funzionale sotto riportato, che delinea i collegamenti tra le varie funzioni:

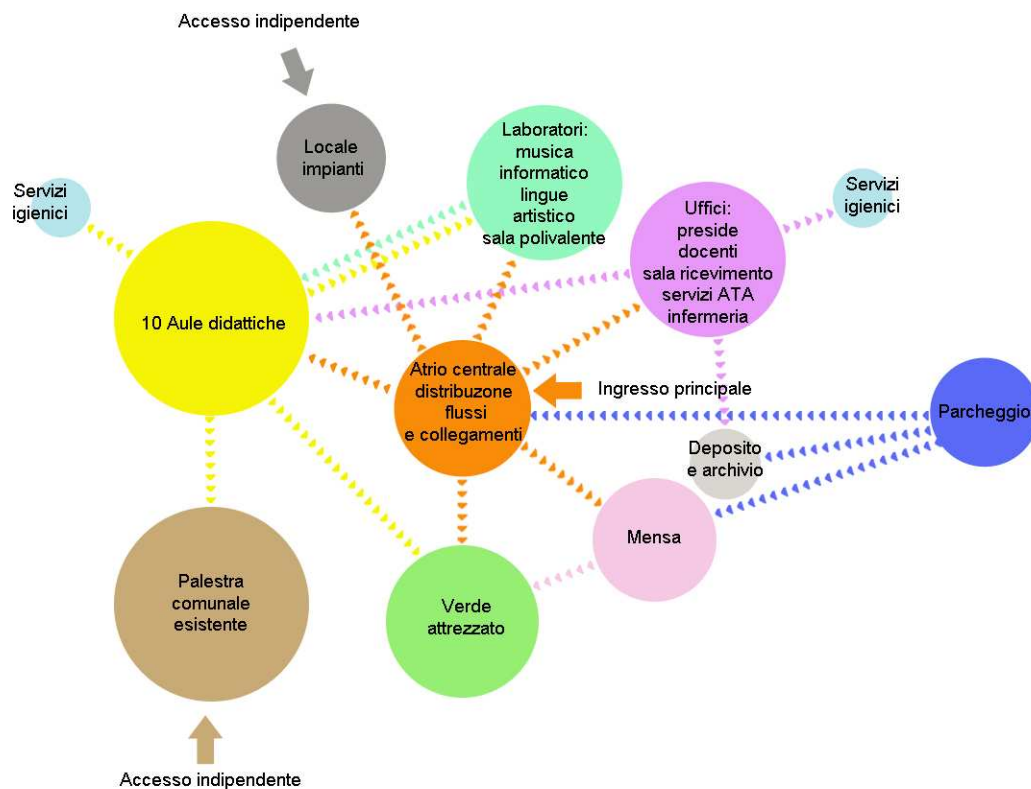


Figura 4: Schema funzionale

Partendo da questo schema e dal concept si inizia con la progettazione architettonica; le scelte effettuate sono state guidate dal percorso precedentemente descritto e puntano a considerare le alternative migliori che portino a massimizzare la funzione di partenza, ovvero all'ottimizzazione dei risultati.

Di seguito sono elencati i punti fermi da cui partire nella definizione delle forme e dei volumi:

- Ingresso da via Padre Paolo Belotti
- Collegamento diretto con la palestra comunale
- Sfruttamento della morfologia del terreno
- Orientamento il più possibile in direzione Nord-Sud

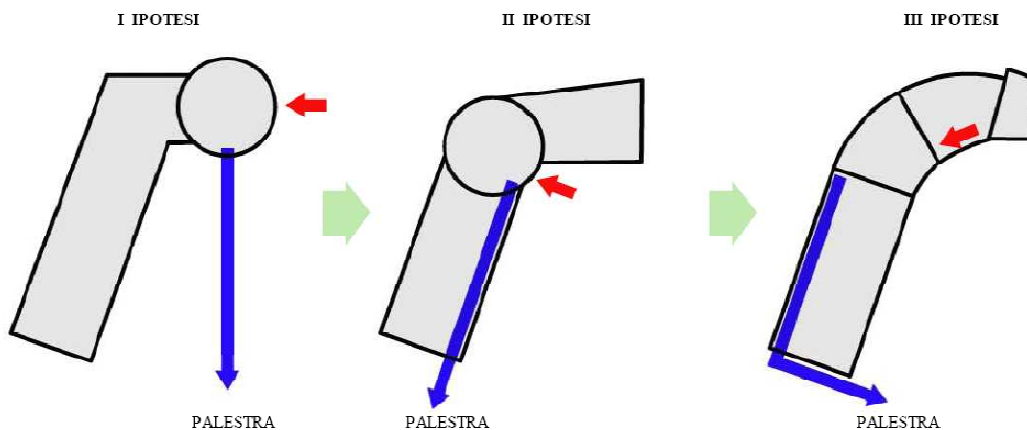


Figura 5: Prime ipotesi progettuali

Nella prima ipotesi progettuale veniva proposto un nucleo connotante sul fronte strada con funzione di ingresso e atrio di smistamento, subito dopo erano previsti i servizi docenti e infine le aule e i laboratori disposti su due piani. Per la mensa era previsto un elemento separato dal complesso e immerso nel parco. Il collegamento con la palestra veniva risolto con una passerella in quota adeguatamente riscaldata, tuttavia questa soluzione risultava energeticamente dispendiosa e la distanza che gli alunni dovevano percorrere era troppo elevata. Inoltre l'atrio in una posizione non centrale non consentiva di avere un buon controllo dei flussi all'interno della scuola.

Nella seconda ipotesi l'elemento di ingresso e smistamento diventa centrale, la zona nord è adibita a spazi docenti al piano terra e laboratori al piano primo, mentre la zona sud contiene le aule dislocate su due livelli. In questa soluzione le aule si affacciano ad un corridoio sul lato est che funge da collegamento con la palestra. In questo modo però le aule erano private di una vista verso l'esterno affacciandosi appunto su un corridoio ed essendo parzialmente interrato dall'altro. Inoltre l'elemento di connotazione allontanandosi dalla strada diviene meno visibile.

Nella terza ipotesi vengono raffinati alcuni elementi: la forma è più sinuosa e segue l'andamento delle curve di livello, a differenza delle prime due ipotesi. Resta fissa la distinzione tra aule e zone per i docenti e l'ingresso con i collegamenti è sempre in posizione centrale. Diversamente dalla seconda ipotesi il corridoio per l'accesso alle aule si sposta a nord e sfalsando i due livelli si riesce ad ottenere la doppia altezza. Lo spazio per la mensa si accorpa al complesso al piano seminterrato, sotto il corpo centrale. Inoltre si prevede di avere una sala polivalente sul fronte strada che funga da elemento connotante, utilizzando forme e materiali diversi dal resto del complesso.

4.4 Compatibilità normativa

Il passo successivo nell'iter progettuale è stata la verifica di compatibilità con la normativa e il dimensionamento corretto degli spazi. Si riportano le indicazioni fondamentali desunte dal Decreto Ministeriale 18/12/1975.

- *Localizzazione: la scuola elementare si riferisce ad un ambito residenziale, che, nella normalità dei casi, consente di raggiungerla a piedi. Quando la scuola è raggiungibile a piedi, il percorso casa-scuola deve essere agevole ed effettuabile nelle condizioni di massima sicurezza e, possibilmente senza attraversamenti di linee di traffico.*
- *Distanza massima da percorrere a piedi 500 m in 15 minuti*
- *Ampiezza minima per 10 classi pari a 5670 m², con 22,71 m² per alunno.*

- *L'area non coperta dagli edifici deve essere congruamente alberata, sistemata a verde, e attrezzata per consentire un permanente svolgimento, anche all'aperto, delle attività educative e ginnico-sportive.*
 - *Il rapporto tra l'area dei parcheggi e il volume dell'edificio deve essere non inferiore ad 1 m² su ogni 20 m³ di costruzione.*
 - *L'edificio deve essere progettato in modo che gli allievi possano agevolmente usufruire, attraverso gli spazi per la distribuzione orizzontale e verticale, di tutti gli ambienti della scuola, nelle loro interazioni e articolazioni ed, inoltre, raggiungere le zone all'aperto.*
 - *Le attività didattiche si possono svolgere su uno o due piani.*
 - *Per la scuola elementare, dove attualmente le unità pedagogiche sono raggruppate in due cicli, il primo comprendente due classi (prima e seconda) ed il secondo tre (terza, quarta e quinta), e dove la maggior parte delle attività si svolge nell'aula gli spazi debbono avere le seguenti caratteristiche:*
 - i) debbono essere idonei allo svolgimento delle diverse attività ed adeguarsi alle possibilità di variazioni degli arredi e delle attrezzature;*
 - ii) può essere prevista una relazione diretta ed una continuità spaziale tra unità dello stesso ciclo, anche mediante pareti mobili o porte scorrevoli, e attraverso lo spazio da destinarsi ad attività interciclo;*
 - iii) il maggior numero di aule, e, comunque, in quantità tale da comprendere almeno il primo ciclo, deve essere a diretto contatto con lo spazio all'aperto, nel quale si svolgono le relative attività didattiche e ricreative;*
 - iv) gli spazi debbono essere tra loro in organica relazione, sia nell'ambito dell'intero ciclo, che con gli spazi di disimpegno e con lo spazio comune per le attività di interciclo;*
 - v) lo spazio riservato alle unità pedagogiche costituenti i cicli e quello dei disimpegni, debbono essere in organica e stretta relazione con gli spazi comuni dell'intera scuola, in modo visivo e spaziale e tale da eliminare al massimo disimpegni a corridoio.*
 - *Necessità di spazi relativi all'insegnamento di attività specializzate, quali attività scientifiche, tecniche ed artistiche.*
 - *Gli spazi per la comunicazione e l'informazione non assumono carattere specializzato, ma si configurano: in uno spazio per le attività collettive di vario tipo, quali, ginnastica ritmica, musica corale, attività ludiche in genere, ecc. e deve, pertanto, essere flessibile per adattarsi a tali esigenze, ed essere collegato, anche visivamente, con il resto della scuola, in modo da poter essere usato insieme ad altri spazi più specificamente didattici; e in un ambiente attrezzato a biblioteca, riservato agli insegnanti.*
 - *La mensa dovrà svolgersi in uno spazio dimensionato in funzione del numero dei commensali, calcolato tenendo presente che i pasti potranno essere consumati in più turni, convenientemente compresi nel tempo disponibile e che la sua dimensione, compresi i relativi servizi, non dovrà superare i 375 m².*
 - *A servizio dello spazio per la mensa si deve prevedere:*
 - i) un locale cucina di dimensioni e forma tale da permettere lo svolgimento in modo razionale delle funzioni cui è destinata (preparazione, cottura, ecc.) e di poter accogliere le attrezzature necessarie all'uso;*
 - ii) una dispensa per la conservazione delle derrate anche in frigorifero, possibilmente con accesso proprio dall'interno;*
 - iii) un'anticucina e un locale per lavaggio delle stoviglie;*
 - iv) uno spogliatoio, doccia e servizi igienici per il personale addetto, separati con idonei disimpegni dai locali precedenti;*
 - v) uno spazio per la pulizia degli allievi, corredato di lavabi.*
- Le amministrazioni competenti potranno comunque prevedere un servizio centralizzato per la preparazione dei cibi ed in tal caso i locali di cui ai punti i), ii), e iv) potranno essere in parte o totalmente eliminati, mentre il locale di cui al punto ii) dovrà avere un accesso diretto dall'esterno.*

- La distribuzione verticale in edifici a più piani dovrà essere assicurata da almeno una scala normale e da una scala di sicurezza, posta all'esterno dell'edificio. Ai fini del flusso degli alunni, le scale devono:

- i) essere in numero tale da consentire che ciascuna scala, esclusa quella di sicurezza, serva di regola a non più di 10 aule per ogni piano al di sopra del piano terreno;
- ii) avere la larghezza della rampa pari a 0,5 m per ogni allievo che ne usufruisce e comunque non inferiore a 1,20 m. e non superiore a 2 m.;
- iii) avere i ripiani di larghezza pari a circa una volta e un quarto quella delle rampe medesime;
- iv) avere i gradini di forma rettangolare di altezza non superiore a 16 cm. e di pedata non inferiore a 30 cm.;
- v) essere previste con ogni possibile accorgimento al fine di evitare incidenti.

- Servizi igienico-sanitari. Essi debbono avere le seguenti caratteristiche: il numero di vasi per gli alunni dovrà essere di 3 per ogni sezione; le latrine debbono: essere separate per sesso, salvo che per la scuola materna; essere protette dai raggi diretti del sole, specie nelle regioni più calde; avere le porte apribili verso l'esterno della latrina, sollevate dal pavimento e munite di chiusura dall'interno, salvo che per la scuola materna.

Tabella 6: Compatibilità normativa

Descrizione attività	m ² /alunno	m ²	m ² effettivi
Attività didattiche:			
attività normali	1,8	468	500
attività interciclo	0,64	166,4	200
Indice di superficie totale riferito alle attività didattiche	2,57	668,2	700
Attività collettive:			
attività integrative e parascolastiche	0,4	104	275
mensa e relativi servizi (con doppio turno di refezione)	0,7	182	245
Attività complementari:			
biblioteca insegnanti	0,13	1,82	25
Connettivo e servizi igienici	1,595	41,47	ca 300
Spazi per la direzione didattica (se richiesti)		100	/

4.5 Coerenza del progetto con gli obiettivi

Si riportano di seguito delle tabelle riassuntive per verificare se gli obiettivi iniziali sono stati raggiunti e per avere un riscontro effettivo all'interno del progetto. L'iter progettuale è infatti un continuo controllo e una continua verifica, una continua rivisitazione dei ciò che è stato fatto.

Tabella 7: Coerenza progetto-obiettivi

FUNZIONALITA'			
	Spazi	Da Normativa	Effettivi
Dimensionamento corretto degli spazi	10 aule con 26 bambini max per aula	46,8 m ² per aula	50 mq per aula con serra bioclimatica di 7,5 mq
	3 Laboratori	41,6 m ² per aula	Pc-Lingue 60 mq; Artistico 60 mq; Sala Polivalente 80 mq
	Bagni e connettivi	400 m ²	Sei unità di servizi igienici da 13 mq
	Mensa	70 m ²	Spazio mensa 200 mq con servizi logistici annessi
	Spogliatoi personale ata	15 m ²	Spogliatoi, servizi, ripostiglio 25 mq
	Aula docenti e servizi di segreteria	15 m ²	Sala docenti 25 mq e Segreteria 9,5 mq
Comfort di utilizzo	Uso luce naturale	Ampie vetrate a Sud ed Est	
		Lucernari in copertura	
		Corridoio e atrio centrale a doppia altezza	
	Affollamento aule	Minimo 20 alunni, Massimo 26 alunni	
	Servizi accessori	Armadi nel corridoio per giacche alunni	
		Appendiabiti per docenti nella sala docenti	
		Visibilità della lavagna e dell'insegnante	
		Armadi nelle aule	
Sottobanchi			
Banchi, sedie ed attrezzature proporzionali all'altezza dei bambini			
Sicurezza	Controlli	telecamere	
		personale ata	
		recinzione	
		visibilità degli accessi	
	Superfici	superfici a finitura liscia	
		spigoli protetti	
		pavimentazioni antisdrucciolo	
	Antincendio	porte antipanico	
		segnalatori di fumo	
		estintori e idranti	
		camini di fumo	
		vie di fuga e punti di raccolta	
		accessibilità ai mezzi di soccorso	
	Infermeria	lavandini	
spazio per lettino			

FUNZIONI		
Laboratori	Laboratorio artistico	tavoli grandi
		lavandini
		spazi deposito
		predisposizione impiantistica per attività didattiche (forno, tornio,...)
	Laboratorio scientifico	grandi luci
		tavoli grandi
		lavandini
	Laboratorio computer/linguistico	spazi deposito
		pavimento sopraelevato per passaggio cavi
	Sala polivalente/musicale	predisposizione impiantistica
		visibilità
		predisposizione impiantistica
spazi deposito		
Mensa	Refettorio	isolamento acustico
		grandi luci
		open space
		rapporto con l' esterno
	Spazio di gestione	possibilità di apertura nella stagione mite
		percorso breve tra lo scarico e i tavoli
		facilità di scarico
		percorsi ampi
		lavandini
		spazio deposito

ESTETICA		
Elementi connotanti e di riconoscimento	Impiantistica zero carbon	fotovoltaico a vista
		solare a vista
		camini solari
		frangisole
	Identificazione della funzione	display informativi
		insegna
		colori come gioco
		materiali come gioco
Integrazione col contesto	Forma	spazi gioco
		sfruttamento dei dislivelli
	Colori	edificio ad un piano fuori terra
Studio del colore	Preesistenze	materiali compatibili col contesto
		integrazione con la palestra
Studio del colore	Studio del colore in base alla funzione	colori caldi negli spazi ricreativi
		colori freddi nelle aule

ACCESSIBILITA'		
Veicolare	Zone di sosta	parcheggi docenti
		parcheggi genitori
		piazzola per il bus vicino all' ingresso
	Collegamenti	allargamento strada
	Mezzi di soccorso	ingresso facilitato ai mezzi di soccorso
Ciclopedonale	Zone di sosta	rastrelliere
	Collegamenti	piste ciclabili
		pedibus
Disabili	Zone di sosta	parcheggi
	Zone di transito	rampe con pendenza <8%
		larghezza dei percorsi >1,2 m
Organizzazione dei flussi	Distributivi interni	organizzazione a cellula (nucleo centrale di smistamento e funzioni collegate)
		larghezza corridoi
		nodi di comunicazione a doppia altezza
		spazi di aggregazione
		collegamenti con le altre funzioni coperti e caldi

Conclusioni

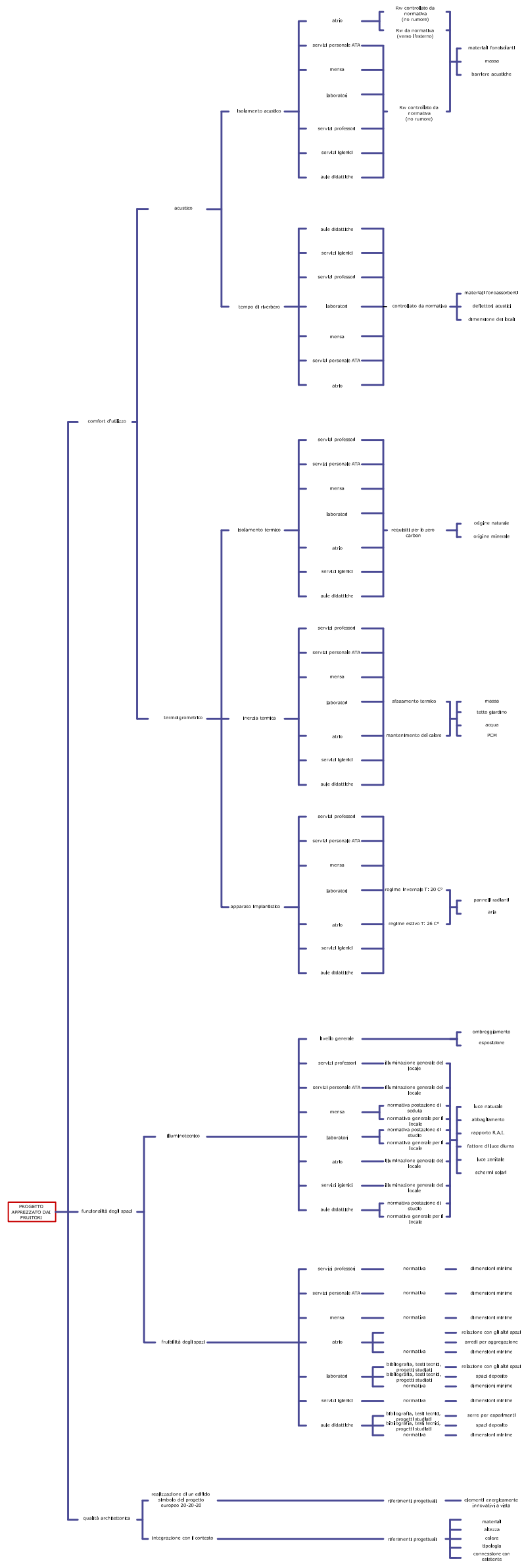
La definizione e l'esplicitazione chiara di attori, obiettivi e vincoli ha permesso di comprendere a pieno il ruolo del progettista come decisore ultimo sul progetto e rappresentante di tutti gli altri attori. La definizione del concept progettuale deve guidare nella scelta tra le possibili alternative. Ogni scenario ipotizzato deve essere continuamente rivisto in funzione dell'obiettivo principale di edificio manifesto. Solo in questo modo ogni scelta progettuale è giustificata. Nella parte finale sono riportate delle tabelle con la rispondenza tra gli obiettivi posti e le scelte progettuali effettuate. Per ogni sistema si individuano le variabili fondamentali che vengono analizzate e che generano diverse alternative fino alla scelta finale.

Questo processo è servito come guida durante la progettazione per avere il pieno controllo di tutte le variabili e facilitare il coordinamento tra i sottosistemi.

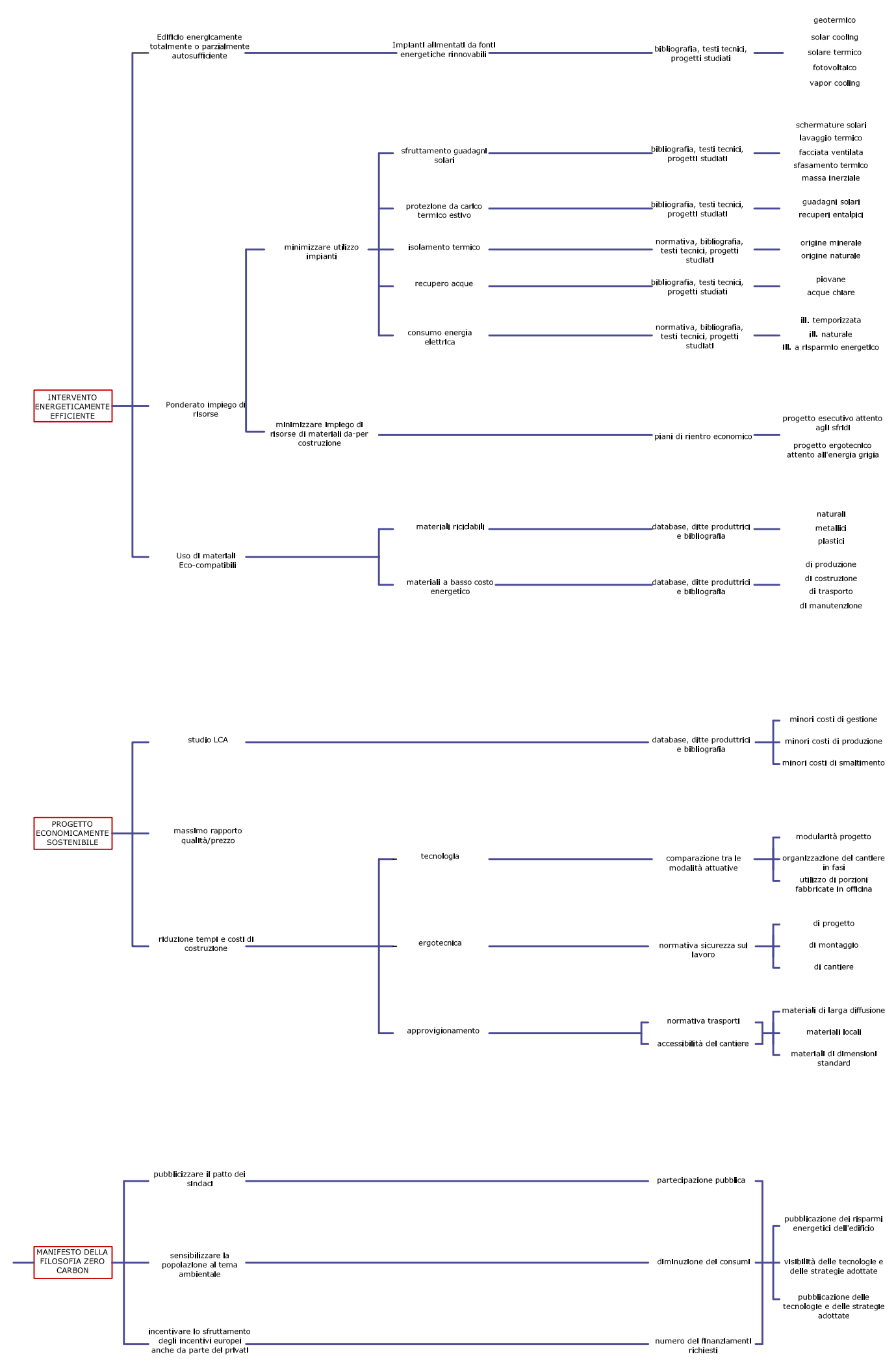
ATTORI	OBIETTIVI	VINCOLI
Ing S.r.l. / progettisti	Redazione del S.E.A.P. (Piano d' Azione)	Tutti gli obiettivi degli altri attori
ValCavallina Servizi S.r.l.	Far approvare il S.E.A.P. dall' U.E.	Tempi: 1 anno per la redazione del progetto e 2 anni per la realizzazione
	Ottenere i finanziamenti dalla B.E.I.	Costo: tale da essere coperto dai fondi della B.E.I.
	Essere un ente rappresentativo e promotore	Qualità: intervento intelligente
		Definizione dei settori su cui intervenire con obiettivi UE 202020
Amministrazioni pubbliche	Realizzazione di interventi che rispondano alle esigenze	
	Benessere e salute dei cittadini	
	Riduzione dei costi di gestione	
	Produzione di energia pulita	
	Ritorno d' immagine	
	Evoluzione energetica nel tempo	
Cittadini privati	Integrazione nel territorio	
	Realizzazione di interventi che rispondano alle esigenze	
	Abbattimento consumi e costi di gestione	
	Benessere e comfort (termoigrometrico, acustico, illuminotecnico...)	
	Evoluzione energetica nel tempo	
A.R.P.A., privati, archivi	Fornire dati	Riferiti al 1990
Politecnico di Milano	Redigere analisi emissioni e consumi	Tempistiche da contratto: 1 anno dall'approvazione del SEAP
	Fornire consulenza	Tempistiche da contratto: 1 anno dall'approvazione del SEAP
Tecnici specializzati	Fornire consulenza specializzata	Progettazione integrata
I.E.B.	Verificare la bontà del S.E.A.P.	Fornire finanziamenti a tasso 0,6%
Imprese edili	Riduzione tempi e costi	Rispetto dei tempi di costruzione (2 anni)
	Profitto	Rispetto dei costi di costruzione
	Ottimizzazione delle risorse	Sicurezza sui luoghi di lavoro
	Ritorno d' immagine	
Fornitori di materiali	Profitto	Rispetto dei tempi di fornitura
	Ottimizzazione delle risorse	Rispetti della qualità dei materiali richiesti (sostenibilità dei materiali, conoscenza della filiera produttiva)
U.E.	Definizione parametri e metodo di compilazione delle tabelle per garantire l' uniformità	
	Riduzione del 20% delle emissioni di CO ₂	
	Trasparenza dell' informazione	
	Coinvolgimento della popolazione	
Normativa italiana	Tutela degli interessi della comunità	
Normative locali	Tutela degli interessi della comunità	

OBIETTIVO PRINCIPALE	I LIVELLO S.O.	II LIVELLO S.O.	III LIVELLO S.O.
Ottenimento finanziamento	Progetto apprezzato dai fruitori	Comfort d'utilizzo	Acustico
			Termoigrometrico
		Funzionalità degli spazi	Illuminotecnica
			Fruibilità degli spazi
		Qualità architettonica	Edificio simbolo UE 2020/20
			Integrazione con il contesto
	Intervento energeticamente efficiente	Edificio energeticamente autosufficiente	
		Ponderato impiego di risorse	Minimizzare l'utilizzo degli impianti
		Uso di materiali eco-compatibili	Minimizzare impiego di materiali da/per costruzione
	Progetto economicamente sostenibile	Massimo rapporto qualità-prezzo	
		Riduzione tempi e costi di costruzione	
	Manifesto della filosofia zero carbon	Pubblicizzare il patto dei sindaci	
		Sensibilizzare la popolazione alla tematica ambientale	
Sfruttamento degli incentivi europei anche da parte di privati			

SOTTO-OBIETTIVI I LIVELLO SOTTO-OBIETTIVI II LIVELLO SOTTO-OBIETTIVI III LIVELLO CLASSI DI ALTERNATIVE FUNZIONI INDICATORI ALTERNATIVE



SOTTO-OBIETTIVI I LIVELLO	SOTTO-OBIETTIVI II LIVELLO	SOTTO-OBIETTIVI III LIVELLO	CLASSI DI ALTERNATIVE	FUNZIONI	INDICATORI	ALTERNATIVE
---------------------------	----------------------------	-----------------------------	-----------------------	----------	------------	-------------



ATTIVITÀ DI PROGETTO: SCUOLA ELEMENTARE			VINCOLI						
ARCHITETTURA	FUNZIONALITÀ	dimensionamento corretto degli spazi	10 aule con 26 bambini max per aula 3 laboratori bagno e compositi mensa spogliatoi personale aia aula docenti e servizi di segreteria	46,8 m ² per aula 41,6 m ² per aula 800 m ² 70 m ² 15 m ² 15 m ²	D.M. 18-12-1975				
		uso luce naturale	laborazione aule lucernari ampie superfici finestrate tubi solari aperture a nord	laborazione aule lucernari ampie superfici finestrate tubi solari aperture a nord	D.M. 18-12-1975				
		illuminamento adeguato (min 90 lux su tavolo)	aperture a nord tubi solari illuminazione con led	aperture a nord tubi solari illuminazione con led	D.M. 18-12-1975				
		qualità dell'aria (U.R.40%; ricambi d'aria 1,5 m ³ /h per aula)	ventilazione naturale ventilazione meccanica sistema domotico di controllo e gestione camera solari di ventilazione lana di roccia	ventilazione naturale ventilazione meccanica sistema domotico di controllo e gestione camera solari di ventilazione lana di roccia	D.M. 18-12-1975				
		isolamento termico (U=0,33 W/m ² K)	lana di vetro isolazione carapa facciata ventilata	lana di vetro isolazione carapa facciata ventilata	D.M. 18-12-1975				
		comfort d'utilizzo	PCM isolanti di derivazione antropizzata strati di frizione massa inerte lana di roccia materassi anticalpestio	PCM isolanti di derivazione antropizzata strati di frizione massa inerte lana di roccia materassi anticalpestio	D.M. 18-12-1975				
		isolamento acustico (10 dB di divori interni; 0 dB calpestio)	controsoffitto strati in sovrapposizione carapa soffitto	controsoffitto strati in sovrapposizione carapa soffitto	D.M. 18-12-1975				
		affollamento aule	max 26 alunni	max 26 alunni	D.M. 18-12-1975				
		servizi accessori	flexibilità degli spazi armadi nel corridoio per giacche stinca spogliatoi per docenti nelle sale docenti stabilità della lavagna e dell'insegnante armadi nelle aule contenitori banche, sedile ed attrezzature proporzionali all'altezza dei bambini	flexibilità degli spazi armadi nel corridoio per giacche stinca spogliatoi per docenti nelle sale docenti stabilità della lavagna e dell'insegnante armadi nelle aule contenitori banche, sedile ed attrezzature proporzionali all'altezza dei bambini					
		controlli	telecamere percezione aia tecniche	telecamere percezione aia tecniche					
	superfici	stabilità degli accessi superficie a finitura liscia spigoli protetti	stabilità degli accessi superficie a finitura liscia spigoli protetti						
	antincendio	rivestimenti antiridacchio vece antismog regolatori di fumo estintori e idranti camini di fumo vie di fuga e punti di raccolta accessibilità ai mezzi di soccorso	rivestimenti antiridacchio vece antismog regolatori di fumo estintori e idranti camini di fumo vie di fuga e punti di raccolta accessibilità ai mezzi di soccorso						
	infermeria	lavandini spazio per lettino	lavandini spazio per lettino						
	FUNZIONI	laboratorio artistico	lavandini spazio deposito predisposizione impiantistica per attività didattiche (forno, termici...)	lavandini spazio deposito predisposizione impiantistica per attività didattiche (forno, termici...)					
		laboratorio scientifico	lavandini spazio deposito rivestimento separabile per passaggio cavi predisposizione impiantistica	lavandini spazio deposito rivestimento separabile per passaggio cavi predisposizione impiantistica					
		laboratorio computer/linguistico	stabilità predisposizione impiantistica	stabilità predisposizione impiantistica					
		sala polivalente/ musicale	flexibilità degli spazi spazio deposito isolamento acustico	flexibilità degli spazi spazio deposito isolamento acustico					
		refettorio	armadi luci spazio spazio appoggio con l'edemio dimensionamento in funzione dei flussi possibilità di apertura nella stagione invernale estate il passaggio di coltri incasso bancha tra lo scarico e i tavoli facilità di scarico servizi per il personale preziosa attrezzatura per la ristorazione predisposizioni impiantistiche percorsi ampi lavandini spazio deposito estate il passaggio di coltri flexibilità degli spazi	armadi luci spazio spazio appoggio con l'edemio dimensionamento in funzione dei flussi possibilità di apertura nella stagione invernale estate il passaggio di coltri incasso bancha tra lo scarico e i tavoli facilità di scarico servizi per il personale preziosa attrezzatura per la ristorazione predisposizioni impiantistiche percorsi ampi lavandini spazio deposito estate il passaggio di coltri flexibilità degli spazi					
		spazio di gestione	spazio deposito estate il passaggio di coltri flexibilità degli spazi	spazio deposito estate il passaggio di coltri flexibilità degli spazi					
		spazio di gestione	spazio deposito estate il passaggio di coltri flexibilità degli spazi	spazio deposito estate il passaggio di coltri flexibilità degli spazi					
		spazio di gestione	spazio deposito estate il passaggio di coltri flexibilità degli spazi	spazio deposito estate il passaggio di coltri flexibilità degli spazi					
		spazio di gestione	spazio deposito estate il passaggio di coltri flexibilità degli spazi	spazio deposito estate il passaggio di coltri flexibilità degli spazi					
		spazio di gestione	spazio deposito estate il passaggio di coltri flexibilità degli spazi	spazio deposito estate il passaggio di coltri flexibilità degli spazi					
	ESTETICA	elementi connotati e di riconoscimento	impiantistica - zero carbon fonti display informativi segnaletica spazio gioco materiali come gioco	impiantistica - zero carbon fonti display informativi segnaletica spazio gioco materiali come gioco					
		integrazione col contesto	forma divisione dei dislivelli edificio ad un piano fuori terra materiali compatibili col contesto integrazione con la pedana colori caldi negli spazi ricreativi colori freddi nelle aule	forma divisione dei dislivelli edificio ad un piano fuori terra materiali compatibili col contesto integrazione con la pedana colori caldi negli spazi ricreativi colori freddi nelle aule					
studio del colore		studio del colore in base alla funzione	studio del colore in base alla funzione						
organizzazione dei flussi		distributivi interni organizzazione a cellula (nucleo centrale di collegamento e funzioni collegate) larghezza corridoi nodi di comunicazione a doppia altezza spazio di organizzazione collegamenti con le altre funzioni coperti e caldi	distributivi interni organizzazione a cellula (nucleo centrale di collegamento e funzioni collegate) larghezza corridoi nodi di comunicazione a doppia altezza spazio di organizzazione collegamenti con le altre funzioni coperti e caldi						
veicolare		zone di sosta collegamenti parcheggi decenti parcheggi genitori piazza per il bus vicino all'ingresso allargamento strada creazione di viali unici chiamata strada Papa Giovanni XXIII strada interrata	zone di sosta collegamenti parcheggi decenti parcheggi genitori piazza per il bus vicino all'ingresso allargamento strada creazione di viali unici chiamata strada Papa Giovanni XXIII strada interrata						
ciclopodale		mezzi di soccorso zone di sosta collegamenti parcheggi decenti parcheggi genitori piazza per il bus vicino all'ingresso allargamento strada creazione di viali unici chiamata strada Papa Giovanni XXIII strada interrata	mezzi di soccorso zone di sosta collegamenti parcheggi decenti parcheggi genitori piazza per il bus vicino all'ingresso allargamento strada creazione di viali unici chiamata strada Papa Giovanni XXIII strada interrata						
disabili		zone di sosta collegamenti parcheggi decenti parcheggi genitori piazza per il bus vicino all'ingresso allargamento strada creazione di viali unici chiamata strada Papa Giovanni XXIII strada interrata	zone di sosta collegamenti parcheggi decenti parcheggi genitori piazza per il bus vicino all'ingresso allargamento strada creazione di viali unici chiamata strada Papa Giovanni XXIII strada interrata						
di transito		zone di sosta collegamenti parcheggi decenti parcheggi genitori piazza per il bus vicino all'ingresso allargamento strada creazione di viali unici chiamata strada Papa Giovanni XXIII strada interrata	zone di sosta collegamenti parcheggi decenti parcheggi genitori piazza per il bus vicino all'ingresso allargamento strada creazione di viali unici chiamata strada Papa Giovanni XXIII strada interrata						
IMPIANTISTICA		TECNOLOGIA	impianto fotovoltaico	impianto fotovoltaico integrato impianto fotovoltaico a terra	monocristallino (copertura/facciata) policristallino (copertura/facciata) sarevo (copertura/facciata) monocristallino policristallino				
			impianto geotermico	impianto geotermico	verticale orizzontale				
	recupero delle acque piovane		recupero delle acque piovane	per uso sanitario (wc) per uso irrigazione					
	rimo delle acque bianche		rimo delle acque bianche	per uso sanitario (wc) U.T.A.					
	sistema di climatizzazione ad aria		sistema di climatizzazione ad aria	ad aria scambiatore di calore pannelli radianti					
	domotica per il controllo e la gestione		domotica per il controllo e la gestione	apertura automatica per i ricambi d'aria schermata secondo il livello di luce automazione degli accessi e delle aperture finestrate sistema di allarme e videosorveglianza					
	MANUTENZIONE		TECNOLOGIA	costi	sostituzione gestione	elementi connessi a sopportare azioni di vandalismo elementi impiantistici rivestimenti sovrapposti intercapedini intercapedini elementi facilmente manovrabili elementi indipendenti facile accessibilità ai luoghi di manutenzione			
				durabilità	durabilità	materiali facilmente smaltibili materiali standard materiali reperibili in loco facile accessibilità ai luoghi di manutenzione intercapedini intercapedini acciaio zincato a caldo per esterni alluminio per rivestimenti esterni utilizzo del legno adeguatamente protetto tana pavimentazione esterna in pietra			
				ergonomia	controllo e gestione interventi	elementi impiantistici rivestimenti sovrapposti intercapedini intercapedini elementi facilmente manovrabili elementi indipendenti facile accessibilità ai luoghi di manutenzione			
				SPAZI ESTERNI	ACCESSIBILITÀ	veicolare	zone di sosta collegamenti mezzi di soccorso	spazio spazio appoggio con l'edemio dimensionamento in funzione dei flussi possibilità di apertura nella stagione invernale estate il passaggio di coltri incasso bancha tra lo scarico e i tavoli facilità di scarico servizi per il personale preziosa attrezzatura per la ristorazione predisposizioni impiantistiche percorsi ampi lavandini spazio deposito estate il passaggio di coltri flexibilità degli spazi	
ciclopodale		zone di sosta collegamenti parcheggi decenti parcheggi genitori piazza per il bus vicino all'ingresso allargamento strada creazione di viali unici chiamata strada Papa Giovanni XXIII strada interrata				zone di sosta collegamenti parcheggi decenti parcheggi genitori piazza per il bus vicino all'ingresso allargamento strada creazione di viali unici chiamata strada Papa Giovanni XXIII strada interrata			
di verde esterno		verde delle aule verde comune				collegamento diretto dalle aule accessibilità ai mezzi di manutenzione del verde collegamento dalla zona ricreativa accessibilità ai mezzi di manutenzione del verde			
ai disabili		zone di sosta collegamenti mezzi di soccorso				spazio spazio appoggio con l'edemio dimensionamento in funzione dei flussi possibilità di apertura nella stagione invernale estate il passaggio di coltri incasso bancha tra lo scarico e i tavoli facilità di scarico servizi per il personale preziosa attrezzatura per la ristorazione predisposizioni impiantistiche percorsi ampi lavandini spazio deposito estate il passaggio di coltri flexibilità degli spazi			
COSTRUZIONE		REALIZZABILITÀ				gioco	attrezzato	parco giochi campo da gioco area ombreggiata posizione tranquilla ed isolata zona ombreggiata sedute	
						apprendimento	spazio per lezione all'aperto orto botanico	spazio cultura spazio attrezzato	
						servizi aggiuntivi	ordine e pulizia	cedoni per la raccolta differenziata	
	cantiere		tecniche costruttive edificio zero carbon utilizzo di pannelli fotovoltaici utilizzo di pannelli fotovoltaici accessibilità dei mezzi di cantiere			tecniche costruttive edificio zero carbon utilizzo di pannelli fotovoltaici utilizzo di pannelli fotovoltaici accessibilità dei mezzi di cantiere			
	caratteristiche fisiche		sito di progetto			consolidamento del terreno morfologia del lotto	stivologico		
	COSTI		budget limitato			budget limitato	< 2 mln €	amministrazione comunale	
	TEMPI		progettazione	progettazione	1 anno	amministrazione comunale/ bando UE			
			costruzione	costruzione	2 anni	amministrazioni comunali/ bando UE			

Il progetto architettonico e tecnologico

In questo capitolo si affrontano tutte le tematiche inerenti alla progettazione dell'edificio scolastico. Si descrivono i riferimenti progettuali, le suggestioni e gli spunti provenienti da altri progetti o dal contesto stesso. Si descrive la distribuzione funzionale degli spazi, con la definizione di accessi e percorsi, lo studio dei prospetti con la giustapposizione di diversi materiali. Si passa poi dal progetto architettonico a quello tecnologico con la descrizione delle stratigrafie per l'involucro, lo studio dei diversi funzionamenti energetici nelle diverse stagioni fino ad arrivare ad approfondimenti tecnici specifici. Tra questi si ricorda lo studio illuminotecnico ottimizzando l'utilizzo di luce naturale e lo studio cromatico dove ad ogni colore si associa un significato. Infine si conclude con la parte relativa alla sicurezza antincendio, dove si esplicitano le vie di fuga, le uscite di sicurezza e la posizione dei diversi dispositivi per la sicurezza antincendio.



Figura 1: Fronte principale della scuola elementare

5.1 Studio preliminare

Dopo un'attenta indagine delle esigenze della popolazione e uno studio preliminare sul sito di progetto e sugli obiettivi della progettazione, è emerso il concept progettuale. Partendo dal principio chiave di edificio manifesto di un nuovo modo di progettare, costruire e vivere nel rispetto di quello che ci circonda, è stata effettuata una ricerca bibliografica su alcuni progetti che sono poi diventati fonte di ispirazione per la scuola elementare. I progetti di riferimento sono stati scelti per diversi motivi: tipologia edilizia, edifici per l'istruzione, esempi di architettura zero carbon, edifici con l'uso di specifici materiali edilizi o con un attento uso del colore. Si riportano di seguito delle schede con i progetti di riferimento, con le specificazioni necessarie per poterli considerare fonti di ispirazione.

PROGETTO:	Caserma dei vigili del fuoco
PROGETTISTA:	Sauerbruch Hutton
LUOGO:	Berlino, Germania
TIPOLOGIA EDILIZIA:	Edificio pubblico
SPECIFICITA':	Ampliamento di un edificio esistente di inizio '900. Utilizzo di un rivestimento in vetro colorato lucido con scandole rosse e verdi che riprendono i colori del corpo dei vigili del fuoco di Berlino. Facciata vivace in giustapposizione con i colori chiari della preesistenza.



Figura 2: Scheda 1

PROGETTO:	Low2No - Quartiere Zero Carbon
PROGETTISTA:	Sauerbruch Hutton
LUOGO:	Jatkasaari, Finlandia
TIPOLOGIA EDILIZIA:	Quartiere residenziale
SPECIFICITA':	Utilizzo di sistemi passivi e attivi bene oculati per il raggiungimento della sostenibilità energetica e ambientale: serre bioclimantiche, orientamenti, schermature, camini solari e di ventilazione, integrazione con il verde.



Figura 3: Scheda 2

PROGETTO: Quartiere BedZed
PROGETTISTA: Bill Dunster
LUOGO: Sutton, Gran Bretagna
TIPOLOGIA EDILIZIA: Quartiere residenziale
SPECIFICITA': Quartiere a zero emissioni con strategie di funzionamento energetico interessanti. Attenta progettazione dell'edificio dove sistemi attivi e passivi sono completamente integrati con ottimi risultati dal punto di vista energetico.

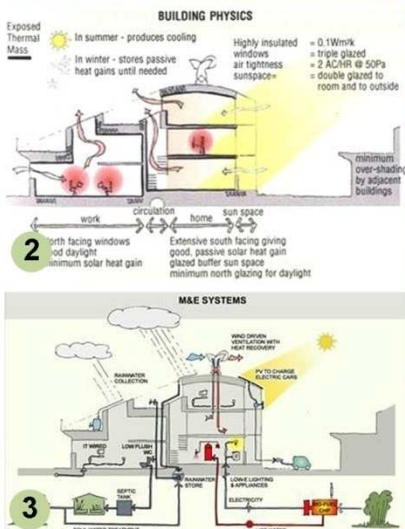


Figura 4: Scheda 3

PROGETTO:	Montessori School Fuji Kindergarten
PROGETTISTA:	Takaharu+Yui Tezuka Architects
LUOGO:	Tachikawa, Tokyo, Giappone
TIPOLOGIA EDILIZIA:	Asilo infantile
SPECIFICITA':	Corona ovale che accoglie le attività ludico-ricreative e che circonda un giardino interno. Copertura completamente praticabile come spazio di aggregazione, confronto e gioco. Alberi interni all'edificio simbolo della crescita.

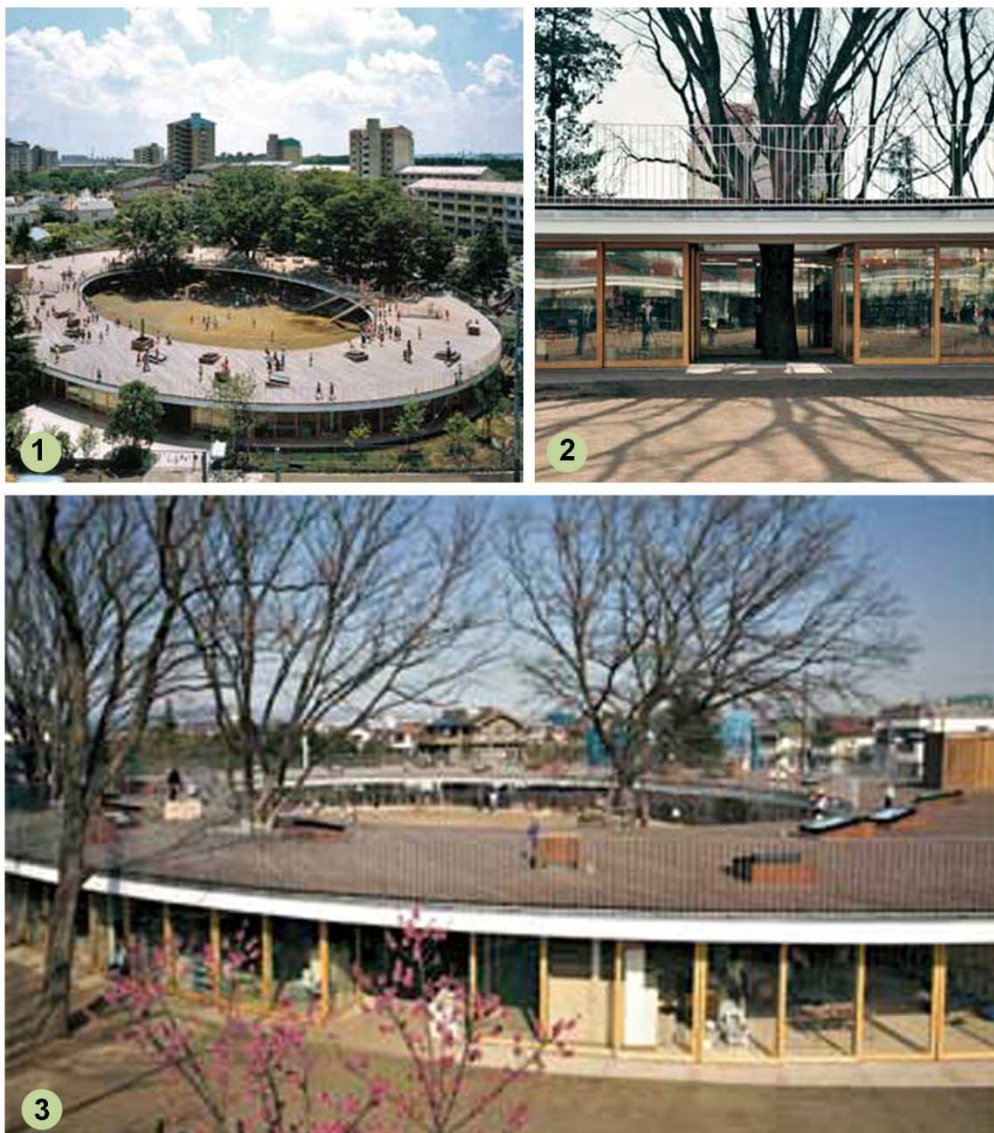


Figura 5: Scheda 4

PROGETTO:	Extension High School Seekirchen
PROGETTISTA:	Wimmer Zaic Architekten
LUOGO:	Salisburgo, Austria
TIPOLOGIA EDILIZIA:	Edificio Scolastico
SPECIFICITA':	Utilizzo del colore in facciata. Ritmo giocoso dei pilastri colorati e inclinati che danno un senso di unitarietà del porticato. Utilizzo di tende colorate per le schermature.



Figura 6: Scheda 5

PROGETTO:	Asilo nido Barbapapà
PROGETTISTA:	CCDstudio
LUOGO:	Vignola, Modena, Italia
TIPOLOGIA EDILIZIA:	Asilo nido
SPECIFICITA':	Utilizzo di tecnologie low tech con risultati interessanti. Setti in calcestruzzo a vista. Vivacità e ritmo dei vetri colorati. Rapporto diretto interno ed esterno e distribuzione interna degli spazi ben progettata.



1



2



3



4



5

Figura 7: Scheda 6

PROGETTO:	centrale termica a biomassa
PROGETTISTA:	Azienda Pubbliservizi Brunico
LUOGO:	Brunico, Italia
TIPOLOGIA EDILIZIA:	Centrale termica
SPECIFICITA':	Centrale termica che utilizza fonti di energia rinnovabile, con funzionamento a biomassa. Edificio manifesto: è attraversato dalla pista ciclabile ed è dotato di spazi di informazione sulla sostenibilità energetica e ambientale e sulle possibili tecnologie da utilizzare.

SCHEMA DI FLUSSO IMPIANTO RISCALDAMENTO

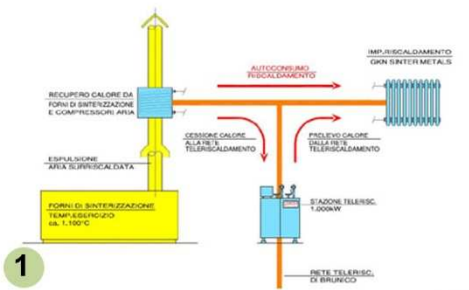


Figura 8: Scheda 7

Caratteri fondamentali dell'edificio sono quindi una distribuzione degli spazi che risponda ai criteri di funzionalità con spazi fruibili a misura di bambino. È importante la creazione di punti di riferimento e riconoscibilità degli stessi: gli spazi didattici sono sobri, trattati con colori tenui mentre gli spazi di aggregazione sono molto più vivaci. Ogni aula ha un colore di riconoscimento e il percorso per raggiungerla è contrassegnato con lo stesso colore nella pavimentazione dei connettivi.

Anche il rapporto con l'esterno è molto importante deve essere valorizzato: ogni aula ha una visione diretta sull'esterno e sul corridoio interno, così come ogni laboratorio ed ufficio.

Il rapporto con l'esterno, il colore e la luce naturale sono tratti fondamentali per un'architettura di qualità.

Poiché il progetto rientra in un piano più ampio di sostenibilità energetica e ambientale dettata dalla pianificazione del SEAP, il funzionamento dell'edificio risulta di primaria importanza. Si integrano sistemi passivi e attivi per ottenere un edificio a zero emissioni e con un consumo energetico minimo, fino alla classificazione dello stesso in classe A. Il primo accorgimento passivo è il corretto orientamento dell'edificio. La forma allungata del sito di progetto non consente di sfruttare l'esposizione ottimale in direzione Sud: la pianta dell'edificio è allungata, la parte regolare delle aule didattiche è esposta a Sud-Est, mentre la zona più sinuosa dei laboratori e uffici è esposta a Sud. Lo studio dell'esposizione e della volumetria dell'edificio si effettua per avere bilanciamento tra luci ed ombre, un corretto dimensionamento degli aggetti e delle schermature.

Un'altra strategia energetica è lo sfruttamento della ventilazione naturale per i ricambi d'aria: lo sfalsamento delle aule consente di avere spazi di connettivo a doppia altezza e l'inserimento di serre bioclimatiche sui due livelli permette di avere un camino di ventilazione per il ricambio d'aria. Tutti i sistemi passivi sono integrati con un impianto di riscaldamento a pannelli radianti e un sistema di trattamento dell'aria con recuperatore di calore.

Nei paragrafi seguenti si analizzeranno in dettaglio tutti gli aspetti dell'edificio, partendo dai distributivi interni, passando al tipo di materiali utilizzato, ai funzionamenti energetici fino alla sicurezza antincendio.

5.2 Funzioni

L'edificio scolastico si adagia sulle curve di livello del terreno e racchiude il cortile interno con aree di verde attrezzato per gli alunni. Esso si sviluppa su tre livelli con porzioni parzialmente interrata. È possibile distinguere le diverse zone che lo compongono: la zona della mensa semi interrata che si affaccia sul verde, la zona delle aule su due livelli molto regolare, la zona dei laboratori e uffici sempre su due livelli più sinuosa e la zona di raccordo tra le due che contiene tutti i collegamenti. L'edificio termina con la sala polivalente completamente aggettante sulla strada, creando così la pensilina dell'autobus. Questa è un elemento di rottura con il resto dell'edificio poiché rappresenta la funzione più pubblica dell'edificio, dove si svolgono anche attività extrascolastiche che coinvolgono la comunità.

5.2.1 Livello 0

Al piano seminterrato è presente una zona deposito e archivio, il locale impianti e la mensa con i servizi annessi. Lo spazio di deposito è pensato per contenere gli attrezzi per la manutenzione del verde e degli esterni. Lo spazio di archivio contiene i documenti cartacei relativi all'amministrazione scolastica. Questi due ambienti sono scavati nel terreno e si affacciano su un porticato che li separa dal cortile interno. Il porticato è sorretto da setti in calcestruzzo armato che scendono in corrispondenza delle serre e richiamano i colori delle aule. Il porticato costeggia l'edificio e prosegue collegandolo con la palestra comunale esistente. Il passaggio è parzialmente interrato, in questo modo è stato possibile il collegamento allo stesso livello della stessa. Inoltre in corrispondenza del collegamento si è

creato una sorta di teatro all'aperto utilizzabile come spazio didattico, per lezioni all'aperto, per recite scolastiche o come semplice area gioco durante la ricreazione.

Lo spazio mensa occupa circa 200 mq ed è progettato per un doppio turno di refezione con una capienza massima di 80 alunni. Il locale è parzialmente interrato e si affaccia con una grande vetrata sul parco della scuola in direzione Sud. Sono presenti tre portefinestre con l'uscita diretta sul cortile. La copertura della mensa è praticabile ed ha una leggera pendenza verso l'alto che culmina nello spigolo del cuneo. Al centro della mensa è presente un albero, simbolo della vita e della crescita. Il modo migliore per educare le nuove generazioni al rispetto dell'ambiente è proprio quello di avere un rapporto diretto con il verde: l'albero entra nell'edificio, ne è parte integrante e va rispettato come qualsiasi altro bene comune.

Lo spazio mensa è completamente libero da pilastri grazie all'utilizzo in copertura di un solaio a piastra in calcestruzzo armato. È presente una zona più appartata a servizio dei docenti che pranzano insieme agli alunni. I servizi annessi alla mensa sono sprovvisti di cucina, poiché i cibi vengono distribuiti direttamente all'utenza da un servizio di catering incaricato. È necessario dunque un locale di servizio per il personale con spogliatoio e bagno e un locale attrezzato con utensili necessari al servizio mensa.

Per lo scarico dei pasti è previsto un ingresso apposito con sosta temporanea dei mezzi di fronte alla mensa e lo stesso è valido per il trasporto dei rifiuti.

L'atrio con i collegamenti verticali è situato in posizione centrale per una distribuzione più efficiente dei flussi. A ridosso dell'atrio è presente il locale impianti che contiene la sottostazione dell'edificio della scuola elementare con serbatoio di accumulo per la produzione istantanea di acqua calda sanitaria e le macchine di trattamento dell'aria. Il locale impianti è parzialmente interrato e l'accesso può avvenire sia dall'interno che dall'esterno. In copertura è necessaria una griglia per l'aerazione del locale.

Vedi allegato: TAVOLA 13 – Pianta livello 0

5.2.3 Livello 1

Si possono distinguere tre zone funzionali: la zona più a Sud molto regolare e addossata al terreno che contiene cinque aule didattiche, la zona più a Nord con tutti i servizi per il personale scolastico e la zona di raccordo tra le due con l'atrio e i collegamenti verticali.

L'ingresso principale è situato lungo Via Belotti, si crea un passaggio coperto che invita ad entrare nell'edificio. Di fronte all'ingresso è situata la segreteria, in modo da essere ben visibile ed avere una posizione centrale per facilitare il controllo sui flussi di persone che frequentano la scuola e sugli alunni stessi durante i momenti di ricreazione. A sinistra della segreteria si apre un grande atrio a doppia altezza con una grande vetrata schermata da frangisole in direzione Sud-Est. Proseguendo in questa direzione si trovano le cinque aule didattiche ognuna di circa 50 mq ognuna con una serra bioclimatica, pensata come spazio per accogliere le colture degli alunni. Il corridoio a doppia altezza consente l'accesso diretto alle aule e ai bagni. Sono presenti tre blocchi con i servizi igienici, contenuti in una struttura di calcestruzzo armato a C, a ridosso del terreno, con funzione di controvento.

In fondo al corridoio è presente un'uscita di emergenza direttamente sull'esterno.

Ogni aula didattica contiene un massimo di 26 alunni, la cattedra è disposta verso Sud in modo che gli alunni abbiano la luce naturale frontale e non si facciano ombra su se stessi. Ognuna di esse è dotata di tre portefinestre scorrevoli con accesso diretto sull'esterno, dove è presente un terrazzo per i momenti di gioco. La parete divisoria tra aule a corridoio è totalmente attrezzata: è presente un armadio a muro a servizio degli alunni e un appendiabiti esterno all'aula con cassettoni sempre a servizio dell'utenza. Sempre su questa parete sono presenti due finestre con affaccio diretto sul corridoio. Le partizioni, invece, tra un'aula e la successiva sono dotate di porzioni scorrevoli e apribili per consentire lo svolgimento di attività didattiche con due classi unite. Tutti gli arredi devono essere a misura di bambino, partendo dal banco di scuola, dal lavabo fino al corrimano delle scale che deve essere doppio, uno che raggiunge 110 cm di altezza e il secondo più alto solo 80 cm.

Il nucleo centrale dell'edificio scolastico si presenta come un grande atrio centrale che ripartisce i percorsi e le funzioni permettendo un totale controllo visivo sulla struttura e sugli spazi verdi annessi. Questo spazio è a doppia altezza e può venir utilizzato anche per lo svolgimento di attività di interciclo o di ricreazione. È un ampio spazio attrezzabile con mostre temporanee per l'esposizione di materiale prodotto dagli alunni stessi. Esso contiene inoltre, tutti i collegamenti: due rampe di scale con accesso al piano inferiore e superiore e un ascensore completamente vetrato. Accanto all'ascensore si trova una colonna montante con i canali impiantistici per il trattamento dell'aria, questi sono volontariamente lasciati a vista, sono molto colorati e attraversano verticalmente tutto l'edificio, fino ad uscire dalla copertura ed essere un chiaro segno connotante di una scuola energeticamente sostenibile. Sulla destra dello spazio centrale di smistamento sono dislocati gli spazi logistici: l'ufficio del preside, spogliatoi e servizi per il personale ATA, l'infermeria, la sala docenti e la sala ricevimento parenti. Questa zona è completamente fuori terra, ha una forma sinuosa che segue l'andamento delle curve di livello. Il fronte principale si apre in direzione Sud con una grande facciata strutturale schermata con frangisole metallici. Il fronte Nord invece presenta tagli vetrati verticali molto stretti e si affaccia sul parcheggio riservato al personale scolastico. In ogni aula e in ogni ufficio è presente un elemento trasparente che permette di avere un continuo rapporto con l'esterno. la luce naturale negli ambienti è fondamentale per ottenere architetture di qualità e con elevati livelli di comfort, perciò ogni ambiente è dotato di una visione sull'esterno.

Vedi allegato: TAVOLA 14 – Pianta livello 1

5.2.4 Livello 2

La distribuzione funzionale è analoga al livello precedente: la zona delle aule didattiche è orientata in direzione Sud-Est, la zona centrale che contiene i collegamenti verticali e infine la zona più a Nord con i laboratori e la sala polivalente.

Il sistema delle aule didattiche è identico a quello del piano inferiore, l'unica differenza è lo sfalsamento delle aule di 2,50 m per la creazione di un corridoio interno a doppia altezza e del porticato esterno che porta alla palestra comunale. In corrispondenza dei servizi igienici sono presenti passerelle per l'accesso. La doppia altezza permette di avere spazi ariosi e vivaci e garantisce un rapporto visivo anche tra le aule su diversi livelli. Lucernari in copertura infine permettono la diffusione in tutta la sezione dell'edificio di luce zenitale.

La zona centrale dell'atrio forma un vero e proprio cuneo di raccordo sia in senso verticale che orizzontale, tra le diverse funzioni presenti nell'edificio.

La zona dei laboratori è costituita da tre aule che si affacciano su corridoio in posto a Sud rispetto ad esse. La parte di distributivo è aggettante rispetto al livello inferiore, per consentire di avere un porticato coperto che conduca all'ingresso principale della scuola elementare. I laboratori hanno una superficie di circa 60 mq. Partendo dall'atrio centrale, il primo è il laboratorio di musica che contiene armadi per il deposito degli strumenti, con una disposizione delle sedute ad orchestra. Il secondo è il laboratorio informatico con 26 postazioni PC e utilizzabile anche come laboratorio di lingue per ascolti ed esercitazioni. Il terzo invece è il laboratorio artistico attrezzato con grandi tavoli per lavori pratici e manuali, grandi armadi per il deposito degli strumenti di lavoro e con la predisposizione per eventuali lavabi.

L'edificio termina con la sala polivalente, un ambiente molto spazioso con una superficie di circa 150 mq. Questo ambiente rappresenta la parte più pubblica dell'edificio, è pensata per ospitare le attività di interciclo e le attività extrascolastiche, utilizzabile per recite, proiezioni di film, per incontri di formazione. È una sala utilizzabile anche dalla popolazione, dove l'amministrazione comunale può organizzare convegni aperti al pubblico.

Alla sala polivalente è demandata un'importante funzione di visibilità, deve fungere da elemento connotante e deve richiamare subito la funzione di scuola elementare. Essa rompe lo schema regolare delle aule didattiche e il ritmo scandito dai laboratori, avendo un'altezza maggiore rispetto al resto dell'edificio ed essendo totalmente a sbalzo sul marciapiede.

L'aggetto della sala consente l'allargamento del marciapiede e la creazione di una piazzola d'ingresso alla scuola dotata di pensilina dell'autobus coperta. La presenza di pilastri inclinati colorati sottolinea la continuità del marciapiede e richiama le serre che contraddistinguono le aule didattiche.

I due fronti ortogonali alla strada sono molto vetrati, per dare l'idea di un cannocchiale che mostri le attività che si svolgono all'interno. I lavori prodotti dai bambini possono essere esposti e visibili anche dall'esterno. Data la sua funzione più pubblica, si è pensato di introdurre una scala con accesso diretto alla sala, che ha anche la funzione di scala antincendio. Una partizione in acciaio microforato copre parzialmente la scala e su di essa è applicata la scritta "scuola elementare", caratteristica di tutti gli edifici pubblici di Cenate Sopra.

Vedi allegato: TAVOLA 15 – Pianta livello 2

Vedi allegato: TAVOLA 16 – Pianta coperture

Vedi allegato: TAVOLA 17 – Sezioni zona aule didattiche

Vedi allegato: TAVOLA 18 – Sezioni zona laboratori

5.3 Accessibilità

L'ingresso principale all'edificio scolastico è situato lungo Via Belotti. Il marciapiede che costeggia l'area di pertinenza della scuola, si allarga all'altezza dell'ingresso, creando un cortile coperto dall'aggetto della sala polivalente, con spazio adibito a pensilina dell'autobus. Oltrepassato il cancello, si percorre un porticato che conduce all'ingresso dell'edificio.

L'atrio centrale ha la funzione principale di smistamento dei flussi: a sinistra troviamo le aule didattiche su due livelli e a destra gli spazi uffici a livello inferiore e i laboratori al piano superiore. Il nucleo centrale collega gli spazi in direzione verticale e orizzontale, contiene un ascensore che collega i tre piani e due rampe di scale che collegano i tre livelli, giocando sulle doppie altezze. I distributivi interni sono a doppia altezza: a sinistra dell'atrio centrale, il corridoio è in posizione centrale rispetto alle aule didattiche e i servizi igienici. Nella zona dei laboratori il corridoio invece è spostato verso Sud.

Nella zona delle aule didattiche il corridoio termina con due uscite di sicurezza direttamente sull'esterno su due livelli diversi. Le aule al livello inferiore sono dotate di accesso diretto sull'esterno. Il porticato che le costeggia, prosegue delineando il collegamento con la palestra comunale esistente. La parte terminale del collegamento è parzialmente interrata per consentire un accesso diretto allo stesso livello degli spogliatoi.

È presente una scala antincendio all'aperto in corrispondenza della sala polivalente, per dare accesso diretto e indipendente alla stessa e utilizzabile come uscita d'emergenza e via di fuga. Sul retro della zona uffici è presente un parcheggio auto privato ad uso del personale scolastico, dal quale è possibile avere accesso diretto al locale impianti per esigenze di manutenzione e controllo.

All'altezza della palestra comunale è presente un accesso per l'utenza extrascolastica e un accesso veicolare a servizio della scuola elementare. Questo accesso è utilizzabile per il servizio di manutenzione del verde e il servizio mensa con l'arrivo di pasti caldi pronti direttamente da servire.

5.4 Studio dei prospetti

La scuola elementare si caratterizza per i suoi due fronti principali. Le aule didattiche si affacciano su Via Belotti e sono orientate in direzione Sud-Est, mentre il retro dell'edificio costeggia Via Costa Muratori. L'edificio si adagia sulle curve di livello del terreno: il fronte S-E si percepisce dalla strada per due piani fuori terra, mentre il retro dell'edificio per la sola parte delle aule didattiche rimane ad un solo piano fuori terra. La zona della mensa con il parco della scuola, resta ribassata e quindi protetta rispetto al livello della strada.

Nel fronte delle aule didattiche la presenza di setti colorati in calcestruzzo armato in continuità con le serre bioclimatiche scandisce il ritmo della facciata. Il prospetto è caratterizzato dalla presenza di cinque colori in ordine il viola, il giallo, il verde, l'arancione e l'azzurro. Il colore ha una duplice funzione: creare un ambiente che invogli i bambini a frequentare la scuola e allo stesso tempo per identificare ogni aula con un colore. Il prospetto è caratterizzato da elementi modulari: i serramenti e i pannelli in vetro lucido disegnano un ritmo verticale insieme alla verticalità della serra. Allo stesso tempo però la scansione orizzontale degli elementi vetrati della serra stessa insieme alla presenza di schermature con tende a rullo esterne di colore chiaro, rendono la facciata più vivace e dinamica. La scelta di schermature flessibili come le tende a rullo è stata condizionata dall'orientamento delle aule in direzione Sud-Est, è necessario garantire il corretto ombreggiamento degli ambienti in qualsiasi ora del giorno e in qualsiasi condizione che possa generare fastidi all'utenza.

A livello della mensa è presente un porticato che collega la scuola elementare alla palestra comunale esistente. Al piano terra le aule si affacciano direttamente sul parco grazie alla presenza di portefinestre scorrevoli. Si crea un piccolo spazio per la ricreazione tra una serra e l'altra, dedicato ad ogni aula. Un parapetto protegge questi spazi ed evita che la presenza dei cavi su cui scorrono le tende a rullo esterne possa causare incidenti spiacevoli. Al piano

primo invece i serramenti partono dalla quota di 110 cm rispetto al solaio di interpiano. In questo modo è possibile creare una fascia colorata con rivestimento in pannelli modulari in vetro lucido colorato. La fascia marcapiano invece si distingue dal rivestimento in lamiera grigia. La copertura è in lamiera metallica aggraffata color grigio con l'inserimento di lucernari in corrispondenza dei corridoi per l'introduzione di luce zenitale negli ambienti. L'atrio centrale a doppia altezza funge da elemento di raccordo tra la zona delle aule didattiche e dei laboratori. Il fronte prosegue con una facciata strutturale a doppia altezza che si interrompe nella parte finale per la creazione del passaggio coperto per l'ingresso principale alla scuola elementare. I montanti della facciata strutturale sono costituiti da travi reticolari a ginocchio su cui si fissano lamelle frangisole metalliche. I montanti sono leggermente inclinati verso l'esterno e in copertura sorreggono griglie metalliche per la manutenzione del tetto. La facciata ha le porzioni superiori apribili e anche la porzione vetrata in copertura è apribile. La posizione, la spaziatura e l'inclinazione delle lamelle frangisole è stata studiata per evitare fenomeni di abbagliamento all'interno dell'ambiente e per creare un gioco piacevole di luci ed ombre che disegna lo spazio.

Mentre la copertura dell'atrio è piana, la copertura dei laboratori riprende la pendenza della parte delle aule didattiche ed è rivestita con una lamiera metallica con elementi fotovoltaici in silicio amorfo integrati.

La zona mensa resta ad una quota inferiore rispetto alla strada. Essa è caratterizzata da due pareti vetrate che si incrociano a spigolo. La facciata è completamente vetrata e presenta tre porte finestre con accesso diretto sul verde, mentre le porzioni restanti sono costituite da serramenti fissi e apribili che riprendono i colori delle aule didattiche. Il fronte della mensa è totalmente esposto a Sud, pertanto è previsto un sistema di schermatura con tende a rullo esterne. La copertura della mensa è leggermente inclinata verso l'alto. È una terrazza praticabile dal cui centro spunta un albero. Si crea così uno spazio per la ricreazione, uno spazio gioco direttamente a contatto con la natura. L'albero entra nell'architettura e ne diventa parte integrante.

Lo profilo dell'edificio termina con la sala polivalente, elemento di rottura dello schema compositivo e che si contraddistingue dal resto per segnalare la sua funzione più pubblica e aperta alla comunità. L'effetto che si vuole raggiungere è quello della smaterializzazione dell'elemento. La sala è a sbalzo sul marciapiede per consentire di avere uno spazio coperto che ospiti la fermata dell'autobus. Una fila di pilastri colorati a V separa il marciapiede dalla strada. Il fronte Nord e Sud della sala sono ortogonali alla strada e sono completamente vetrati, per creare un rapporto diretto con l'esterno e per mostrare alla comunità cosa avviene all'interno. Nel caso di conferenze, rappresentazioni o incontri le porzioni vetrate possono essere debitamente oscurate. Il rivestimento della sala è in policarbonato neutro, trasparente al fine di lasciare che sia la luce a disegnare l'elemento, soprattutto nelle ore notturne. È presente una scala metallica esterna che consente di avere un accesso indipendente alla sala, nascosta da una parete in policarbonato con la scritta "Scuola Elementare", tipica di tutti gli edifici pubblici del comune di Cenate Sopra.

Il retro dell'edificio è caratterizzato da un ritmo di pieni e vuoti dato da sporgenze e rientranze alternate dei volumi. Questo prospetto è più sobrio e presenta la giustapposizione di due materiali diversi: il fibrocemento bianco e la lamiera metallica. Il retro della zona delle aule è il risultato dell'intersezione della parete metallica inclinata con i blocchi rettangolari dei servizi igienici, creando una serie di giochi di luci ed ombre. Proseguendo verso l'atrio e le zone dei laboratori e uffici continua l'alternanza dei due materiali, questa volta lungo due piani fuori terra. La lamiera in copertura continua e avvolge sulla parete sul retro. Sono visibili i lucernari a diverse altezze posizionati lungo il connettivo delle aule didattiche. Nella zona di laboratori e uffici, invece, sono presenti dei tagli vetriati a tutt'altezza leggermente svasati per garantire la visuale verso l'esterno di ogni locale.

Dal retro sono visibili le serre colorate che contraddistinguono le aule e gli stessi colori vengono ripresi dai cinque camini che salgono dal locale impianti per la ripresa dell'aria esterna e l'espulsione dell'aria viziata.

Vedi allegato: TAVOLA 19 - Prospetto S-E
Vedi allegato: TAVOLA 20 – Prospetto N-O
Vedi allegato: TAVOLA 21 – Prospetti N-E
Vedi allegato: TAVOLA 22 – Prospetti S-O

5.5 Illuminotecnica

La luce è una componente molto importante della progettazione in quanto permette di percepire, conoscere ed assimilare l'ambiente circostante; è un elemento compositivo e contribuisce a rendere gli ambienti più confortevoli.

Gli effetti benefici dell'utilizzo della luce naturale si manifestano sia a breve che a lungo termine, in particolare nell'immediato si verifica un aumento dell'attenzione, delle prestazioni intellettive e dell'umore; nel tempo è stato dimostrato un aumento della produttività, il risparmio di energia elettrica per l'illuminazione e l'attribuzione di un valore aggiunto in termini di qualità e valore economico degli immobili.

5.5.1 L'illuminazione

L'illuminotecnica è la scienza che si occupa di illuminazione naturale e artificiale, con lo scopo di assicurare all'uomo adeguate condizioni visive; l'illuminazione degli ambienti interni deve permettere lo svolgimento dei compiti visivi e creare le condizioni di comfort visuale da cui dipende il comfort mentale degli utenti. Per ottenere questo obiettivo si può ricorrere sia alla luce artificiale che a quella naturale, ma le due non hanno ugual valenza in quanto la luce naturale ha una migliore qualità e permette una resa ottimale dei colori e livelli di illuminamento più elevati, sebbene non possa venir progettata con precise caratteristiche; non da ultimo si può evidenziare la componente rinnovabile della fonte di energia naturale, ossia il sole, che permette di risparmiare energia elettrica e quindi denaro e di non intaccare l'ambiente.

La fotometria è la branca dell'illuminotecnica che si occupa di studiare le grandezze fondamentali che si utilizzano per misurare l'energia radiante emessa o ricevuta da una superficie in relazione alle sensazioni prodotte sull'individuo attraverso l'occhio e quantifica la luce in termini di stimolazione visiva; le grandezze fotometriche fondamentali per la misurazione delle luce sono il flusso luminoso, l'intensità luminosa, l'illuminamento e la luminanza.

Tabella 1: Grandezze fotometriche

SIMBOLO	GRANDEZZA FOTOMETRICA	DEFINIZIONE	UNITA' DI MISURA
f	FLUSSO LUMINOSO	Quantità di energia emessa da una sorgente luminosa nell'unità di tempo	lumen [lm]
I	INTENSITA' LUMINOSA	Quantità di energia luminosa emessa in una direzione; è il rapporto tra il flusso luminoso infinitesimale emesso da una sorgente entro un angolo solido e lo stesso angolo solido	candela [cd]
E	ILLUMINAMENTO	Quantità di luce che investe una superficie; è il rapporto tra flusso luminoso incidente su una superficie ed area dell'elemento	[lm/m ² = lux]
L	LUMINANZA	Età di luce emessa da una sorgente di estese dimensioni nella direzione dell'osservatore; è il rapporto tra l'intensità luminosa di una sorgente nella direzione di un osservatore e la superficie emittente apparente	[cd/m ²]

5.5.2 Luce, benessere e cromoterapia

La luce ha una forte valenza architettonica in quanto è un elemento vitale per l' uomo e per il suo equilibrio psico- fisico.

Sono state svolte delle ricerche per valutare l'influsso che hanno luce e colore sugli aspetti fisiologici e psicologici dell'uomo, dalle quali è che una buona qualità della luce e dell'illuminazione contribuiscono ad elevare il livello del comfort.

La cromoterapia, intesa come influenza dei colori sul benessere dell' uomo, ha origini antiche: già gli antichi Egizi, i Romani ed i Greci praticavano l'elioterapia, ossia l' esposizione alla luce solare diretta, per curare diverse malattie; la medicina ayurvedica indiana ha sfruttato la capacità dei colori di influenzare l'equilibrio dei chakra; i Cinesi hanno sempre associato i colori alla salute: per esempio il giallo per regolare l'intestino ed il violetto per controllare gli attacchi.

I recenti studi scientifici hanno permesso un notevole sviluppo della cromoterapia, dimostrando l'influenza dei colori sul sistema nervoso, immunitario e metabolico: le irradiazioni colorate agiscono sugli stati emotivi dell'individuo, sull'andamento dello stato psichico e sul corpo favorendone l'equilibrio e il benessere fisico.

La cromoterapia utilizza i colori dell' arcobaleno ed associa ogni organo ad un colore, a sua volta collegato ai chakra, ossia i centri dell' equilibrio fisico e mentale, come meglio esplicito in seguito.

ROSSO – I CHAKRA

Questo colore viene associato alla forza, alla salute e alla vitalità e rappresenta il fuoco, la gioia, la festa, il sangue e le passioni violente. Il rosso è in grado di accelerare il polso, aumentare la pressione arteriosa e la frequenza respiratoria. Il rosso renderebbe loquaci, aperti, premurosi, passionali.

ARANCIONE – II CHAKRA

L'arancione ha secondo la cromoterapia un'azione liberatoria sulle funzioni fisiche e mentali e un grosso effetto di integrazione e di distribuzione dell'energia, inducendo serenità, entusiasmo, allegria, voglia di vivere, ottimismo, positivizzazione dei sentimenti, sinergia fisica e mentale.

GIALLO – III CHAKRA

Il giallo viene associato alla parte sinistra del cervello e in genere al lato intellettuale, con effetti di stimolazione e aiuto nello studio. È considerato un colore protettivo e concreto, in aiuto a chi è troppo aperto o troppo creativo, associato alla felicità, alla saggezza e alla immaginazione, generatore di buon umore, sia che si indossino indumenti di tale colore sia come tinteggiatura per le pareti.

Viene considerato utile per stimolare l'attenzione e l'apprendimento, acuire la mente e la concentrazione.

VERDE – IV CHAKRA

Il verde, colore fondamentale della natura, è il colore dell'armonia: simboleggia la speranza, l'equilibrio, la pace e il rinnovamento. È un colore neutro, rilassante, favorisce la riflessione, la calma, la concentrazione.

BLU – V CHAKRA

Il blu è un colore calmante e rinfrescante. Esso ha un effetto molto tranquillizzante su persone troppo aggressive e impazienti. Il blu è un colore che calma e modera e che fa dimenticare i problemi di tutti i giorni; per tale ragione le pareti tinteggiate di blu tranquillizzano.

INDACO – VI CHAKRA

L' indaco è un colore dall' effetto riposante, molto legato alla nostra parte spirituale.

VIOLA – VII CHAKRA

Il viola è il colore dello spirito, aiuta ad eliminare lo stress e la tensione e ad esaminare le situazioni in maniera distaccata.

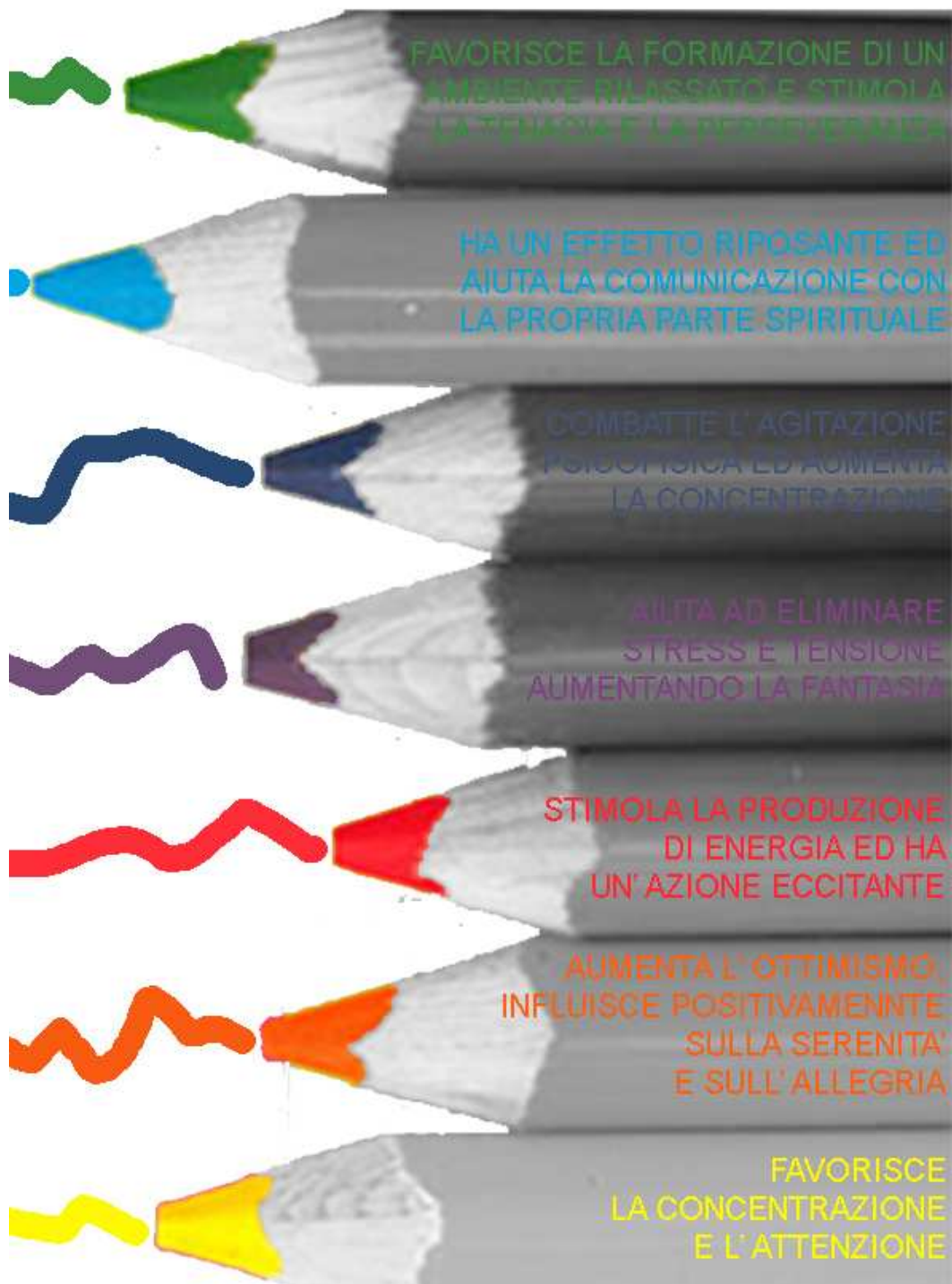


Figura 9: Proprietà dei colori

Questi principi sono stati seguiti per la scelta dei colori da utilizzare nella scuola elementare; in particolare l'ala est dove ci sono le aule didattiche stata divisa in 5 moduli, ognuno dei quali caratterizzato da un colore: il giallo, il viola, il verde, l'arancione ed il blu. L'obiettivo di questa scelta è duplice: da un lato beneficiare gli utenti delle proprietà legate alla percezione di ogni colore, dall'altra creare un'identità distintiva e di riconoscimento per ogni classe.

5.5.3 La luce naturale

Per tutta la durata della giornata, negli ambienti esterni la luce naturale soddisfa ampiamente i livelli di illuminazione necessari al corretto svolgimento delle attività; un uso corretto e consapevole dell'illuminazione naturale negli ambienti costruiti è considerato elemento qualificante della progettazione architettonica, sia per una gestione ottimale dei consumi di energia elettrica, che per il miglioramento del comfort visivo.

Un'illuminazione totalmente artificiale non consente di percepire le variazioni di luminosità esterna, impedendo quindi all'organismo umano di assecondare il suo orologio biologico, ossia l'alternanza del giorno e della notte e la variazione delle stagioni.

Fin dall'antichità l'uomo ha ottimizzato l'uso della luce naturale, sia attraverso aperture correttamente disposte e dimensionate, che mediante lo studio dell'orientamento e la forma dei fabbricati in dipendenza dalla latitudine e dai diagrammi solari.

Per una migliore illuminazione degli ambienti interni, si possono considerare i seguenti accorgimenti:

Tabella 2: Strategie progettuali

ACCORGIMENTO	SOLUZIONE ADOTTATA
Aperture con esposizione ottimale a sud- est ed a sud- ovest per gli spazi di lavoro in modo da ricevere luce diretta sia in estate che in inverno con raggi bassi che penetrano in profondità nelle stanze	Aule didattiche con aperture ad est
Aperture con esposizione ottimale a sud per gli spazi comuni	Atrio, spazi docenti, laboratori, mensa ed aula polivalente esposti a sud
Superficie totale delle finestre di un locale non inferiore al 10-12% della superficie calpestabile dello stesso	Superficie calpestabile aule = 47 m ² superficie finestrata aule = 15 m ² negli spazi comuni le finestre sono a tutta altezza
Profondità massima della stanza pari a 3 volte la sua altezza	Altezza aule = 3 m profondità aule = 7,5 m
Aperture alte che consentono una penetrazione più profonda dei raggi solari	Altezza finestre aule = 2,1 m altezza finestre spazi comuni = 3 m
La tipologia ed il colore delle superfici fanno variare la riflessione della luce	Finiture in intonaco bianco liscio che riflette circa l' 85% della luce, ma opaco in modo da minimizzare l' abbagliamento

5.5.4 Il daylighting

Con daylighting si intende l'uso consapevole della luce naturale per smorzare il bisogno di luce artificiale negli edifici; utilizzandolo nelle fasi iniziali della progettazione si possono ottenere risultati rilevanti senza aggiungere costi eccessivi alla costruzione.

Attualmente sono presenti molti programmi di analisi e simulazione che consentono di prevedere il comportamento degli edifici, come il software "Daylight Visualizer" di Velux, grazie al quale si sono ottenute le immagini seguenti.

Tramite il fattore di luce diurna è possibile determinare la qualità di un ambiente illuminato in relazione all'illuminazione naturale ed è definito come il rapporto tra l'illuminamento misurato in un punto dato dell'ambiente e l'illuminamento misurato all'esterno, su una superficie orizzontale che vede l'intera volta celeste senza ostruzioni, escludendo da entrambe le misure la luce solare diretta; i valori ottimali sono compresi tra l' 1% ed il 12%.

Vari enti vengono in aiuto ai progettisti, stilando delle tabelle di valori consigliati per il fattore di luce diurna in funzione delle attività svolte negli ambienti.

Tabella 3: Livelli di FLD normati nel D.M. 18/12/75

TIPO DI LOCALE	FLDm [%]
AULE, LABORATORI, BIBLIOTECHE	3
AULA MAGNA, SALE PROFESSORI	2
SALA MENSA	2
UFFICI	1
CORRIDOI, SCALE	1
BAGNI	1

Tabella 4: Livelli di FLD consigliati dalla C.I.E.

TIPO DI LOCALE	FLDm [%]
AULE GIOCHI	5
NIDO	5
AULE LAVORI ARTIGIANALI	3
AULE	3
INGRESSI	1
CORRIDOI	1
SCALE	1
BIBLIOTECHE	3
MAGAZZINI, RIPOSTIGLI	1
PALESTRE, PISCINE	2
CUCINE	1
BAGNI	1
SOGGIORNI	2
ZONE RELAX	2

I migliori effetti dell'utilizzo della luce naturale sono la percezione dei colori e la loro variazione temporale, il contrasto e la luminanza delle superfici e degli oggetti; questa può comunque subire variazioni in funzione dell'ubicazione, della fase della giornata e del periodo dell'anno e del contesto, nonché dell'indice di riflessione delle superfici.

Un altro aspetto da considerare è il risparmio economico generato dall'introduzione di schermature, che consente una riduzione di energia necessaria al condizionamento.

Nelle figure in seguito sono riportati i valori di FLD nelle aule didattiche nei diversi periodi dell'anno.

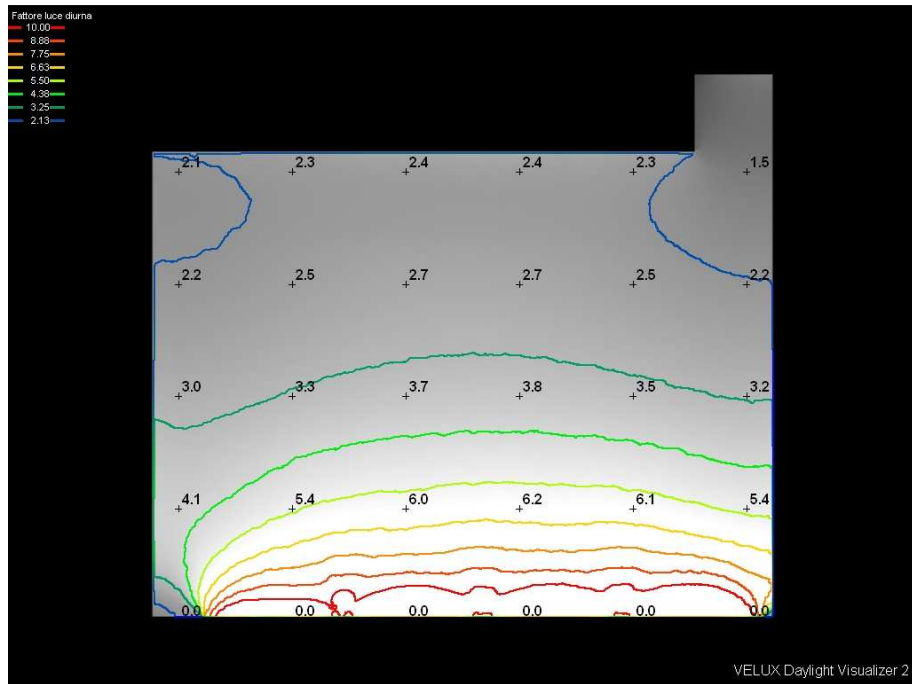


Figura 10: FLD aule didattiche 21-05

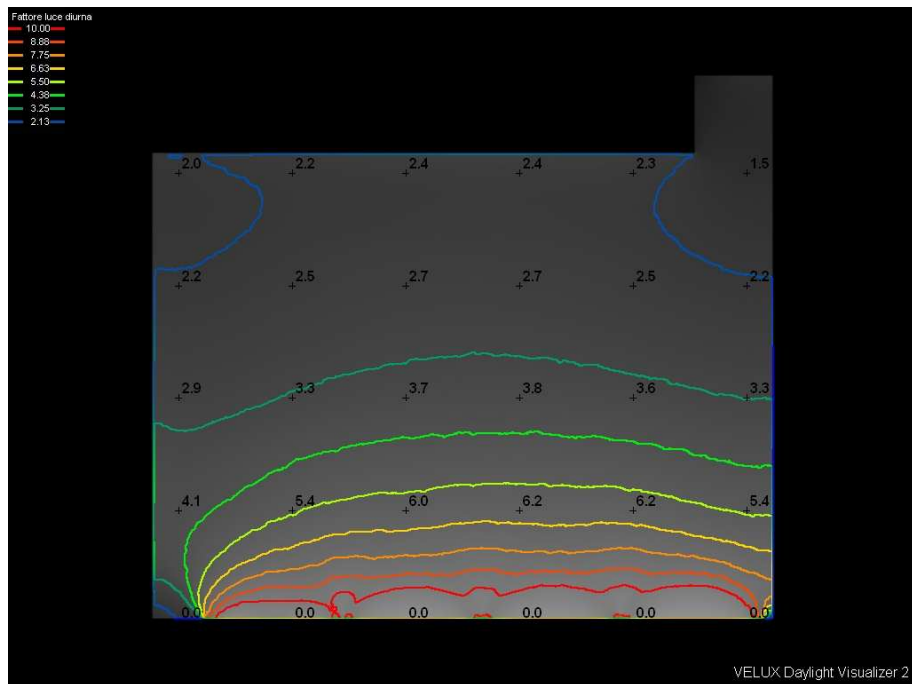


Figura 11: FLD aule didattiche 21-12

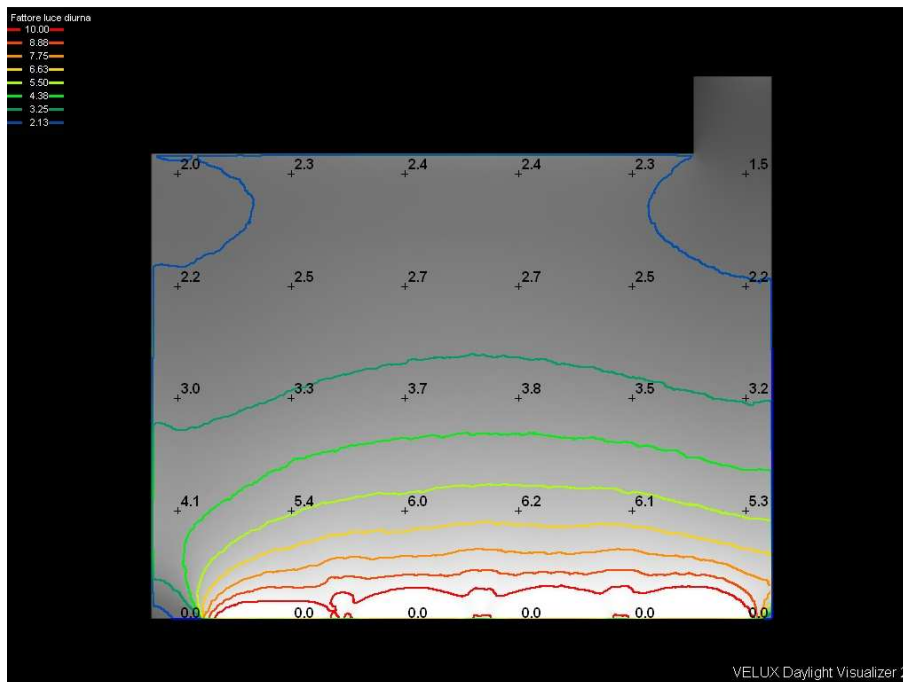


Figura 12: FLD aule didattiche 21-09

5.5.5 La luce negli ambienti

I livelli di illuminazione consigliati in funzione delle attività svolte sono stati schematizzati nella tabella sottostante, sulla base di valori forniti dalla C.I.E. (Commissione Internazionale dell' Illuminazione).

Tabella 5: Livelli di illuminazione consigliati dalla C.I.E.

TIPO DI LOCALE	ILLUMINAMENTO [lux]
ZONE DI CONVERSAZIONE E PASSAGGIO	50-100-150
ZONE DI LETTURA	200-300-500
ZONE DI SCRITTURA	300-500-750
ZONE PASTO	100-150-200
CUCINA	200-300-500
BAGNO - ILLUMINAZIONE GENERALE	50-100-150
BAGNO - ZONA SPECCHIO	200-300-500
CAMERE - ILLUMINAZIONE GENERALE	50-100-150
CAMERE - LETTI	200-300-500

Di seguito sono riportati i valori di illuminamento nelle aule didattiche nei diversi periodi dell'anno e con diverse condizioni di schermatura. Le schermature sono fondamentali per evitare l'abbagliamento degli alunni e i grafici ne dimostrano l'efficacia.

Situazione con schermature nei diversi periodi dell'anno

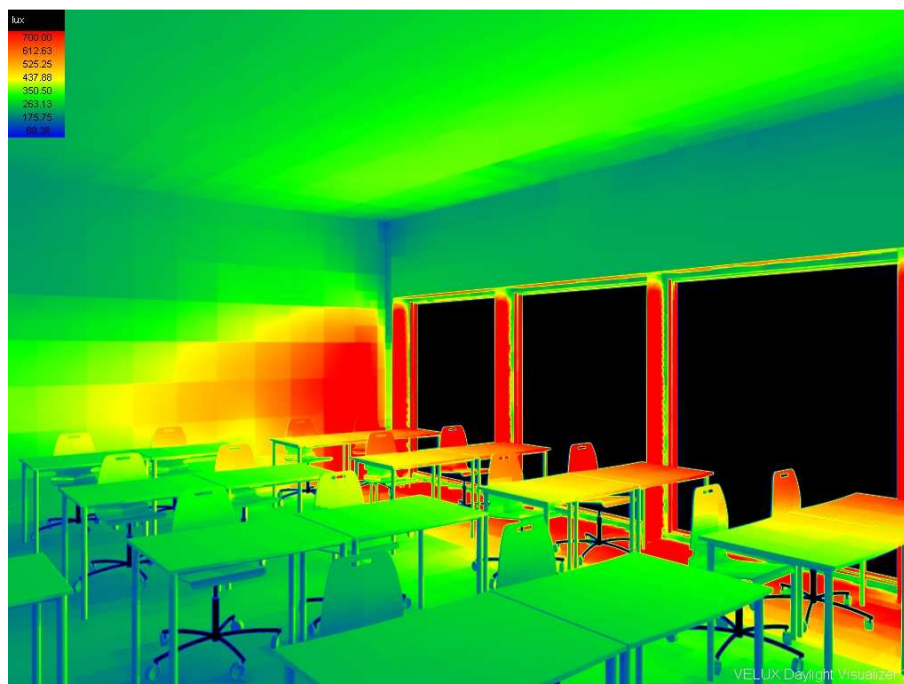


Figura 13: Valori di illuminanza nelle aule didattiche il 21-05 con schermature alle finestre alle ore 12.30

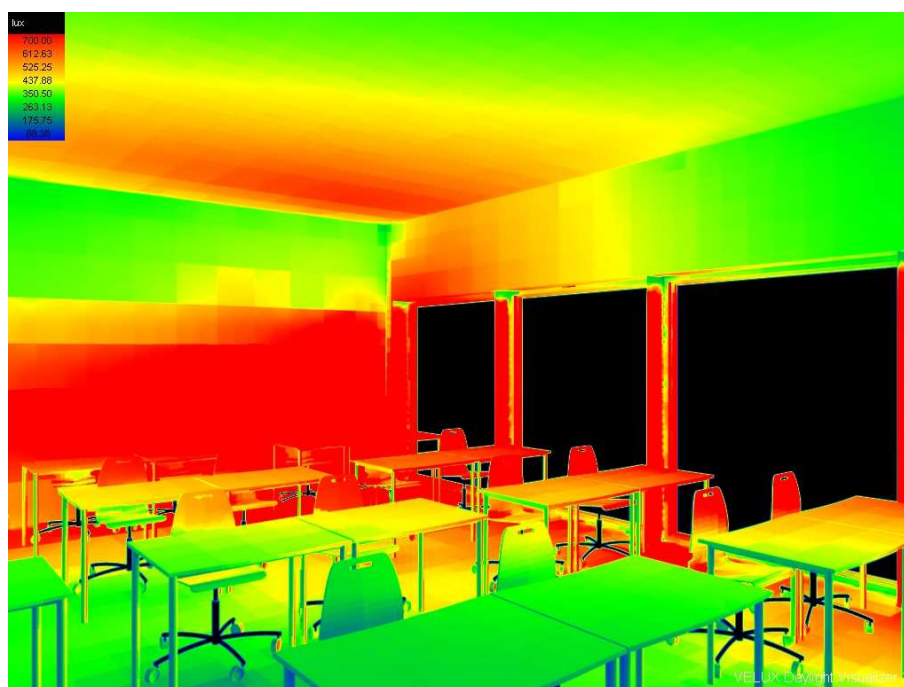


Figura 14: Valori di illuminanza nelle aule didattiche il 21-12 con schermature alle finestre alle ore 8.30



Figura 15: Valori di illuminanza nelle aule didattiche 21-09 con schermature alle finestre alle ore 12.30

Situazione senza schermature nei diversi periodi dell'anno

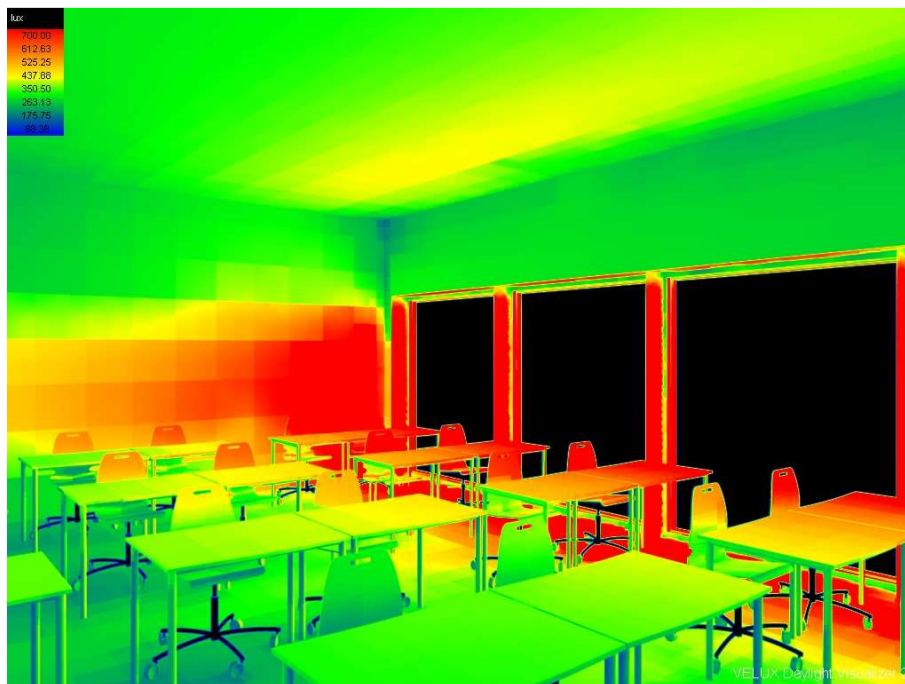


Figura 16: Valori di illuminanza nelle aule didattiche 21-05 senza schermature alle finestre ore 12.30



Figura 17: Valori di illuminanza nelle aule didattiche 21-12 senza schermature alle finestre ore 8.30

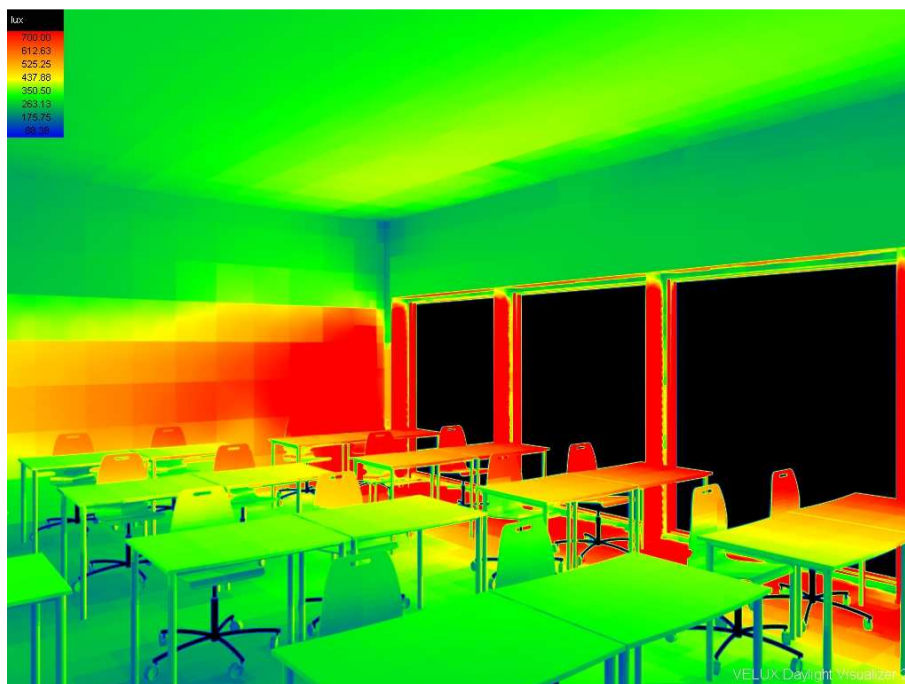


Figura 18: Valori di illuminanza nelle aule didattiche 21-09 senza schermature alle finestre ore 12.30

5.5.6 Il comfort visivo negli ambienti di lavoro

Adeguati livelli di illuminazione aiutano lo svolgimento delle attività e facilitano la concentrazione ed aumentano lo stimolo lavorativo, diminuendo il senso di stanchezza.

Recenti studi hanno portato ad importanti risultati in questo campo: passando da un ambiente con scarsa illuminazione ad uno ben illuminato si può aumentare l'attività del pensiero logico fino al 9%, l'attenzione del 15%, la sicurezza e la velocità di calcolo del 5%.

Un altro fattore da non sottovalutare è la variazione della prestazione visiva con le stesse condizioni al contorno al variare dell'età del soggetto percepente; queste differenze possono venir bypassate cercando di ottenere valori di illuminamento quanto più alti possibili, in

particolare i valori ottimali sono quelli che riproducono l' illuminazione diurna all' aria aperta al riparo dai raggi solari diretti.

Particolare attenzione va prestata anche al contrasto tra le zone più illuminate e quelle meno illuminate di un ambiente ed in particolare la loro differenza dovrebbe essere inferiore a 10, per evitare affaticamento dell' occhio e distrazione; d' altro canto, anche l' assenza di contrasto e quindi di ombre porterebbe ad un senso di discomfort e monotonia, e per questo la differenza tra i valori massimi e minimi di illuminamento dovrebbe mantenersi sopra il 3. Dalle Figure 2, 3 e 4 è possibile verificare come nelle aule didattiche le differenze tra i valori di FLD siano compresi entro quelli consigliati per il miglior comfort interno.

5.6 Funzionamento energetico

L'obiettivo principale del progetto è la realizzazione di un edificio manifesto dell'architettura energeticamente sostenibile, un edificio modello per tutte le tipologie simili. Il funzionamento energetico dipende dal tipo di utenza e destinazione d'uso dell'edificio e da un'attenta progettazione che integri sistemi attivi e passivi di controllo energetico. In una scuola elementare è fondamentale il controllo della qualità dell'aria e il comfort termoigrometrico. In ogni aula la qualità dell'aria deve essere controllata continuamente: un sistema di sensori rileva la concentrazione di inquinanti, umidità e temperatura, in modo che se le condizioni di comfort non sono soddisfatte si attivino le modalità di ricambio d'aria.

Il ricambio d'aria può avvenire naturalmente o in maniera forzata: quando i sensori rilevano una scarsa qualità dell'aria, il sistema automatico di regolazione fa aprire le aperture. A questo punto i ricambi possono avvenire naturalmente sfruttando la fisica dei fluidi, con l'aria calda che sale verso l'alto e i camini di ventilazione grazie alla presenza di spazi a doppia altezza. Se la ventilazione naturale risulta insufficiente si attiva l'impianto di ventilazione meccanica con aspirazione dell'aria viziata degli ambienti e immissione forzata di aria pulita.

Dal punto di vista termico si deve distinguere invece tra la stagione invernale ed estiva. Un buon orientamento dell'edificio e un bilanciamento tra chiusure opache e trasparenti influenzano il comportamento energetico dell'edificio. Nella stagione invernale è fondamentale limitare le dispersioni, mentre in quella estiva si devono limitare i sovraccarichi termici e si deve garantire il lavaggio termico delle superfici.

Prima di illustrare i diversi funzionamenti energetici dell'edificio è necessario definire alcuni concetti riguardanti la radiazione solare e la posizione del sole.

Il sole può essere considerata una delle fonti principali di energia per il funzionamento dell'edificio. La presenza di elementi opachi e vetrati, la presenza o meno di schermature e l'attivazione della ventilazione dipendono dall'orientamento e dalla posizione del sole.

Nella stagione invernale, l'energia solare è fonte di guadagni gratuiti; mentre nella stagione estiva l'edificio deve essere protetto dalla radiazione stessa. L'intensità di radiazione solare si attenua nel passaggio attraverso l'atmosfera: una parte di radiazione viene riflessa, una parte assorbita e una parte diffusa. La parte di irraggiamento che raggiunge direttamente il suolo costituisce la radiazione diretta mentre la parte rimanente costituisce la radiazione diffusa. A queste va infine aggiunta la radiazione riflessa o albedo, che rappresenta la percentuale di radiazione diretta e diffusa che viene riflessa dal suolo o dalle superfici circostanti sulla superficie considerata.

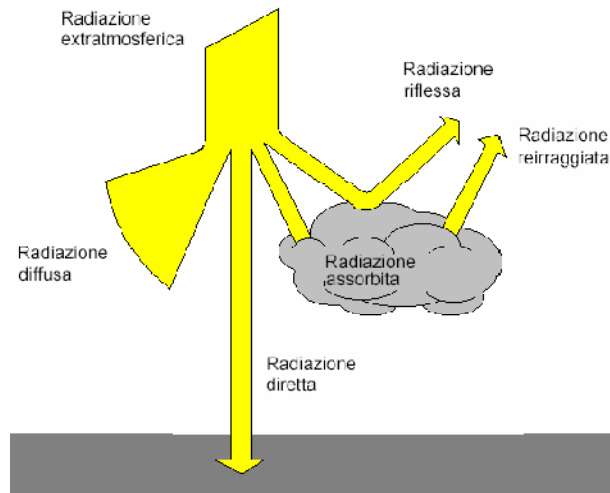


Figura 19: Radiazione solare

L'intensità di radiazione incidente è molto variabile e dipende dalle caratteristiche della superficie in esame, quali il materiale costituente, la posizione della stessa rispetto a quella solare e l'orientamento. L'intensità di radiazione è fortemente influenzata dalle condizioni atmosferiche: la radiazione diretta in condizioni di cielo sereno è preponderante rispetto a quella diffusa, ma si riduce all'aumentare dell'umidità e della nuvolosità, fino ad annullarsi in condizioni di cielo coperto.

Intensità approssimata della radiazione solare.

Radiazione solare	Condizioni atmosferiche							
	Cielo sereno	Nebbia	Nuvoloso	Disco solare giallo	Disco solare bianco	Sole appena percettibile	Nebbia fitta	Cielo coperto
globale	1000 W/m ²	600 W/m ²	500 W/m ²	400 W/m ²	300 W/m ²	200 W/m ²	100 W/m ²	50 W/m ²
diretta	90%	50%	70%	50%	40%	0%	0%	0%
diffusa	10%	50%	30%	50%	60%	100%	100%	100%

Figura 20: Variazione intensità di radiazione solare

Per la determinazione degli oggetti e del tipo di schermature è stato necessario determinare il percorso solare e verificare l'angolo di inclinazione del raggio solare.

La posizione del sole dipende dalla latitudine e dal periodo dell'anno in cui si effettua la misurazione. Per la stagione invernale il giorno di riferimento è il 21 dicembre, il solstizio d'inverno dove il sole raggiunge il punto più basso nel cielo. Per la stagione estiva invece ci si riferisce al 21 giugno, solstizio d'estate dove il sole raggiunge la posizione più alta nel cielo.

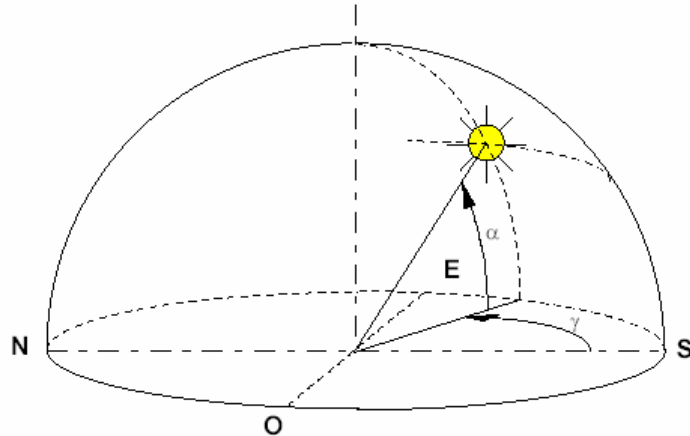


Figura 21: Posizione del sole

La posizione del sole rispetto ad un punto sulla terra è determinata dall'angolo di altezza solare α e dall'angolo azimutale γ . Il primo è l'angolo verticale che la direzione di incidenza del raggio solare forma con il piano orizzontale; il secondo è l'angolo orizzontale tra il piano verticale passante per il sole e la direzione del sud, ed è positivo verso est e negativo verso ovest. Questi due parametri dipendono a loro volta dalla latitudine del luogo, dalla declinazione solare δ , che è l'angolo formato dalla direzione del sole con il piano dell'equatore e dall'angolo orario ω , che è l'angolo formato dal piano meridiano passante per il sole con il meridiano di riferimento ed assume valori compresi tra -180° e 180° variando di 15° ogni ora.

Ai solstizi e agli equinozi, la posizione del sole è facilmente determinabile utilizzando le seguenti formule:

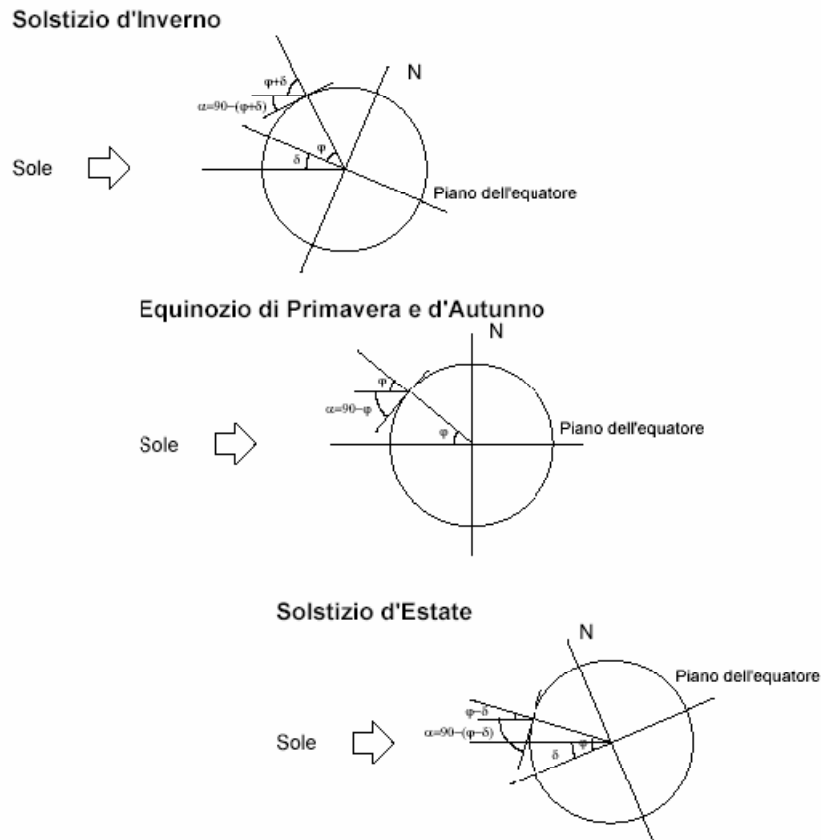


Figura 22: Definizione posizione solare

L'altezza solare è facilmente determinabile con le seguenti formule:

Solstizio d'inverno:

$$\alpha = 90^\circ - (\varphi + \delta)$$

Solstizio d'estate:

$$\alpha = 90^\circ - (\varphi - \delta)$$

In questo caso la latitudine φ è pari a 45° , la declinazione solare assume il valore massimo in inverno pari a $-23^\circ 27'$ e assume valore minimo in estate pari a $+23^\circ 27'$. Si determina così l'altezza massima nella stagione estiva pari a 68° e l'altezza minima nella stagione invernale pari a 22° . Questo è valido per una superficie orientata a Sud. Per superfici diversamente orientate è necessario ricorrere ai diagrammi solari che indicano la posizione del sole durante l'arco della giornata, tenendo conto anche dell'orientamento della superficie di incidenza del raggio solare.

Si riportano di seguito i diagrammi solari utilizzati per la determinazione dell'inclinazione massima e minima dei raggi solari per gli spazi delle aule didattiche orientate ad Sud-Est con un angolo di 21° rispetto alla direzione Sud. In inverno il sole raggiunge il punto più basso alle ore 8.00 del mattino con un'inclinazione di circa 8° , mentre in estate l'inclinazione massima è pari a 48° e si raggiunge alle ore 9.30 circa.



Figura 23: Posizione del sole al 21 dicembre, S-E

Orthographic Projection
Location: 45.4°, 9.3°
Sun Position: 165.3°, 67.5°

Date/Time: 12:00, 21st Jun
Dotted lines: July-December.
HSA: 165.3°, VSA: 111.8°



Figura 24: Posizione del sole 21 giugno, S-E

5.6.1 Funzionamento invernale

Nella stagione invernale è fondamentale limitare le dispersioni dell'edificio verso l'esterno. Le principali strategie adottate sono l'iperisolamento dell'edificio con un involucro altamente performante, con chiusure che raggiungono trasmittanze di 0,1 W/mqK. Il riscaldamento dell'edificio è demandato a pannelli radianti a pavimento alimentati da una pompa di calore geotermica. L'estensione dei pannelli lungo tutta la superficie del solaio permette di avere una distribuzione omogenea e diffusa in tutto l'ambiente del calore. In direzione Sud-Est sono state inserite le vetrate e le serre bioclimatiche per sfruttare al meglio la captazione di energia solare. Le serre bioclimatiche fungono da spazio filtro, limitano le dispersioni verso l'esterno e allo stesso tempo, se ben orientate, permettono di avere apporti solari gratuiti. Esse devono essere completamente chiuse, in modo che l'aria contenuta si scaldi e devono essere esposte alla radiazione il più possibile per avere dei guadagni solari consistenti. Tuttavia sono presenti sistemi di schermatura mobili per la regolazione della luce naturale in entrata. Il sole in inverno è molto basso e si rischia di avere una sensazione fastidiosa di abbagliamento per gli alunni: questa problematica è stata risolta con la presenza di tende esterne regolabili in corrispondenza delle vetrate e tende interne in corrispondenza della serra bioclimatica.

Vedi allegato: TAVOLA 23 – Funzionamento invernale diurno

5.6.2 Funzionamento estivo diurno

Per il funzionamento estivo diurno sono state ipotizzate due situazioni: la prima con l'impianto di raffrescamento spento e la seconda con l'impianto in funzione. Nel primo caso la posizione delle aperture da parti opposte dell'edificio e lo sfruttamento della serra come camino solare consente di innescare la ventilazione naturale, con il conseguente raffrescamento degli ambienti e lavaggio termico delle superfici. Qualora questa ventilazione non fosse in grado di garantire un raffrescamento, ma il solo ricambio d'aria, è previsto un sistema di raffrescamento in free cooling. La pompa di calore geotermica collegata a pannelli radianti a pavimento può raffrescare gli ambienti semplicemente utilizzando l'acqua proveniente dalle sonde con le temperature effettive di esercizio, senza ulteriori consumi di energia per il condizionamento. Nel caso in cui i sovraccarichi termici siano veramente elevati e impossibili da smaltire in entrambi i casi, alla pompa di calore con l'inversione di ciclo sarà demandato il condizionamento degli ambienti.

In questo caso la serra bioclimatica può avere una duplice modalità di assetto: può essere completamente disattivata, aprendo tutti le porzioni mobili oppure può avere una funzione di camino solare di ventilazione. Nel secondo caso essa deve essere completamente schermata per evitare l'accumulo di sovraccarichi termici e le porzioni apribili superiori devono consentire l'uscita del flusso d'aria di ventilazione.

La presenza di un involucro iperisolato contribuisce positivamente nella stagione estiva attenuando e sfasando l'onda termica incidente sulle chiusure e ritardando la trasmissione del calore all'edificio.

*Vedi allegato: TAVOLA 24 – Funzionamento estivo diurno con impianto spento
Vedi allegato: TAVOLA 25 – Funzionamento invernale diurno con impianto in funzione*

5.6.2 Funzionamento estivo notturno

Il meccanismo principale che governa il funzionamento estivo notturno è la ventilazione naturale. Di nuovo si utilizza lo spazio della serra come camino di ventilazione: aprendo le finestre in sommità, l'aria viene risucchiata ed espulsa poiché ormai la temperatura esterna è scesa da 30°C a 25°-26°C. La ventilazione deve garantire il lavaggio termico delle superfici per lo smaltimento dei sovraccarichi termici. Nel caso la ventilazione naturale risultasse insufficiente è possibile introdurre un ventilatore per l'aspirazione dell'aria e aiutare la ventilazione.

Vedi allegato: TAVOLA 26 – Funzionamento estivo notturno

5.7 Tecnologie per l'involucro

Per raggiungere elevati livelli di efficienza energetica, l'involucro deve essere altamente performante. Si utilizza la tecnologia stratificata a secco per le chiusure, dove ogni strato ha determinate prestazioni e svolge funzioni specifiche.

La zona della aula didattica ha una struttura portante formata da travi e pilastri in elementi d'acciaio con le zone contro terra e la struttura dei blocchi dei servizi igienici in calcestruzzo armato. La zona di laboratori e uffici, invece ha una struttura portante in calcestruzzo armato con dei setti a tutta altezza disposti a raggiera e dei diaframmi orizzontali in corrispondenza dei solai. La copertura praticabile leggermente inclinata della mensa ha anch'essa come struttura portante una piastra in calcestruzzo armato.

Le chiusure orizzontali hanno una struttura portante con lamiera grecata e getto collaborante che poggia su travi d'acciaio. Le chiusure verticali sono ventilate con rivestimento in vetro lucido piuttosto che fibrocemento, ad eccezione delle chiusure dei blocchi dei servizi igienici, dove è previsto il cappotto. La copertura è ventilata e metallica con lucernari per la captazione di luce zenitale. Solo sulla copertura dei laboratori è prevista l'integrazione di elementi fotovoltaici data la migliore esposizione in direzione Sud.

Si presta una particolare attenzione all'isolamento termico delle chiusure: si utilizzano isolanti morbidi ad intercapedine come la lana di roccia e isolanti rigidi più all'esterno come il poliuretano. Si giustappongono diversi strati di isolante a diverse densità per favorire l'attenuazione e lo sfasamento termico. Le trasmittanze termiche degli isolanti sono comprese tra valori di 0,024 e 0,028 W/mK e raggiungono spessori complessivi di circa 30 cm. Le trasmittanze dell'intero pacchetto raggiungono valori compresi tra 0,09 e 0,13 W/mK.

Per le partizioni interne, l'aspetto più curato, è quello dell'isolamento acustico. Per le chiusure verticali, soprattutto per i le pareti che separano due aule o l'aula dal corridoio, si utilizzano pareti certificate con livelli di fonoisolamento di 54-55 dB. Per le partizioni orizzontali d'interpiano si inserisce un materassino anticalpestio che impedisce la trasmissione dell'onda sonora tra un piano e l'altro.

Per le finiture interne si utilizzano materiali lisci e superfici facilmente lavabili. Per le pareti si prevede una finitura con lastra in gesso fibra, più resistente agli urti, su lastra di gesso rivestito mentre le pavimentazioni sono in linoleum, liscio e facilmente pulibile. Per le pavimentazioni esterne si utilizza in genere la pietra, ad eccezione di alcune porzioni in legno.

Per ogni chiusura sono stati determinati i valori di trasmittanza termica, di sfasamento e attenuazione e sono state effettuate le verifiche di Glaser, della condensa superficiale e interstiziale e le verifiche di temperatura sulla chiusura.

Vedi Allegato: TAVOLA 27 – Abaco delle chiusure 1

Vedi Allegato: TAVOLA 28 – Abaco delle chiusure 2

Vedi Allegato: TAVOLA 29 – Abaco delle chiusure 3

Vedi Allegato: TAVOLA 30- Abaco delle chiusure 4

Vedi Allegato: TAVOLA 31- Abaco delle chiusure 5 e delle partizioni

5.8 Particolari costruttivi

Si riportano una serie di nodi fondamentali per consentire la corretta realizzazione dell'edificio. Si studiano i particolari più significativi, come il colmo della copertura, l'interfaccia tra serra ed edificio, l'aggancio della facciata strutturale di ingresso. In ogni dettaglio si garantisce la soluzione di continuità dell'isolante per evitare la presenza di ponti termici. Particolare attenzione si presta ai sistemi di scolo e smaltimento delle acque e ai sistemi di impermeabilizzazione per la protezione dell'isolante.

Vedi Allegato: TAVOLA 32 – Sezione A-A

Vedi Allegato: TAVOLA 33 – Sezione B-B

Vedi Allegato: TAVOLA 34 – Sezione C-C

Vedi Allegato: TAVOLA 35 – Particolari costruttivi 1-2-3

Vedi Allegato: TAVOLA 36 – Particolari costruttivi 4-5-6

Vedi Allegato: TAVOLA 37 – Particolari costruttivi 7-8

Vedi Allegato: TAVOLA 38 – Particolari costruttivi 9-10

Vedi Allegato: TAVOLA 39 – Particolari costruttivi 11-12

Vedi Allegato: TAVOLA 40 – Particolari costruttivi 13-14-15

Vedi Allegato: TAVOLA 41 – Particolari costruttivi 16-17

Vedi Allegato: TAVOLA 42 – Particolari costruttivi 18-19

Vedi Allegato: TAVOLA 43 – Blow Up 1

Vedi Allegato: TAVOLA 44: Blow Up 2

5.9 Sicurezza antincendio

Il progetto di sicurezza al fuoco deve essere integrato con il progetto architettonico per tutti gli edifici di nuova costruzione e presentato ai vigili del fuoco per la sua approvazione. In questo campo è necessario tener conto di diversi fattori, quali le attività sviluppate all'interno dell'edificio, la distribuzione geometrica degli spazi interni, gli aspetti strutturali dell'edificio, le caratteristiche di accesso e le modalità di ventilazione. Sono tre i livelli fondamentali entro cui si può far fronte al pericolo d'incendio ed intervenire prima che esso causi danni irreparabili. Il ruolo del progettista è fondamentale per quanto riguarda i primi due livelli: la progettazione deve garantire sostanzialmente che l'edificio riesca a resistere per il tempo utile alla salvezza dell'utenza.

- 1- La prevenzione: legata alla fase progettuale e alla gestione dell'edificio. Il progettista deve garantire che le scelte messe in opera durante la costruzione siano in grado di rispettare la normativa e l'edificio deve essere gestito in maniera da scongiurare l'innesco e la propagazione dell'incendio. La fase progettuale e l'uso dell'edificio sono profondamente legati nel senso che il progetto di sicurezza al fuoco si basa sulla definizione d'uso del palazzo.
- 2- L'allarme: realizzato attraverso dispositivi capaci di intervenire al verificarsi dell'evento per segnalarlo attraverso sistemi ottici e/o acustici, in maniera da favorire l'evacuazione e l'intervento di spegnimento.
- 3- L'intervento di spegnimento: garantito dall'azione dei vigili del fuoco. Lo sviluppo di un incendio in un ambiente e la sua propagazione agli ambienti circostanti, da luogo a tutta una serie di fenomeni chimico-fisici che interessano sia i materiali contenuti negli ambienti sia quelli costituenti le strutture.

La determinazione del carico d'incendio [C.d.i] cerca di prevedere il comportamento, nei confronti di un possibile incendio, degli elementi costruttivi, le cui caratteristiche di stabilità, tenuta al fumo ed isolamento termico [REI], sono ovviamente influenzate dai materiali combustibili contenuti nello spazio considerato. Il carico d'incendio Il punto 1.3 del D.M. 30.11.1983 definisce il carico di incendio come il *“Potenziale termico della totalità dei materiali combustibili contenuti in uno spazio, ivi compresi i rivestimenti dei muri, delle pareti provvisorie, dei pavimenti e dei soffitti. Convenzionalmente è espresso in chilogrammi di legno equivalente (potere calorifico inferiore 4.400 Kcal/kg)”*.

Per le scuole elementari viene fornito un valore di riferimento da normativa pari a 260 MJ/mq.

La definizione delle classi di edifici è data nell'articolo 3 della Circolare N.91 del 14.09.1961 che riguarda gli edifici civili con struttura in acciaio. Si distinguono le seguenti classi: classe 15, classe 30, classe 45, classe 60, classe 90, classe 120, classe 180.

Il numero indicativo di ogni classe esprime il carico di incendio virtuale in kg/m² di legna standard, ma anche la prima durata minima di resistenza al fuoco, in minuti, da richiedere alla struttura o all'elemento costruttivo considerato per la salvezza dell'utenza prima del crollo. La reazione al fuoco rappresenta il grado di partecipazione di un materiale combustibile alla propagazione dell'incendio. È possibile classificare i materiali a seconda della loro resistenza al fuoco nelle classi 0, 1, 2, 3, 4, 5 con l'aumentare della loro partecipazione alla combustione. I materiali in classe 0 sono incombustibili.

La resistenza al fuoco rappresenta l'attitudine di un elemento da costruzione (componente o struttura) a conservare, secondo un programma termico prestabilito e per un tempo determinato, in tutto o in parte: la stabilità R, la tenuta E, l'isolamento termico I, così definiti:

- stabilità: attitudine di un elemento da costruzione a conservare la resistenza meccanica sotto l'azione del fuoco;
- tenuta: attitudine di un elemento da costruzione a non lasciar passare né produrre - se sottoposto all'azione del fuoco su un lato - fiamme, vapori o gas caldi sul lato non esposto;
- isolamento termico: attitudine di un elemento da costruzione a ridurre, entro un dato limite, la trasmissione del calore.

Pertanto con la sigla:

- REI si identifica un elemento costruttivo che deve conservare, per un tempo determinato, la stabilità, la tenuta e l'isolamento termico;
- RE si identifica un elemento costruttivo che deve conservare, per un tempo determinato, la stabilità e la tenuta;
- R si identifica un elemento costruttivo che deve conservare, per un tempo determinato, la sola stabilità.

A seconda dei requisiti dimostrati, gli elementi strutturali vengono classificati da un numero che esprime i minuti primi. Per la classificazione degli elementi non portanti il criterio R è automaticamente soddisfatto qualora siano soddisfatti i criteri E e I.

5.9.1 Elementi per la sicurezza antincendio

Le Scale

La tipologia di scala da adottare varia a seconda della destinazione d'uso dell'edificio. Sostanzialmente esistono tre tipologie:

- Scala protetta: scala racchiusa entro gabbia costituita da pareti continue resistenti al fuoco e avente accesso diretto al pianerottolo di ogni piano;
- Scala a prova di fumo: scala realizzata entro gabbia costituita da pareti continue resistenti al fuoco e avente accesso, per ogni piano, da balcone esterno o da disimpegno completamente aperto su spazio a cielo scoperto per lo meno per un lato;
- Scala interna a prova di fumo: scala realizzata entro gabbia costituita da pareti continue resistenti al fuoco e avente accesso, per ogni piano, da disimpegno aerato (filtro a prova di fumo) a mezzo di condotte di ventilazione di adeguata sezione sfocianti al di sopra della copertura della gabbia medesima.

Inoltre è necessario definire un filtro a prova di fumo, ossia un vano delimitato da strutture con resistenza al fuoco REI predeterminata, e comunque non inferiore a 60 min, dotato di due o più porte munite di congegni di autochiusura con resistenza al fuoco REI predeterminata, e comunque non inferiore a 60 min, con:

- camino di ventilazione di sezione adeguata e comunque non inferiore a 0,10 m² sfociante al di sopra della copertura dell'edificio,
- oppure vano con le stesse caratteristiche di resistenza al fuoco e mantenuto in sovrappressione ad almeno 0,3 mbar, anche in condizioni di emergenza,
- oppure aerato direttamente verso l'esterno con aperture libere di superficie non inferiore a 1 m².

Il DM 9 aprile 1994 fornisce delle indicazioni per scegliere il tipo di scala in funzione della tipologia dell'edificio:

- per edifici da 2 a 6 piani fuori terra, le scale devono essere almeno di tipo "protetto"
- per edifici con più di 6 piani fuori terra devono essere di tipo "a prova di fumo"
- la larghezza non può essere inferiore a 1,20 m
- le rampe devono essere rettilinee e avere non meno di 3 gradini e non più di 15
- sono ammesse rampe non rettilinee a condizione che vi siano pianerottoli di riposo almeno ogni 15 gradini e che la pedata del gradino sia almeno di 30cm misurata a 40cm dal montante centrale o dal parapetto interno
- i gradini devono avere alzata e pedata costanti, rispettivamente non superiore a 17cm e non inferiore a 30cm.

All'interno del progetto si dovrebbero adottare scale protette, tuttavia l'edificio presenta diverse aperture direttamente sull'esterno o scale direttamente all'aperto.

Le vie di fuga

L'obiettivo del dimensionamento delle vie di fuga è di consentire lo sfollamento degli occupanti in modo che possano, prima di essere soggetti ai rischi dell'incendio, allontanarsi dalle zone pericolose e portarsi in luoghi sicuri. Per permettere questa evacuazione organizzata, bisogna realizzare dei percorsi di sfollamento sicuri con larghezze commisurate

alla massima presenza di persone e contenere adeguatamente la lunghezza dei percorsi. Per determinare la larghezza delle vie di fuga ci si riferisce al Decreto Ministeriale del 30 novembre 1983.

Capacità di deflusso o di sfollamento

Rappresenta il numero massimo di persone che, in un sistema di vie d'uscita, si presume possano defluire attraverso una uscita di “modulo uno”. Tale dato, stabilito dalla norma, tiene conto del tempo occorrente per lo sfollamento ordinato di un compartimento. Nel caso di scuole elementari la capacità di deflusso è pari a 60 pers/mod.

$$C = N_p / M \text{ [pers/mod]}$$

Dove:

C = capacità di deflusso

N_p = numero di persone

M = numero di moduli presenti

Densità di affollamento

Rappresenta il numero massimo di persone assunto per unità di superficie lorda di pavimento espressa in persone/m².

Larghezza delle uscite di ciascun compartimento

Rappresenta il numero complessivo di moduli di uscita necessari allo sfollamento totale del compartimento.

USCITE DI SICUREZZA					
Piano	Numero di persone stimato N [pers]	Capacità di deflusso [pers/mod]	N/C	Moduli	Porte di sicurezza
Livello 0	100	60	1,67	2	1
Livello 1	280	60	4,67	5	3
Livello 2	140	60	2,33	3	2

Luogo sicuro

Spazio scoperto ovvero compartimento antincendio separato da altri compartimenti mediante spazio scoperto o filtri a prova di fumo. Un luogo sicuro deve essere statico e dinamico. Nel primo caso deve avere caratteristiche idonee a ricevere e contenere un predeterminato numero di persone. Nel secondo caso deve consentirne il movimento ordinato delle persone.

Modulo di uscita

Unità di misura della larghezza delle uscite di sicurezza. Il “modulo uno”, che si assume uguale a 0,60 m, esprime la larghezza media occupata da una persona.

Sistema di vie di fuga

Percorso senza ostacoli al deflusso che consente alle persone che occupano un edificio o un locale di raggiungere un luogo sicuro. La lunghezza massima del sistema di vie di uscita e stabilità dalle norme.

Uscita di sicurezza

Apertura atta a consentire il deflusso di persone verso un luogo sicuro avente altezza non inferiore a 2,00 m.

Gli estintori

L'obiettivo consiste nel rendere il più immediato possibile l'uso degli estintori e consentire che l'azione estinguente sia efficace sul focolaio ipotizzabile. La disposizione degli estintori deve essere tale da garantire che da ogni punto dell'attività pericolosa questi siano raggiungibili con un percorso libero da ostacoli non superiore a 25 metri. La capacità estinguente deve essere commisurata al volume del principio di incendio ragionevolmente ipotizzabile: per un carico d'incendio di sostanze della classe A non superiore a 30 kg/mq si potrà fare riferimento ad una capacità estinguente non inferiore a 13 A mentre per un carico d'incendio non superiore a 50 kg/mq a 21 A.

Di seguito è rappresentata una tabella indicante le classi d'incendio in relazione alle quali può essere scelto l'estinguente appropriato:

Classe A: Fuochi da materiali solidi combustibili (legno, carta, ecc.)

Classe B: Fuochi da liquidi infiammabili e/o combustibili (olio, benzine, ecc.)

Classe C: Fuochi da gas

Classe D: Fuochi da sostanze spontaneamente combustibili (nitrati, permanganati, perossidi, etc.)

Classe E: Fuochi su impianti elettrici

Facendo riferimento all'articolo 11 del DM del 9 aprile 1994 sugli impianti di estinzione incendi si può affermare che: gli estintori devono essere distribuiti omogeneamente all'interno dell'area da proteggere, in particolare devono essere presenti in prossimità degli accessi e delle aree di maggior pericolo. Gli estintori devono essere ubicati in posizione facilmente accessibile e visibile, con apposita segnalazione. Gli estintori portatili devono essere installati in ragione di uno ogni 200 mq di pavimento, o frazione, con un minimo di un estintore per piano. Gli estintori portatili dovranno avere capacità estinguente non inferiore a 13 A-89 B; a protezione di aree ed impianti a rischio specifico devono essere previsti estintori di tipo idoneo.

5.9.2 Specificità per la scuola elementare

Per prima cosa si deve classificare il tipo di scuola in base al numero di utenti. In questo caso l'utenza massima prevista è pari 285 persone, essendo compresa tra 101 e 300 persone è classificata come tipo 1.

Si devono prevedere accessi per le vetture dei vigili del fuoco di larghezza pari ad almeno 3,5 m, con altezza libera da ingombri di almeno 4 m. la pendenza in corrispondenza degli accessi non deve superare il 10% e i percorsi devono avere una resistenza al carico di almeno 20 tonnellate.

Per l'involucro le strutture portanti devono avere una classe R60, le strutture separanti REI60 e i materiali superficiali devono essere in classe 0.

Per il calcolo dell'affollamento dei locali si utilizzerà un valore pari a 26 per le aule didattiche e i laboratori che rappresenta il numero massimo degli alunni, per i locali di servizio si utilizza il numero di persone effettivamente presente incrementato del 20% mentre per la mensa si utilizza un indice pari a 0,4 pers/m².

Le uscite di sicurezza sono presenti in ogni piano in posizioni diametralmente opposte rispetto all'edificio e danno accesso ad un luogo sicuro direttamente all'esterno. La lunghezza massima delle vie di fuga deve essere non superiore a 60 m.

Per quanto riguarda le scale deve essere presente, oltre a quella normale di servizio, almeno una scala di sicurezza esterna oppure una scala a prova di fumo oppure una scala di fumo interna. In questo caso sono presenti due scale di servizio e una scala esterna.

Gli estintori devono essere disposti vicino alle uscite di sicurezza, almeno due per piano e devono coprire un'area non superiore a 200 m². Si dispongono tre estintori a livello 0 nella zona mensa, mentre per gli altri due piani devono essere almeno sei. Per ogni piano è presente almeno un idrante con attacco UNI 45. Come sistemi di segnalazione sono previsti

campanelli d'allarme e degli impianti di rilevazione automatica d'incendio solo nel caso di locali con carichi d'incendio maggiori di 30 kg/m².

Per lo spazio deposito e archivio sono previste porte REI 60, strutture di compartimentazione REI 60, una superficie finestrata per consentire l'aerazione almeno pari ad 1/40 della superficie in pianta del locale. Deve essere presente almeno un estintore ogni 21 m² con capacità estinguente almeno 21A. in questo caso il carico d'incendio specifico per il locale è inferiore a 30 kg/m², quindi l'impianto di spegnimento automatico non è richiesto.

Vedi Allegato: TAVOLA 45 – Sicurezza antincendio livello 0

Vedi Allegato: TAVOLA 46 – Sicurezza antincendio livello 1

Vedi Allegato: TAVOLA 47 – Sicurezza antincendio livello 2

Conclusioni

La descrizione dettagliata del progetto della scuola elementare permette di evidenziare come lo studio delle diverse soluzioni sia guidato da diversi principi: il primo è il raggiungimento di livelli di benessere visivo, acustico e termico igrometrico per l'utenza, i fruitori devono sentirsi a loro agio all'interno dell'edificio e devono essere invogliati a frequentarlo, viceversa la progettazione si rivela un fallimento. Il secondo è la qualità estetica, l'architettura deve essere bella, oltre che funzionale. L'edificio deve essere apprezzato da chiunque lo osservi fino ad essere considerato un esempio di architettura moderna di qualità. Il terzo principio che governa la progettazione è l'efficienza energetica: si parte dallo sfruttamento delle risorse che offre il contesto, quali il corretto orientamento, le brezze per la ventilazione che devono essere integrate con sistemi passivi quali il corretto posizionamento di aperture vetrate, l'utilizzo di schermature e aggetti, l'inserimento di serre bioclimatiche. Piccoli accorgimenti progettuali, un involucro performante e un sistema impiantistico efficiente permettono così di ottenere un'architettura a zero emissioni e a ridottissimi consumi energetici.

Analisi strutturali

La struttura della scuola elementare si presenta sdoppiata: una struttura di forma regolare per quanto riguarda le aule didattiche costituita da travi e pilastri in acciaio e solette con lamiera grecata e getto collaborante e nuclei di controvento a C in calcestruzzo armato ed un' altra comprendente l' atrio, i laboratori, gli spazi dedicati ad insegnanti e personale A.T.A. ed aula polivalente più complessa in quanto le luci sono importanti ed i carichi maggiori rispetto a quelli della aule e che è quindi formata da solai a piastra incastrati in setti in calcestruzzo armato e pilastri in acciaio, dove i setti in c.a. hanno anche la funzione di offrire rigidezza alla struttura per contrastare le spinte orizzontali.

Nel Capitolo 6.1 verrà analizzata la struttura delle aule didattiche, mentre nel Capitolo 6.2 si potrà vedere lo studio effettuato per il dimensionamento di una piastra.

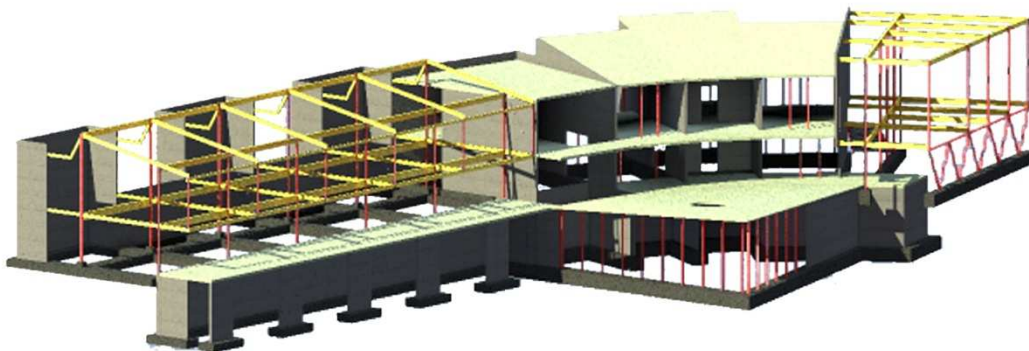


Figura 1: Struttura dell' edificio

6.1 Struttura dell' ala con le aule didattiche

Per quanto riguarda il lato delle aule didattiche, la modularità in pianta ben si presta ad una struttura a travi e pilastri in acciaio in quanto è facilmente individuabile una maglia strutturale regolare, con una luce massima di 7,55 m.

La possibilità di inserire delle serre bioclimatiche non costituisce un problema per gli schemi statici, in quanto avrebbero una struttura indipendente a telaio composta da tubolari in acciaio che scaricano completamente a terra e si attaccherebbero alla struttura solo per aumentare le reciproche rigidità; inoltre nel piano la tenuta alle spinte orizzontali è garantita dalla presenza di croci di san' andrea a quota 3 m ed in corrispondenza della vetrata superiore.

Gli schemi strutturali considerati sono quelli sotto riportati, dove lo schema A-A' rappresenta l' andamento delle forze corrispondente alla sezione A-A', ossia dove non sono presenti i blocchi bagno, mentre lo schema B-B' corrisponde alla sezione B-B' dove ci sono i blocchi bagno in calcestruzzo armato.

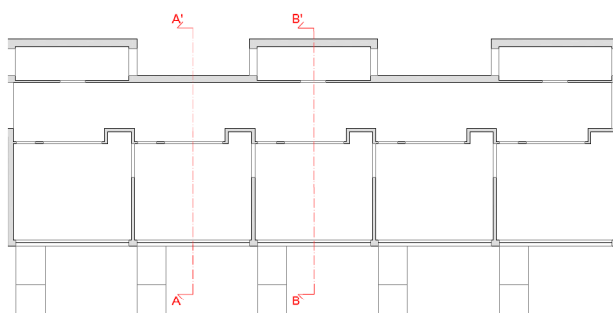


Figura 3: Navigatore

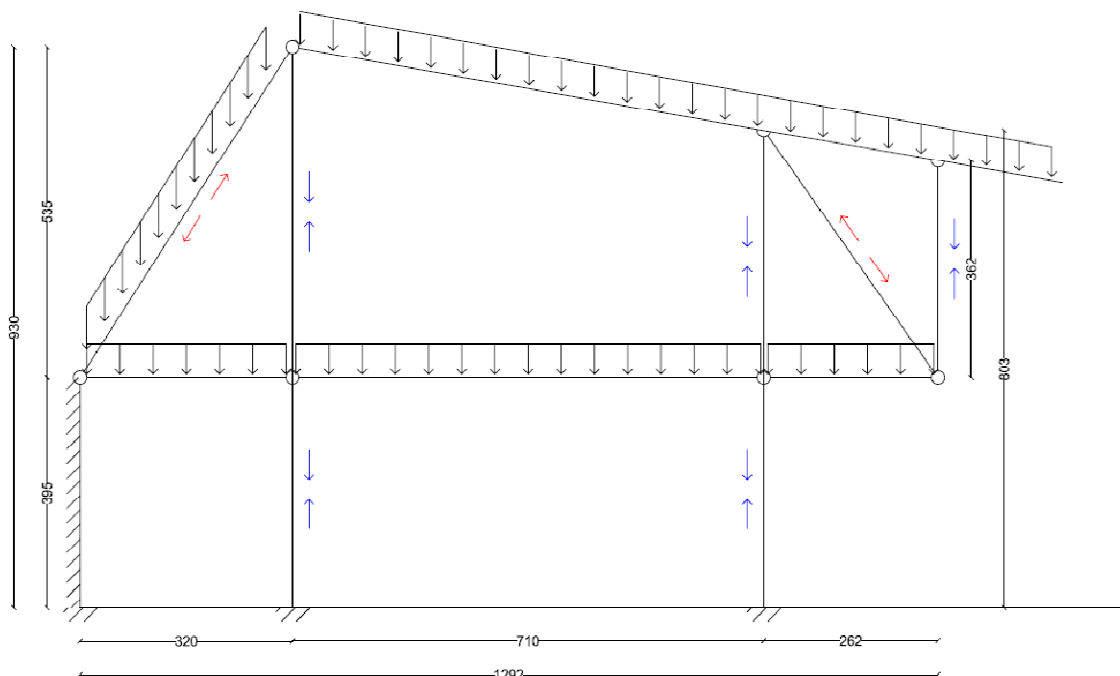


Figura 3: Schema statico A-A'

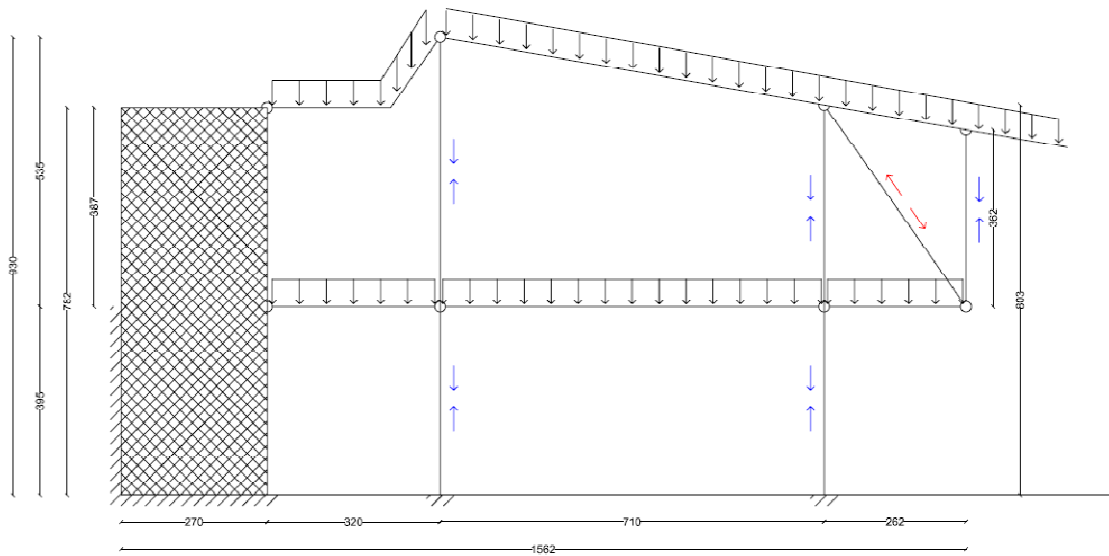


Figura 4: Schema statico B-B'

*Vedi Allegato: TAVOLA 48 – Pianta strutturali zona aule didattiche livello -3
 Vedi Allegato: TAVOLA 49 – Pianta strutturali zona aule didattiche livello 0
 Vedi Allegato: TAVOLA 50 – Pianta strutturali zona aule didattiche livello 3,5
 Vedi Allegato: TAVOLA 51 – Pianta strutturali zona aule didattiche livello 9
 Vedi Allegato: TAVOLA 52 – Sezione strutturale A-A'
 Vedi Allegato: TAVOLA 53 – Sezione strutturale B-B'*

6.1.1 Analisi dei carichi

Per il calcolo dei carichi gravanti sulla struttura si è partiti dai pesi dei pacchetti.

La soletta d'interpiano è in lamiera grecata e getto collaborante, mentre la copertura è in metallo poggiate su arcarecci ed assito in legno nelle porzioni inclinate esposte ad ovest e con pannelli fotovoltaici inclinati nelle coperture orientate ad est e con lamiera grecata e getto collaborante in corrispondenza delle coperture piane sopra i blocchi bagno.

Tabella 1: Peso del solaio d'interpiano

SOLAIO P1			
Materiale	s [m]	ρ [kN/m ³]	P [kN/m ²]
Lamiera grecata			0,09
Calcestruzzo	0,05	24,00	1,20
Massetto impiantistico	0,05	4,80	0,24
Pannelli radianti	0,03	1,20	0,03
Sottofondo Lecacem	0,04	6,00	0,24
Linoleum	0,00		0,04
P.O.01			1,75

Tabella 2: Peso della copertura in lamiera metallica e pannelli fotovoltaici

COPERTURA F.V.			
Materiale	s [m]	ρ [kN/m ³]	P [kN/m ²]
Lamiera Kalzip con FV	0,001		0,07
Pannello legno	0,02	4,80	0,10
PE	0,05	0,38	0,02
Pannello legno	0,02	4,80	0,10
Lana di roccia	0,14	0,40	0,06
Lana di roccia	0,10	0,70	0,07
Lana di roccia	0,02	0,40	0,01
Controsoffitto	0,01	9,00	0,11
C.O.02			0,53

Tabella 3: Peso della copertura con ghiaia

COPERTURA GHIAIA			
Materiale	s [m]	ρ [kN/m ³]	P [kN/m ²]
Ghiaia	0,05	10,00	0,50
Massetto	0,04	10,00	0,35
PE	0,05	0,38	0,02
ClS	0,05	24,00	1,08
Pannello legno	0,02	4,80	0,10
Lana di roccia	0,14	0,40	0,06
Lana di roccia	0,08	0,70	0,06
Lana di roccia	0,02	0,40	0,01
Controsoffitto	0,01	9,00	0,11
C.O.04			2,28

Tabella 4: Peso del solaio su spazi aperti

CHIUSURA SU SPAZI APERTI			
Materiale	s [m]	ρ [kN/m ³]	P [kN/m ²]
Linoleum	0,00		0,04
Sottofondo Lecacem	0,04	6,00	0,24
Anticalpestio	0,02	1,40	0,03
Argilla espansa	0,10	4,80	0,48
ClS	0,05	24,00	1,08
Lamiera grecata			0,09
Lana di roccia	0,14	0,40	0,06
Lana di roccia	0,08	0,70	0,06
Lana di roccia	0,02	0,40	0,01
Controsoffitto	0,01	9,00	0,11
C.O.05			2,22

Tabella 5: Peso del solaio in predalles

SOLAIO IN PREDALLES			
Materiale	s [m]	ρ [kN/m ³]	P [kN/m ²]
ClS	0,05	24,00	1,20
Pane	0,15	0,40	0,06
ClS	0,05	24,00	1,20
Terreno	0,05	26,00	1,30
C.O.06			3,76

Per dimensionare la lamiera grecata utilizzata si sono usati gli schemi statici proposti da profilario; in particolare abbiamo scelto una lamiera grecata in acciaio tipo Marcegaglia modello EGB210 dello spessore di 0,7 mm, altezza 55 mm e interasse tra le greche di 150 mm, a cui corrisponde un peso di 0,0916 kN/m².

I pesi così individuati sono stati inseriti nelle combinazioni di carico presenti nella normativa vigente N.T.C. 2008, insieme al carico da neve ed ai sovraccarichi.

Il dimensionamento del solaio in lastre predalles sito sopra la zona archivio è sotto riportato. Lo schema statico utilizzato è quello di trave incastrata agli estremi, che è stato risolto con il metodo degli spostamenti, inserendo due blocchetti agli estremi in modo da risolvere l'iperstaticità.

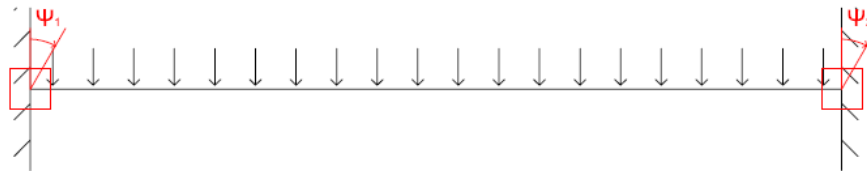


Figura 5: Schema statico della trave incastrata da risolvere con il metodo degli spostamenti

Per risolvere la struttura sopra viene inserito il seguente sistema:

$$\begin{cases} m_{11} \varphi_1 + m_{12} \varphi_2 + m_{10} = 0 \\ m_{21} \varphi_1 + m_{22} \varphi_2 + m_{20} = 0 \end{cases}$$

Dove le incognite m_{21} φ_1 rappresentano le rotazioni ai nodi e per il calcolo dei coefficienti si considerano i valori tabulati, ricavati dal corollario di Mohr.

Tabella 6: Calcolo dei coefficienti

	m_{x1}	m_{x2}	m_{x0}
m_{1x}	0,84	0,42	4,96
m_{2x}	0,42	0,84	-4,96

Tabella 7: Calcolo delle rotazioni ai nodi

INVERSA			
1,58	-0,79	ψ_1	11,79
-0,79	1,58	ψ_2	-11,79

Vengono quindi definiti i valori dei momenti e dei tagli che andranno a definire i valori sugli estremi incastrati.

Tabella 8: Calcolo di M e V

x [m]	V (x)	M (x)
0,00	-6,27	9,93
0,24	-5,64	8,51
0,48	-5,02	7,25
0,71	-4,39	6,13
0,95	-3,76	5,16
1,19	-3,14	4,34
1,43	-2,51	3,67
1,66	-1,88	3,15
1,90	-1,25	2,78
2,14	-0,63	2,56
2,38	0,00	2,48
2,61	0,63	2,56
2,85	1,25	2,78
3,09	1,88	3,15
3,33	2,51	3,67
3,56	3,14	4,34
3,80	3,76	5,16
4,04	4,39	6,13
4,28	5,02	7,25
4,51	5,64	8,51
4,75	6,27	9,93

I valori di taglio e momento massimo si hanno agli estremi.

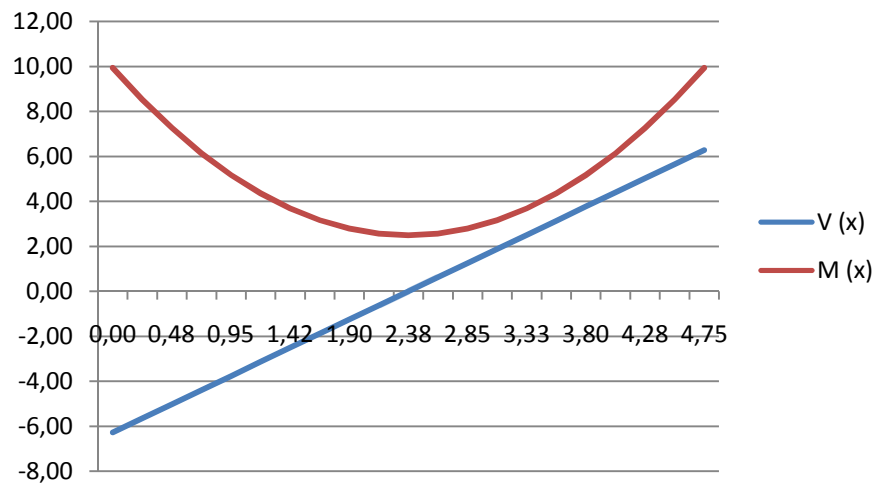


Figura 6: Andamento del taglio e del momento nel solaio in lastre predalles

Questi dati sono stati inseriti in un foglio di calcolo, dopo aver ipotizzato una stratigrafia di 5 cm di getto, 15 cm di pane ed altri 5 di getto e sono stati quindi verificati.

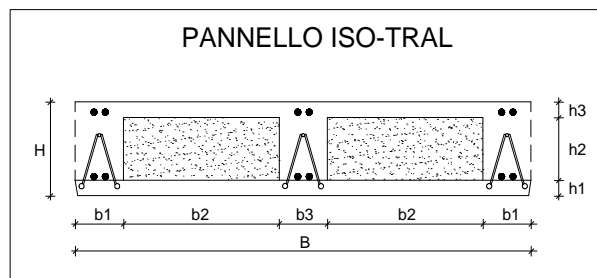


Figura 7: Schematizzazione lastra predalles

Tabella 9: Calcolo di M e V

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE	
h_1 [cm]	5
h_2 [cm]	15
h_3 [cm]	5
b_1 [cm]	12
b_2 [cm]	41
b_3 [cm]	14
H [cm]	25
B [cm]	120
$h_{+ \text{ utile}}$ [cm]	19
$h_{- \text{ utile}}$ [cm]	22
c [cm]	3

Dove $h_{+/- \text{ utile}}$ rappresenta l' altezza utile per il contributo del momento positivo/ negativo, calcolata come

$$h_{+ \text{ utile}} = H - h_1 - l$$

$$h_{- \text{ utile}} = H - c$$

Tabella 10: Caratteristiche dei materiali

CARATTERISTICHE MATERIALI	
n	15
R _{ck} [kg/cm ²]	300
s _{cls} [kg/cm ²]	97,5
t _{cls} [kg/cm ²]	6
s _s [kg/cm ²]	2600

n: coefficiente di omogeneizzazione

s_{cls}: tensione normale ammissibile per il calcestruzzo

t_{cls}: tensione tangenziale ammissibile per il calcestruzzo senza aggiunta di armatura di taglio

s_s: tensione normale ammissibile per l' acciaio

Tabella 11: Sollecitazioni massime agenti

CARATTERISTICHE SOLLECITAZIONE	
M - [kgm]	993
M + [kgm]	3537
T [kg]	2979

Il momento negativo è stato calcolato con il metodo degli spostamenti come sopra, il momento positivo come momento massimo in campata e quindi, secondo una conformazione appoggio- appoggio vale

$$M = \frac{p l^2}{8}$$

Per il taglio si è preso il maggiore tra le due configurazioni che è risultato quello in appoggio e quindi vale

$$V = \frac{p l}{2}$$

Tabella 12: Ipotesi di armatura

ARMATURA	
A sup (cmq)	4,8
A inf (cmq)	7,9

Le aree di armatura ipotizzate sono state quindi verificate.

Tabella 13: Verifiche

RISULTATI	MOMENTO POSITIVO		MOMENTO NEGATIVO	
y [cm]	5,22		6,80	
J [cm ⁴]	28191		20617	
W+ [cm ³]	5399		3032,	
W- [cm ³]	2046		1356	
s _{cls} [kg/cm ²]	65,5	VERO	32,75	VERO
s _s [kg/cm ²]	2593	VERO	1098,06	VERO
t _{cls} [kg/cm ²]	4,58	VERO	4,58	VERO

y: distanza dell' asse neutro dal lembo compresso delle sezione

J: momento d' inerzia ideale della sezione

W+: modulo di resistenza della sezione per s_{cls}

W-: modulo di resistenza della sezione per s_s

Il peso della neve gravante sulle coperture viene valutato mediante la seguente formula, da normativa:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

q_s : carico sulla copertura

μ_i : coefficiente di forma

Tabella 3.4.II – Valori del coefficiente di forma

Coefficiente di forma	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_i	0,8	$0,8 \cdot \frac{(60 - \alpha)}{30}$	0,0

Figura 8: Valori del coefficiente di forma da N.T.C. 2008

q_{sk} : valore caratteristico di riferimento del carico da neve al suolo per un periodo di ritorno di 50 anni e dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità delle precipitazioni nevose sul territorio.

Zona I - Alpina		
Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza:		
$q_{sk} = 1,50 \text{ kN/m}^2$	$a_s < 200 \text{ m}$	(3.3.8)
$q_{sk} = 1,39 [1 + (a_s/728)^2] \text{ kN/m}^2$	$a_s > 200 \text{ m}$	

Figura 9: Valori di q_{sk} da N.T.C. 2008

La formula utilizzata quella riquadrata in rosso, essendo il Comune di Cenate Sopra ad un' altezza di 330 m s.l.m..

C_E è il coefficiente di esposizione

Tabella 3.4.I – Valori di C_E per diverse classi di topografia

Topografia	Descrizione	C_E
Battuta dai venti	Aree pianeggianti non ostruite esposte su tutti i lati, senza costruzioni o alberi più alti	0,9
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi	1,0
Riparata	Aree in cui la costruzione considerata è sensibilmente più bassa del circostante terreno o circondata da costruzioni o alberi più alti	1,1

Figura 10: Valori del coefficiente d' esposizione da N.T.C. 2008

C_t è il coefficiente termico che considera lo scioglimento della neve e il rispettivo abbattimento del carico; tale coefficiente si basa sull' isolamento termico che fornisce la copertura e in mancanza di dati più certi è posto unitario.

Tabella 14: Determinazione del carico da neve

	α [°]	μ_i	a_s [m]	q_{sk}	C_E	C_t	q_s [kN/m ²]
coperture piane	0	0,8	330	1,68	1	1	1,34
copertura est	10	0,8	330	1,68	1	1	1,34
copertura ovest	59	0,03	330	1,68	1	1	0,04

Oltre al carico da neve vanno inseriti i sovraccarichi in esercizio, secondo i valori stabiliti dal N.T.C. 2008.

Tabella 3.1.II - Valori dei carichi d'esercizio per le diverse categorie di edifici

Cat.	Ambienti	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]	H_k [kN/m]
A	Ambienti ad uso residenziale. Sono compresi in questa categoria i locali di abitazione e relativi servizi, gli alberghi. (ad esclusione delle aree suscettibili di affollamento)	2,00	2,00	1,00
B	Uffici. Cat. B1 Uffici non aperti al pubblico Cat. B2 Uffici aperti al pubblico	2,00 2,00	2,00 2,00	1,00 1,00
C	Ambienti suscettibili di affollamento	3,00	2,00	1,00
	Cat. C1 Caserelli, ristoranti, caffè, banche, scuole	4,00	4,00	2,00
	Cat. C2 Balconi, ballatoi e scale comuni, sale convegni, cinema, teatri, chiese, tribune con posti fissi	5,00	5,00	3,00
	Cat. C3 Ambienti privi di ostacoli per il libero movimento delle persone, quali musei, sale per esposizioni, stazioni ferroviarie, sale da ballo, palestre, tribune libere, edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune			
D	Ambienti ad uso commerciale. Cat. D1 Negozi Cat. D2 Centri commerciali, mercati, grandi magazzini, librerie...	4,00 5,00	4,00 5,00	2,00 2,00
E	Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale. Cat. E1 Biblioteche, archivi, magazzini, depositi, laboratori manifatturieri Cat. E2 Ambienti ad uso industriale, da valutarsi caso per caso	≥ 6,00 —	6,00 —	1,00* —
F-G	Rimesse e parcheggi. Cat. F Rimesse e parcheggi per il transito di automezzi di peso a pieno carico fino a 30 kN Cat. G Rimesse e parcheggi per transito di automezzi di peso a pieno carico superiore a 30 kN; da valutarsi caso per caso	2,50 —	2 x 10,00 —	1,00** —
H	Coperture e sottotetti Cat. H1 Coperture e sottotetti accessibili per sola manutenzione Cat. H2 Coperture praticabili Cat. H3 Coperture speciali (impianti, eliporti, altri) da valutarsi caso per caso	0,50 — —	1,20 — —	1,00 — —

Figura 11: Valori dei sovraccarichi d'esercizio da N.T.C. 2008

Le combinazioni si trovano anch'esse nella normativa, così pure coefficienti necessari.

2.5.3 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al § 2.7:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.2)$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.3)$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.4)$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E (v. § 3.2):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.5)$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto A_d (v. § 3.6):

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad (2.5.6)$$

Figura 12: Combinazioni di carico da N.T.C. 2008

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimessa e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Figura 13: Valori dei coefficienti di combinazione da N.T.C. 2008

Tabella 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Figura 14: Valori dei coefficienti parziali da N.T.C. 2008

I coefficienti parziali da utilizzare sono quelli sfavorevoli.

Tabella 15: Combinazione fondamentale (S.L.U.)

COMBINAZIONE FONDAMENTALE (S.L.U.)								
	G_2	γ_{G2}	Q_{K1}	γ_{Q1}	Q_{K2}	γ_{Q2}	ψ_{02}	P [kN/m ²]
soletta P1	1,75	1,5	3,00	1,5		1,5	0,7	7,12
sbalzo P1	2,22	1,5	3,00	1,5		1,5	1,7	7,83
copertura FV	0,53	1,5	0,50	1,5	1,34	1,5	0,7	2,95
copertura metallo ovest	0,53	1,5	0,50	1,5	0,04	1,5	0,7	1,59
copertura ghiaia	2,28	1,5	0,50	1,5	1,34	1,5	0,7	5,57

Tabella 16: Combinazione caratteristica – rara (S.L.E.)

COMBINAZIONE CARATTERISTICA - RARA (S.L.E.)					
	G ₂	Q _{K1}	Q _{K2}	ψ ₀₂	P [kN/m ²]
soletta P1	1,75	3		0,7	4,75
sbalzo P1	2,22	3		0,7	5,22
copertura FV	0,53	1,34	0,50	0,7	2,22
copertura metallo ovest	0,53	0,5	0,04	0,7	1,06
copertura ghiaia	2,28	0,5	1,34	0,7	3,72

Tabella 17: Combinazione frequente (S.L.E.)

COMBINAZIONE FREQUENTE (S.L.E.)						
	G ₂	Q _{K1}	ψ ₁₁	Q _{K2}	ψ ₂₂	P [kN/m ²]
soletta P1	1,75	3,00	0,7		0,6	3,85
sbalzo P1	2,22	3,00	0,7		0,6	4,32
copertura FV	0,53	1,34	0,7	0,50	0,6	1,77
copertura metallo ovest	0,53	0,50	0,7	0,04	0,6	0,90
copertura ghiaia	2,28	1,34	0,7	0,50	0,6	3,52

Tabella 18: Combinazione frequente senza i pesi propri (S.L.E.)

COMBINAZIONE FREQUENTE (S.L.E.)					
	Q _{K1}	ψ ₁₁	Q _{K2}	ψ ₂₂	P [kN/m ²]
soletta P0	3	0,7		0,6	2,10
soletta P1	3	0,7		0,6	2,10
sbalzo P1	3	0,7		0,6	2,10
copertura FV	1,34	0,7	0,5	0,6	1,24
copertura metallo ovest	0,04	0,7	0,5	0,6	0,33
copertura ghiaia	1,34	0,7	0,5	0,6	1,24

Come mostra la tabella, qualora siano presenti più carichi variabili che vadano a gravare su una stessa soletta, si moltiplica il peso maggiore per i coefficienti γ e ψ più alti, in modo da ottenere la combinazione di carico più alta, restando a favore di sicurezza.

6.1.2 Dimensionamento travi secondarie

Si è scelto di dimensionare le travi già in condizione di verifica; partendo dall'analisi della prima soletta si sceglie una trave secondaria, si considera il carico gravante su essa considerando come peso distribuito del solaio quello che risulta dalla combinazione dei carichi allo S.L.U. o allo S.L.E. secondo la combinazione frequente e si distribuisce linearmente il carico considerando metà dell'interasse tra le trave presa in esame e le travi vicine.

Verifica allo S.L.U.

Il momento flettente di calcolo M_{Ed} dipende dallo schema statico della trave; nel caso di appoggio – appoggio, questo vale

$$M_{Ed} = pl^2/8$$

La verifica da rispettare la seguente:

$$\frac{M_{ED}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Il valore $M_{c,Rd}$ è definito nel D.M. 14/01/2008 che mostra i calcoli da eseguire per la verifica a flessione retta.

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad \text{per le sezioni di classe 1 e 2;}$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad \text{per le sezioni di classe 3;}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} \quad \text{per le sezioni di classe 4.}$$

Si vuole ora determinare la classe in base al tipo di trave utilizzata; dal momento che si è scelto di utilizzare per la struttura in esame un sistema di travi di tipo IPE, si utilizzerà la tabella a seguire.

Tabella 4.2.I - Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse

		Parti interne compresse		
				Inflessione intorno all'asse
				Inflessione intorno all'asse
Classe	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a flessione e a compressione	
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)				
1	$c/t \leq 72\epsilon$	$c/t \leq 33\epsilon$	quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$	

Figura 15: Tabella per definire la classe degli elementi strutturali da N.T.C. 2008

Il valore della tensione caratteristica di snervamento f_{yk} è stato preso dalla tabella seguente.

Tabella 11.3.IX – Laminati a caldo con profili a sezione aperta

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f_{yk} [N/mm ²]	f_{yk} [N/mm ²]	f_{yk} [N/mm ²]	f_{yk} [N/mm ²]
UNI EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	420	550
UNI EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
UNI EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
UNI EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490

Figura 16: Determinazione della tensione caratteristica dell'acciaio da N.T.C 2008

Si utilizzano travi in acciaio tipo S275.

È stato scelto un range di trave IPE e con i dati necessari presi da profilario è stata stabilita la classe.

Tabella 9: Determinazione della classe delle travi IPE

TRAVE	H	e	r	c	t	ε	c/t	72*ε	VERIFICA c/t < 72*ε	CLASSE
IPE 100	100	5,7	7	74,60	4,1	0,92	18,20	66,24	si	classe 1
IPE 120	120	6,3	7	93,40	4,4	0,92	21,23	66,24	si	classe 1
IPE 140	140	6,9	7	112,20	4,7	0,92	23,87	66,24	si	classe 1
IPE 160	160	7,4	9	127,20	5	0,92	25,44	66,24	si	classe 1
IPE 180	180	8,0	9	146,00	5,3	0,92	27,55	66,24	si	classe 1
IPE 200	200	8,5	12	159,00	5,6	0,92	28,39	66,24	si	classe 1
IPE 220	220	9,2	12	177,60	5,9	0,92	30,10	66,24	si	classe 1
IPE 240	240	9,8	15	190,40	6,2	0,92	30,71	66,24	si	classe 1
IPE 270	270	10,2	15	219,60	6,6	0,92	33,27	66,24	si	classe 1
IPE300	300	10,7	15	248,60	7,1	0,92	35,01	66,24	si	classe 1
IPE330	330	11,5	18	271,00	7,5	0,92	36,13	66,24	si	classe 1
IPE400	400	13,5	21	331,00	8,6	0,92	38,49	66,24	si	classe 1
IPE450	450	14,6	21	378,80	9,4	0,92	40,30	66,24	si	classe 1
IPE500	500	16,0	21	426,00	10,2	0,92	41,76	66,24	si	classe 1
IPE 550	550	17,2	24	467,60	11,1	0,92	42,13	66,24	si	classe 1

Si stabilisce quindi il valore di $M_{c,Rd}$ corrispondente.

Tabella 20: Determinazione del momento resistente delle travi IPE

TRAVE	$W_{pl} (m^3)$	$f_{yk} (kN/m^2)$	γ_{mo}	$M_{c,Rd}$
IPE 100	0,00004	275000	1,05	10,32
IPE 120	0,00006	275000	1,05	15,92
IPE 140	0,00009	275000	1,05	23,15
IPE 160	0,00012	275000	1,05	32,42
IPE 180	0,00017	275000	1,05	43,58
IPE 200	0,00022	275000	1,05	57,62
IPE 220	0,00029	275000	1,05	74,90
IPE 240	0,00037	275000	1,05	95,86
IPE 270	0,00048	275000	1,05	126,76
IPE300	0,00063	275000	1,05	164,48
IPE330	0,00080	275000	1,05	210,57
IPE400	0,00131	275000	1,05	342,31
IPE450	0,00170	275000	1,05	445,76
IPE500	0,00219	275000	1,05	574,62
IPE 550	0,00279	275000	1,05	729,93

Si confronta il valore del momento ottenuto dal calcolo relativo alla combinazione di carichi e si sceglie quindi la trave appropriata come mostrato nei calcoli seguenti eseguiti soletta per soletta.

Tabella 21: Dimensionamento secondarie di interpiano allo S.L.U.

P1						
TRAVE	i PRIMARIE [m]	i SECONDARIE [m]	P DISTRIBUITO [KN/m ²]	P LINEARE [KN/m]	M_{ed} [kNm]	TRAVE POSSIBILE
SBALZO	2,62	1,89	7,83	14,77	12,68	IPE120
AULE	7,10	1,89	7,12	13,44	84,67	IPE240
BAGNI	5,65	1,89	7,12	13,44	53,62	IPE200

Tabella 22: Dimensionamento secondarie di copertura allo S.L.U.

COPERTURA						
TRAVE	i PRIMARIE [m]	i SECONDARIE [m]	P DISTRIBUITO [KN/m ²]	P LINEARE [KN/m]	M_{ed} [kNm]	TRAVE POSSIBILE
SBALZO	2,66	1,89	2,95	5,57	4,92	IPE100
AULE	7,21	1,89	2,95	5,57	36,16	IPE180
BAGNI	2,45	1,89	5,57	10,52	7,89	IPE100
TRAVE GOM	3,87	1,89	3,58	6,76	12,65	IPE120
COP INCL O	5,72	1,89	1,59	3,00	12,27	IPE120

Verifica allo S.L.E.

Allo stato limite di esercizio si verifica che la deformabilità rispetti i limiti imposti da normativa: si determina lo spostamento elastico della trave dovuto ai soli carichi permanenti δ_1 e quello dovuto ai soli carichi variabili δ_2 .

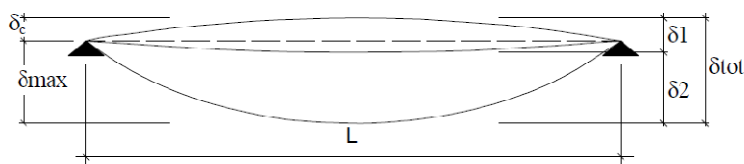


Figura 4.2.1 - Definizione degli spostamenti verticali per le verifiche in esercizio

Figura 17: Schema per la determinazione della freccia

Sarà necessario verificare che siano rispettati i seguenti limiti:

Tabella 4.2.X Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie

Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{max}}{L}$	$\frac{\delta_2}{L}$
Coperture in generale	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$
Coperture praticabili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai in generale	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{350}$
Solai che supportano colonne	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{500}$
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	$\frac{1}{250}$	

In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.

Figura 18: Freccie massime ammissibili

Successivamente in base all'intersezione tra travi diverse si è verificato che le dimensioni delle travi primarie risultino sempre maggiori o uguali alle secondarie in modo da rendere possibili

Tabella 23: Dimensionamento secondarie della prima soletta allo S.L.E. con i pesi permanenti

P1					
TRAVE	i PRIMARIE [m]	i SECONDARIE [m]	P DISTRIBUITO [KN/m ²]	P LINEARE [KN/m]	FRECCIA
SBALZO	2,62	1,89	4,32	8,15	0,01
AULE	7,10	1,89	3,85	7,26	0,03
BAGNI	5,65	1,89	3,85	7,26	0,02

P1					
TRAVE	E [KN/m ²]	L ⁴ [m ⁴]	I [m ⁴]	I [cm ⁴]	TRAVE POSSIBILE
SBALZO	2,1E+08	47	2,27E-06	227	IPE120
AULE	2,1E+08	2541	4,03E-05	4027	IPE270
BAGNI	2,1E+08	1019	2,03E-05	2030	IPE220

In questo caso i carichi distribuiti considerano anche i pesi permanenti, quindi il valore di freccia con cui andranno confrontati è

$$f = \frac{l}{250}$$

Tabella 24: Dimensionamento secondarie della prima soletta allo S.L.E. senza i pesi permanenti

P1					
TRAVE	i PRIMARIE [m]	i SECONDARIE [m]	P DISTRIBUITO [KN/m ²]	P LINEARE [KN/m]	FRECCIA
SBALZO	2,62	1,89	2,10	3,96	0,01
AULE	7,10	1,89	2,10	3,96	0,02
BAGNI	5,65	1,89	2,10	3,96	0,02

P1					
TRAVE	E [KN/m ²]	L ⁴ [m ⁴]	I [m ⁴]	I [cm ⁴]	TRAVE POSSIBILE
SBALZO	2,1E+08	47	1,33E-06	133	IPE100
AULE	2,1E+08	2541	2,64E-05	2639	IPE220
BAGNI	2,1E+08	1019	1,33E-05	1330	IPE200

In questo caso i carichi distribuiti non considerano i pesi permanenti, quindi il valore di freccia con cui andranno confrontati è

$$f = \frac{l}{300}$$

Tabella 25: Dimensionamento secondarie di copertura allo S.L.E. con i pesi permanenti

COPERTURA					
TRAVE	i PRIMARIE [m]	i SECONDARIE [m]	P DISTRIBUITO [KN/m ²]	P LINEARE [KN/m]	FRECCIA
SBALZO	2,66	1,89	1,77	3,33	0,01
AULE	7,21	1,89	1,77	3,33	0,04
BAGNI	2,45	1,89	3,52	6,64	0,01
TRAVE A GOMITO	3,87	1,89	2,19	4,13	0,02
COP INCLINATA O	5,72	1,89	0,86	1,62	0,03

COPERTURA					
TRAVE	E [KN/m ²]	L ⁴ [m ⁴]	I [m ⁴]	I [cm ⁴]	TRAVE POSSIBILE
SBALZO	2,1E+08	50,10	7,78E-07	78	IPE 100
AULE	2,1E+08	2701,64	1,55E-05	1549	IPE200
BAGNI	2,1E+08	36,03	1,21E-06	121	IPE100
TRAVE A GOMITO	2,1E+08	224,31	2,97E-06	297	IPE120
COP INCLINATA O	2,1E+08	1072,39	3,77E-06	377	IPE140

In questo caso i carichi distribuiti considerano anche i pesi permanenti, quindi il valore di freccia con cui andranno confrontati è

$$f = \frac{l}{200}$$

Tabella 26: Dimensionamento secondarie della prima soletta allo S.L.E. senza i pesi permanenti

COPERTURA					
TRAVE	i PRIMARIE [m]	i SECONDARIE [m]	P DISTRIBUITO [KN/m ²]	P LINEARE [KN/m]	FRECCIA
SBALZO	2,66	1,89	1,24	2,34	0,01
AULE	7,21	1,89	1,24	2,34	0,04
BAGNI	2,45	1,89	1,24	2,34	0,01
TRAVE A GOMITO	3,87	1,89	0,78	1,48	0,02
COP INCLINATA O	5,72	1,89	0,33	0,63	0,03

COPERTURA					
TRAVE	E [KN/m ²]	L ⁴ [m ⁴]	I [m ⁴]	I [cm ⁴]	TRAVE POSSIBILE
SBALZO	2,1E+08	50	5,46E-07	55	IPE 100
AULE	2,1E+08	11966	1,09E-05	1086	IPE180
BAGNI	2,1E+08	36	4,26E-07	43	IPE100
TRAVE A GOMITO	2,1E+08	224	1,06E-06	106	IPE100
COP INCLINATA O	2,1E+08	1072	1,45E-06	145	IPE100

In questo caso i carichi distribuiti considerano anche i pesi permanenti, quindi il valore di freccia con cui andranno confrontati è

$$f = \frac{l}{250}$$

A questo punto si prende la trave con sezione maggiore.

Tabella 27: Travi della soletta d'interpiano

P1				
TRAVE	S.L.U.	S.L.E.	S.L.E.; G=0	TRAVE USATA
SBALZO	IPE100	IPE120	IPE100	IPE120
AULE	IPE240	IPE270	IPE220	IPE270
BAGNI	IPE100	IPE220	IPE200	IPE220

Tabella 28: Travi della copertura

COPERTURA				
TRAVE	S.L.U.	S.L.E.	S.L.E.; G=0	TRAVE USATA
SBALZO	IPE100	IPE 100	IPE 100	IPE100
AULE	IPE180	IPE200	IPE180	IPE200
BAGNI	IPE100	IPE100	IPE100	IPE100
TRAVE A GOMITO	IPE120	IPE120	IPE100	IPE120
COP INCLINATA O	IPE120	IPE140	IPE100	IPE140

6.1.3 Dimensionamento travi primarie

Per dimensionare le travi primarie vanno posti dei carichi concentrati in corrispondenza delle travi secondarie, come in figura; i carichi agli appoggi si ipotizza che vengano assorbiti direttamente dal pilastro o dal tirante.

Verifica allo S.L.U.

Per il dimensionamento allo S.L.U. si determina il momento massimo in corrispondenza della mezzera, pari alla somma dei momenti generati dai carichi concentrati.

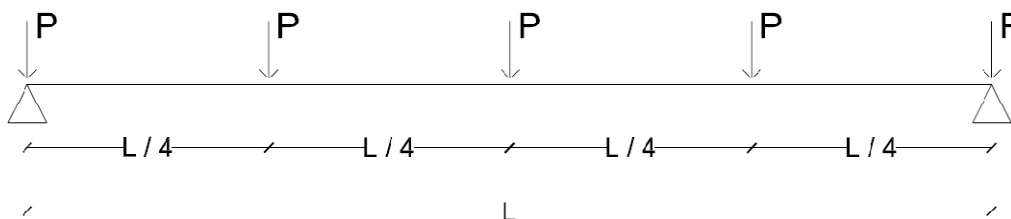


Figura 19: Schema statico della trave primaria

Tabella 29: Determinazione dei carichi concentrati sulla primaria della soletta d'interpiano allo S.L.U.

P1					
TRAVE	TRAVE USATA	P LIN TRAVE [kN/m]	P CONC TRAVE [kN]	P CONC SOLAIO [kN]	P CONC SULLA PRIMARIA [kN]
SBALZO	IPE120	0,10	0,27	38,71	38,98
AULE	IPE270	0,36	2,56	95,40	97,97
BAGNI	IPE220	0,26	1,48	75,92	77,40

Tabella 30: Dimensionamento primarie della prima soletta allo S.L.U.

P1					
TRAVE	L [m]	P CONC. [kN]	$V_1 = V_2$ [kN]	Mmax [kNm]	TRAVE POSSIBILE
C 1-2	7,55	175,37	263	662	IPE550
C 2-3	7,55	97,97	147	370	IPE450
D	7,55	136,95	205	517	IPE500
E	7,55	38,98	58	147	IPE300

Tabella 31: Determinazione dei carichi concentrati sulla primaria della copertura allo S.L.U.

COPERTURA					
TRAVE	TRAVE USATA	P LIN TRAVE [kN/m]	P CONC TRAVE [kN]	P CONC SOLAIO [kN]	P CONC SULLA PRIMARIA [kN]
SBALZO	IPE100	0,08	0,22	14,81	15,02
AULE	IPE200	0,26	1,89	40,13	42,02
BAGNI	IPE100	0,08	0,20	25,78	25,97
TRAVE A GOMI	IPE120	0,10	0,40	26,16	26,56
COP INCL OVEST	IPE140	0,13	0,74	17,15	17,89

Tabella 32: Dimensionamento primarie di copertura allo S.L.U.

COPERTURA					
TRAVE	L [m]	P CONC. [kN]	V ₁ = V ₂ [kN]	Mmax [kNm]	TRAVE POSSIBILE
C 1-2	7,55	67,99	102	257	IPE400
C 2-3	7,55	59,91	90	226	IPE400
D	7,55	57,04	86	215	IPE400
E	7,55	15,02	23	57	IPE200

Verifica allo S.L.E.

Per quanto riguarda il dimensionamento delle travi primarie si rende necessario, per la verifica allo stato limite di esercizio, l'utilizzo del corollario di Mohr.

Se consideriamo una trave primaria in appoggio-appoggio, si deve innanzitutto stimare il valore di momento massimo sulla trave, che sarà in $x = l / 2$ in quanto tutte le secondarie scaricano lo stesso peso sulla primaria e questa è caricata in modo simmetrico.

L'operazione successiva consiste nel tracciare una trave fittizia della stessa lunghezza della reale e nel sostituire i vincoli di appoggio come da corollario (nella fattispecie restano invariati); su tale struttura viene posto un carico distribuito pari a ciò che risulta dal grafico del momento sulla trave reale e si è stimato il valore della risultante di tale carico, posta a $l/3$ rispetto al vertice del triangolo nei casi di carico triangolare e a metà dell'ascissa del rettangolo qualora il carico derivi da un momento costante. Si possono così determinare i valori della reazione vincolare verticale agli estremi e di momento in campata.

La freccia reale sarà pari al momento massimo sulla struttura fittizia.

Si confronta tale freccia con quella da normativa e si determina un valore di inerzia pari a:

$$I = \frac{f_{reale}}{f_{norma}} E$$

con il quale si può determinare la sezione del profilo avvalendosi di un profilario.

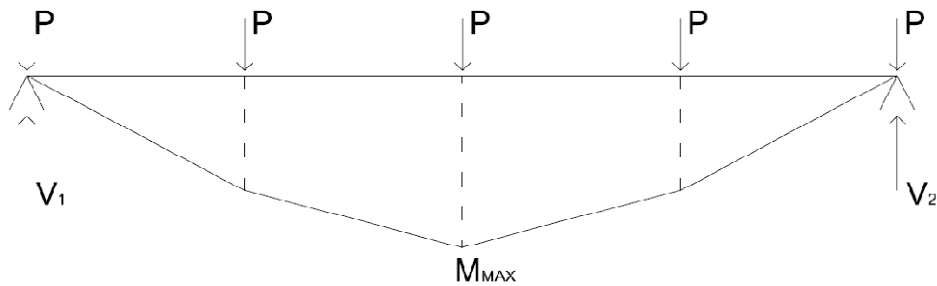


Figura 20: Andamento delle forze sulla struttura reale

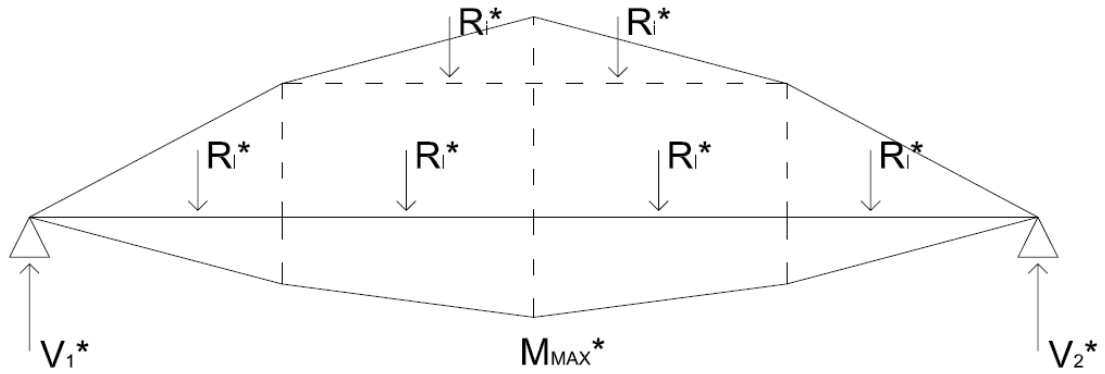


Figura 21: Andamento delle forze sulla struttura fittizia

Di seguito si mostrano i calcoli eseguiti:

Tabella 33: Determinazione dei carichi concentrati sulla primaria della soletta d'interpiano allo S.L.E considerando tutti i pesi

P1					
TRAVE	TRAVE USATA	P LIN TRAVE [kN/m]	P CONC TRAVE [kN]	P CONC SOLAIO [kN]	P CONC SULLA PRIMARIA [kN]
SBALZO	IPE120	0,10	0,27	21,35	21,63
AULE	IPE270	0,36	2,56	51,54	54,10
BAGNI	IPE220	0,26	1,48	41,02	42,50

Tabella 34: Dimensionamento primarie della soletta d'interpiano allo S.L.E. considerando tutti i pesi

P1 – TRAVE REALE				
TRAVE	L [m]	P CONCENTRATO [kN]	$V_1 = V_2$ [kN]	Mmax [kNm]
C 1-2	7,55	96,60	145	365
C 2-3	7,55	54,10	81	204
D	7,55	66,14	99	250
E	7,55	21,63	32	82

P1 – TRAVE FITTIZIA							
$R_1^* = R_2^*$ [kN]	$V_1^* = V_2^*$ [kN]	FRECCIA^ Med [kNm/EI]	FRECCIA	E [kN/m ²]	I^4 [m ⁴]	I^4 [cm ⁴]	TRAVE POSSIBILE
688	688	866	0,0302	210000000	1,37E-04	13657	IPE360
386	386	485	0,0302	210000000	7,65 E-05	7694	IPE300
471	471	593	0,0302	210000000	9,35E-05	9350	IPE330
154	154	194	0,0302	210000000	3,06E-05	3057	IPE220

Tabella 35: Determinazione dei carichi concentrati sulla primaria della soletta d'interpiano allo S.L.E non considerando i pesi propri

P1					
TRAVE	TRAVE USATA	P LIN TRAVE [kN/m]	P CONC TRAVE [kN]	P CONC SOLAIO [kN]	P CONC SULLA PRIMARIA [kN]
SBALZO	IPE100	0,10	0,27	10,39	10,66
AULE	IPE220	0,36	2,56	28,14	30,71
BAGNI	IPE200	0,26	1,48	22,40	23,88

Tabella 36: Dimensionamento primarie della soletta d'interpiano allo S.L.E. non considerando i pesi propri

P1 – TRAVE REALE				
TRAVE	L [m]	P CONCENTRATO [kN]	V ₁ = V ₂ [kN]	Mmax [kNm]
C 1-2	7,55	54,58	82	206
C 2-3	7,55	30,71	46	116
D	7,55	36,97	55	140
E	7,55	10,66	16	40

P1 – TRAVE FTTIZIA							
R ₁ * = R ₂ * [kN]	V ₁ * = V ₂ * [kN]	FRECCIA [^] Med [kNm/EI]	FRECCIA	E [kN/m ²]	I ⁴ [m ⁴]	I ⁴ [cm ⁴]	TRAVE POSSIBILE
389	389	489	0,0252	210000000	9,26E-05	9260	IPE360
219	219	275	0,0252	210000000	5,21E-05	5209	IPE270
263	263	331	0,0252	210000000	6,27E-05	6272	IPE330
76	76	96	0,0252	210000000	1,81E-05	1808	IPE220

Tabella 37: Determinazione dei carichi concentrati sulla primaria di copertura allo S.L.E considerando tutti i pesi

COPERTURA					
TRAVE	TRAVE USATA	P LIN TRAVE [kN/m]	P CONC TRAVE [kN]	P CONC SOLAIO [kN]	P CONC SULLA PRIMARIA [kN]
SBALZO	IPE100	0,08	0,22	8,87	9,08
AULE	IPE200	0,26	1,89	24,03	25,92
BAGNI	IPE100	0,08	0,20	16,26	16,46
TRAVE A GOMI	IPE120	0,10	0,40	15,98	16,38
COP INCL OVEST	IPE140	0,13	0,74	9,28	10,01

Tabella 38: Dimensionamento primarie di copertura allo S.L.E. considerando tutti i pesi

COPERTURA – TRAVE REALE				
TRAVE	L [m]	P CONCENTRATO [kN]	V ₁ = V ₂ [kN]	Mmax [kNm]
C 1-2	7,55	42,38	64	160
C 2-3	7,55	35,93	54	136
D	7,55	35,00	53	132
E	7,55	9,08	14	34

COPERTURA – TRAVE FITTIZIA							
$R_1^* = R_2^*$ [kN]	$V_1^* = V_2^*$ [kN]	FRECCIA^ Med [kNm/EI]	FRECCIA	E [KN/m ²]	I ⁴ [m ⁴]	I ⁴ [cm ⁴]	TRAVE POSSIBILE
302	302	380	0,0378	210000000	4,79E-05	4793	IPE270
256	256	322	0,0378	210000000	4,06E-05	4064	IPE270
249	249	314	0,0378	210000000	3,96E-05	3959	IPE270
65	65	81	0,0378	210000000	1,03E-05	1027	IPE180

Tabella 39: Determinazione dei carichi concentrati sulla primaria di copertura allo S.L.E non considerando i pesi propri

COPERTURA					
TRAVE	TRAVE USATA	P LIN TRAVE [kN/m]	P CONC TRAVE [kN]	P CONC SOLAIO [kN]	P CONC SULLA PRIMARIA [kN]
SBALZO	IPE100	0,08	0,22	6,22	6,43
AULE	IPE200	0,26	1,89	16,85	18,74
BAGNI	IPE100	0,08	0,20	5,73	5,93
TRAVE A GOMI	IPE120	0,10	0,40	5,73	6,14
COP INCL OVEST	IPE140	0,13	0,74	3,58	4,32

Tabella 40: Dimensionamento primarie di copertura allo S.L.E. non considerando i pesi propri

COPERTURA – TRAVE REALE				
TRAVE	L [m]	P CONCENTRATO [kN]	$V_1 = V_2$ [kN]	Mmax [kNm]
C 1-2	7,55	24,67	63,56	159,97
C 2-3	7,55	23,06	35	87
D	7,55	25,17	38	95
E	7,55	9,08	14	34

COPERTURA – TRAVE FITTIZIA							
$R_1^* = R_2^*$ [kN]	$V_1^* = V_2^*$ [kN]	FRECCIA^ Med [kNm/EI]	FRECCIA	E [KN/m ²]	I ⁴ [m ⁴]	I ⁴ [cm ⁴]	TRAVE POSSIBILE
302	302	380	0,0302	210000000	5,99E-05	4793	IPE270
164	164	207	0,0302	210000000	3,26E-05	3260	IPE240
179	179	226	0,0302	210000000	3,56E-05	3559	IPE240
65	65	81	0,0302	210000000	1,28E-05	1284	IPE180

A questo punto si prende la trave con sezione maggiore.

Tabella 41: Travi della soletta d'interpiano

P1				
TRAVE	S.L.U.	S.L.E.	S.L.E.; G=0	TRAVE USATA
C 1-2	IPE550	IPE360	IPE360	IPE550
C 2-3	IPE450	IPE300	IP270	IPE450
D	IPE500	IPE330	IPE330	IPE500
E	IPE300	IPE220	IPE220	IPE300

Tabella 42: Travi della copertura

COPERTURA				
TRAVE	S.L.U.	S.L.E.	S.L.E.; G=0	TRAVE USATA
C 1-2	IPE400	IPE270	IPE270	IPE400
C 2-3	IPE400	IPE270	IPE240	IPE400
D	IPE400	IPE270	IPE240	IPE400
E	IPE200	IPE180	IPE180	IPE200

Successivamente in base all'intersezione tra travi diverse si è verificato che le dimensioni delle travi primarie risultino sempre maggiori o uguali alle secondarie in modo da rendere possibili le connessioni.

6.1.4 Dimensionamento pilastri

In osservanza alla norma DM 14/01/08 relativamente al capitolo 4 della stessa in cui si parla di "Stabilità delle membrature" – Aste compresse (4.2.4.1.3.1), abbiamo redatto una tabella in cui, in base al tipo di trave HEA considerata ed all'altezza di interpiano, possiamo definire la resistenza ad instabilità della colonna.

Si mostra il procedimento esecutivo per la verifica e, a seguire, i calcoli.

Sono state eseguite una serie di operazioni matematiche per arrivare ad eseguire un raffronto tra il carico di compressione a cui è soggetto il pilastro (N_{Ed}) ed il carico sopportabile dal pilastro stesso ($N_{b,Rd}$) in relazione alla sua sezione e altezza di libera inflessione dal momento che la verifica di stabilità di un'asta si effettua nell'ipotesi che la sezione trasversale sia uniformemente compressa.

Definito un range di profili HEA dal più piccolo di HEA100 a quello di HEA280, per ognuno di questi abbiamo trovato da profilario la sua inerzia rispettivamente all'asse y e z (I_y e I_z), l'area di sezione (A) e la resistenza a snervamento dell'acciaio (f_{yk}). Definita la lunghezza di libera inflessione dell'asta (l_o) abbiamo stimato il carico critico elastico per instabilità sulle proprietà della sezione lorda come segue:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_o^2}$$

Definito N_{cr} si è stabilito il valore di snellezza adimensionale λ seguendo la seguente formula utilizzata per elementi di classe 1, 2 o 3 come le HEA da noi considerate:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}}$$

Successivamente si è determinato il valore dei coefficienti χ dipendenti dal tipo di sezione e dal tipo di acciaio impiegato; essi si desumono, in funzione di appropriati valori della snellezza adimensionale λ , dalla seguente formula:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$$

dove $\Phi = 0.5 [1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2]$,

α è il fattore di imperfezione, ricavato dalla tabella seguente:

Tabella 4.2.VI Curve d'instabilità per varie tipologie di sezioni e classi d'acciaio, per elementi compressi.

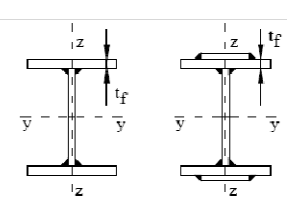
Sezione trasversale	Limiti	Inflessione intorno all'asse	Curva di instabilità	
			S235, S275, S355, S420	S460
	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y z-z	b c	b c
	$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y z-z	c d	c d

Figura 22: Tabella per la definizione di α da N.T.C. 2008

Definito quindi il valore di χ si può procedere alla determinazione della resistenza ad instabilità dell'asta compressa, dipendente ancora dal tipo di classe del profilo scelto.

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{yk}}{\gamma_{M1}} \quad \text{per le sezioni di classe 1, 2 e 3,}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_{yk}}{\gamma_{M1}} \quad \text{per le sezioni di classe 4.}$$

Vengono mostrati ora i fogli di calcolo, dove i valori di inerzia riguardano l'asse y della sezione, alla luce della direzione in cui è applicato il carico; i pilastri vengono fatti lavorare nella direzione di carico più favorevole, ossia quella nella direzione y.

Tabella 43: Calcolo del momento resistente dei pilastri

profilo	I_y [m ⁴]	A [m ²]	f_{yk} [KN/m ²]	l_0 [m]	N_{cr} [KN]	λ	α_{y-y}	Φ_{y-y}	χ_{y-y}	$N_{b,Rd y-y}$
HEA 100	3,49E-06	0,00212	275000	3	803	0,85	0,34	0,97	0,69	384
HEA 120	6,06E-06	0,00253	275000	3	1395	0,70	0,34	0,83	0,78	517
HEA 140	1,03E-05	0,00314	275000	3	2378	0,60	0,34	0,74	0,83	687
HEA 160	1,67E-05	0,00388	275000	3	3852	0,52	0,34	0,69	0,87	886
HEA 180	2,51E-05	0,00453	275000	3	5780	0,46	0,34	0,65	0,89	1067
HEA 200	3,69E-05	0,00538	275000	3	8502	0,41	0,34	0,62	0,91	1295
HEA 220	5,41E-05	0,00643	275000	3	12458	0,37	0,34	0,60	0,93	1574
HEA 240	7,76E-05	0,00768	275000	3	17877	0,34	0,34	0,58	0,94	1906
HEA 260	0,000105	0,00868	275000	3	24076	0,31	0,34	0,56	0,95	2179
HEA 280	0,000137	0,00973	275000	3	31487	0,29	0,34	0,55	0,96	2464

Si procede ora al calcolo dell'azione di compressione esercitata sul pilastro; sono stati analizzati i pilastri centrati C1 e D1 e i pilastri di bordo C2 e D2.

Definite le aree di influenza di ciascun carico sul pilastro considerato e moltiplicato il valore del carico dovuto alle travi ed al solaio sul pilastro stesso abbiamo determinato il carico al piede del pilastro e, dal confronto con le tabelle appena descritte, si è determinata la sezione di pilastro da adottare.

Tabella 44: Verifica dei pilastri

PILASTRO	A ₁ [m ²]	P1 [kN/m ²]	A ₂ [m ²]	SBALZO [kN/m ²]	A ₃ [m ²]	COP GHIAIA [kN/m ²]	A ₄ [m ²]	COP FV [kN/m ²]
C1	35,76	7,12			20,89	5,57	14,38	2,95
C2	64,05	7,12			20,35	5,57	27,58	2,95
D1	14,24	7,12	11,02	7,83			24,40	2,95
D2	27,64	7,12	21,16	7,83			48,75	2,95

PILASTRO	A5 [m ²]	COP INCL OV [kN/m ²]	TOTALE [kN]	PILASTRO POSSIBILE	PILASTRO SCELTO
C1			413,41	HEA120	HEA140
C2	12,02	1,59	669,82	HEA140	HEA140
D1			173,32	HEA100	HEA140
D2			340,52	HEA100	HEA140

Si è scelto infine di adottare dei pilastri di dimensioni maggiori per rendere migliore l'ancoraggio con le travi data la netta differenza tra le dimensioni degli uni e delle altre.

La verifica per elementi compressi in acciaio deve tener conto dell'instabilità. Per la verifica si utilizza il metodo di Newmark: si schematizza l'asta più rigida e meno soggetta all'instabilità con una molla di rigidità definita. Si determina il carico critico in funzione di una costante C che dipende dal tipo di vincoli ipotizzati e dalle rigidità delle molle.

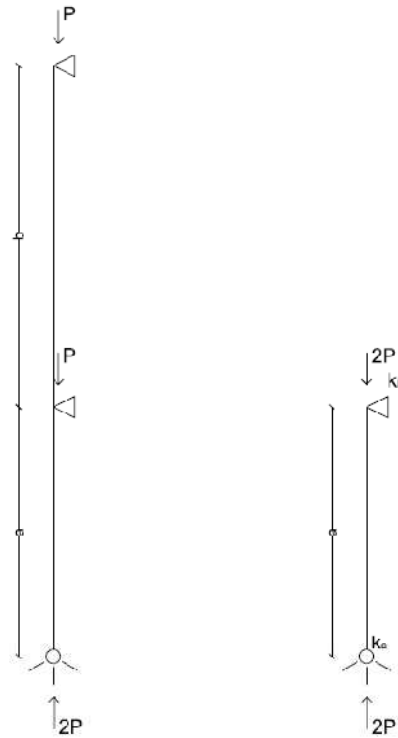


Figura 23: Schematizzazione del metodo di Newmark

$$p_{cr} = C \frac{\pi^2 EI}{l_0^2} \text{ con } l_0 = \beta l$$

$$C = \frac{(0,4 + \lambda a)(0,4 + \lambda b)}{(0,2 + \lambda a)(0,2 + \lambda b)}$$

Cerniera a terra:

$$k_a = 0$$

$$\lambda_a = \infty$$

Cerniera superiore:

$$k_b = \frac{3EI}{l_b}$$

$$\lambda_b = \frac{EI}{k_b l_a}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{C}}$$

Si riportano le tabelle riassuntive dei calcoli:

Tabella 45: Dati

E [KN/m ²]	l _a [m]	l _b [m]	λ _a	λ _b	C	β	l ₀ [m]	N [kN]	f _{yk} [KN/m ²]	Y _{M0}	f _{yd} [KN/m ²]
210000000	4,87	3,57	∞	0,24	1,45	0,83	4,04	333	275000	1,05	261905

Pilastro HEA 140: l'instabilità si verifica al raggiungimento di una compressione assiale P=1309 kN.

Tabella 46: Determinazione di P_{cr}

A [m ²]	A [mm ²]	A [mm ²]	A [m ²]	I _y [mm ⁴]	I _y [m ⁴]	I _x [mm ⁴]	I _x [m ⁴]	P _{cr} [kN]
0,0013	1272	314	0,000314	1,03E+07	0,00001	3,89E+06	0,00000	1309

Si deve calcolare la snellezza per vedere a quale modalità di rottura è soggetto il pilastro, mediante il metodo ω.

Se λ > λ*, si deve procedere con la verifica all'instabilità.

$$\sigma_E = \pi^2 E / \lambda^{*2}$$

Ponendo σ_E = f_{yk} si ottiene λ*.

$$\lambda_y = \frac{l_0}{i_{\max}}$$

$$\lambda_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1}$$

Pilastro HEA 140:

Tabella 47: Determinazione di λ*

i _y [mm]	i _y [m]	i _x [mm]	i _x [m]	λ	λ ₁	λ	χ	f _{yk} [KN/m ²]	λ ₂	λ*
127,4	0,1274	74,9	0,0749	32	87	0,37	0,7854	275000	7537	87

Tabella 48: Confronto con $i\lambda$

l_0 [m]	i_x [m]	λ
4,04	0,0749	54
l_0 [m]	i_y [m]	λ
4,04	0,1274	32

La verifica da effettuare è:

$$\frac{N}{\chi_{\min} A} + \frac{k_y M_y}{W_{pl,y}} \leq f_{yd}$$

Dove entra in gioco l' eccentricità provocata dai diversi carichi agenti sui bordi del pilastro:
Avendo λ si entra nella tabella dell' Eurocodice da cui si ricava il valore di χ .

λ	a	b (IPE)	C (HE)	d
0,2	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,3	0,9775	0,9541	0,9491	0,9235
0,4	0,9528	0,9261	0,8973	0,8504
0,5	0,9243	0,8942	0,8430	0,7793
0,6	0,8900	0,8371	0,7854	0,7100
0,7	0,8477	0,7837	0,7247	0,6431
0,8	0,7957	0,7145	0,6622	0,5797
0,9	0,7339	0,6612	0,5998	0,5208
1,0	0,6656	0,5970	0,5339	0,4671
1,1	0,5960	0,5357	0,4842	0,4189
1,2	0,5300	0,4781	0,4339	0,3762
1,3	0,4703	0,4269	0,3888	0,3385
1,4	0,4179	0,3817	0,3492	0,3055
1,5	0,3724	0,3422	0,3145	0,2766
1,6	0,3332	0,3079	0,2842	0,2512
1,7	0,2994	0,2781	0,2577	0,2282
1,8	0,2702	0,2521	0,2345	0,2093
1,9	0,2449	0,2294	0,2141	0,1920
2,0	0,2229	0,2095	0,1962	0,1766
2,1	0,2036	0,1920	0,1803	0,1630
2,2	0,1867	0,1765	0,1662	0,1508
2,3	0,1717	0,1628	0,1537	0,1399
2,4	0,1585	0,1506	0,1425	0,1302
2,5	0,1467	0,1397	0,1325	0,1214
2,6	0,1362	0,1299	0,1234	0,1134
2,7	0,1267	0,1211	0,1153	0,1062
2,8	0,1182	0,1132	0,1079	0,0997
2,9	0,1105	0,1060	0,1012	0,0937
3,0	0,1036	0,0994	0,0951	0,0882

Figura 24: Tabella per la determinazioni di χ da E.C. 5

I dati necessari sono i seguenti:

$$k_y = 1 - \left(\frac{\mu_y \cdot N}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yk}} \right)$$

$$\mu_y = \lambda_y \cdot (2\beta_{My} - 4) + \frac{(W_{pl,y} - W_{el,y})}{W_{el,y}}$$

$$\beta_{My} = 1.8 + 0.7\psi$$

$$W_{pl,y} = 2S_{\text{momentostatico}}$$

$$W_{el,y} = \frac{I}{y_{\max}} = W_y$$

Ψ è funzione dell' andamento del momento nel pilastro.

Dato che al piede ho una cerniera e sopra un momento dato dalla molla, $\Psi = 0$ come da tabella dell' E.C.

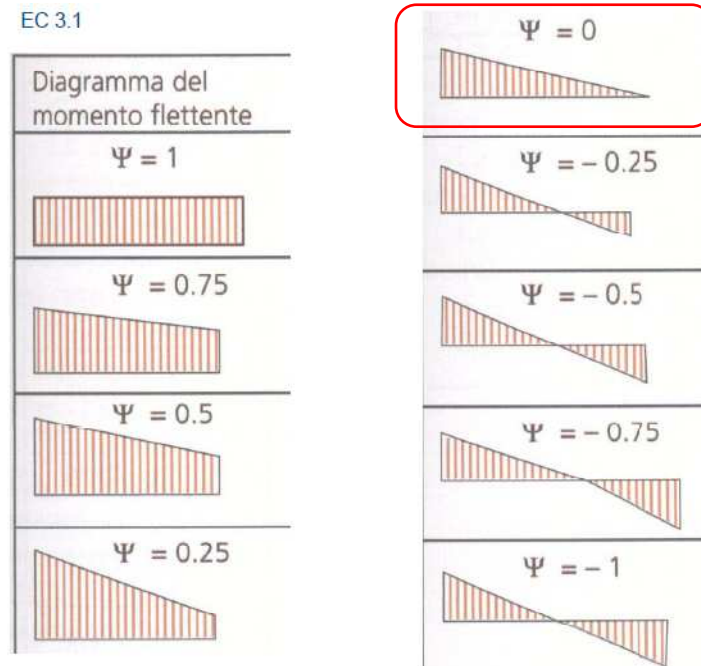


Figura 25: Determinazione di ψ da E.C. 5

Pilastro HEA 140:

Tabella 49: Verifica all' instabilità

ψ	βM_y	$W_{pl,y} [mm^3]$	$W_{pl,y} [m^3]$	$W_{el,y} [mm^3]$	$W_{el,y} [m^3]$	μ_y	k_y	λ_{min}	λ	χ_{min}
0	1,8	173500	0,0002	155400	0,00016	-0,03	1,55	32	0,37	0,8973

F [kN]	e [m]	M [kNm]	N [kN]	$f_{vd} [KN/m^2]$	VERIFICA	
63	0,27	17	1259	4620697	261905	VERO

A questo punto va effettuata una verifica geometrica per vedere se le dimensioni del pilastro consentono l' ancoraggio delle travi.

Nelle Figure 24 e 25 sono rappresentate due possibili soluzioni per il nodo strutturale più sfavorito, ossia quello del pilastro C2; in particolare la Figura 24 riporta la connessione mediante taglio superiore delle ali della IPE secondarie nella sezione terminale; in Figura 25 è possibile è sottolineata la connessione mediante l' utilizzo di fazzoletti.

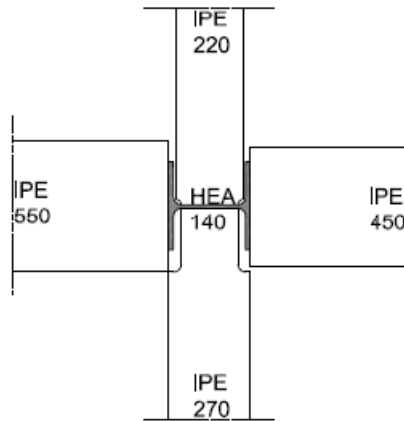


Figura 26: Connessione tra travi e pilastro mediante taglio delle ali delle IPE

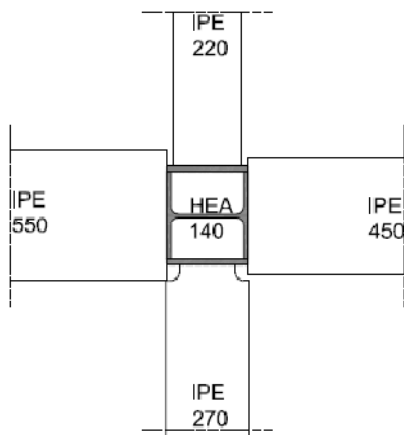


Figura 27: Connessione tra travi e pilastro mediante utilizzo di fazzoletti

6.1.5 Dimensionamento dei plinti di fondazione

Per l'analisi di un plinto di fondazione è necessario verificare che la pressione esercitata dal pilastro e dalla fondazione stessa siano minori della resistenza del terreno al fine di evitare il fenomeno dello sprofondamento.

Tabella 50: Dati

a' [m]	b' [m]	a [m]	b [m]	d [m]	V [m ³]	γ_{CLS} [kN/m ³]
0,5	0,5	2,5	2,5	0,6	3,75	25

Per l'analisi di un plinto di fondazione è necessario verificare che la pressione esercitata dal pilastro e dalla fondazione stessa siano minori della resistenza del terreno al fine di evitare il fenomeno dello sprofondamento.

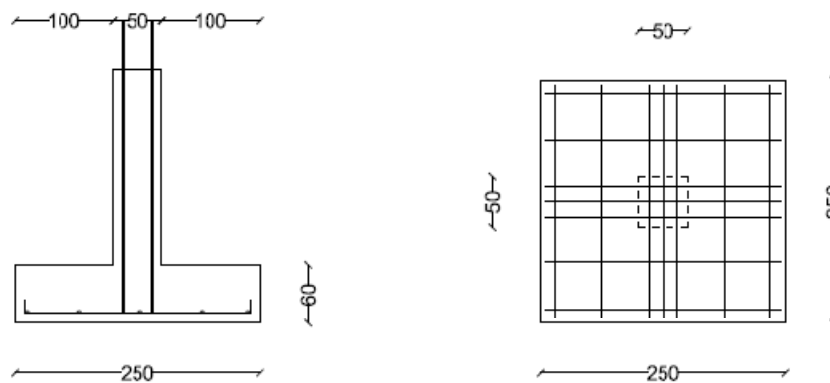


Figura 28: Dimensioni del plinto

Si calcola la forza P che si scarica sul terreno come somma dell'azione assiale esercitata dai pilastri e del peso della fondazione stessa, calcolata semplicemente come il prodotto tra il volume del plinto e la densità del cemento armato.

$$P = N_{ak} + N_{plinto} = N_{ak} + V_{plinto} \times \gamma_{cls} \text{ con } \gamma_{cls} = 25 \text{ kN/m}^3$$

Si determina poi lo sforzo agente dividendo la forza P per l'area della fondazione e si ottengono i risultati della seguente tabella:

$$\sigma_g = \frac{P}{A}$$

Tabella 51: Determinazione dello sforzo agente

N_{plinto} [kN]	$N_{carichi}$ [kN]	N_{ak} [kN]	A [m ²]	σ_g [kN/m ²]
93,75	670	764	6,25	122

Si passa ora al calcolo della resistenza del terreno: si ipotizza un terreno ghiaioso compatto con $\phi = 28^\circ$ e con $g = 16,93 \text{ kN/m}^3$, si trascurano la coesione ponendo $c = 0$ e il contributo del ricarico del terreno circostante. La resistenza del terreno risulta dunque:

$$r_v = s_g \times (N_g \times g \times b/2) = 136 \text{ kN/m}^2 = 0,136 \text{ MPa}$$

Dove:

$$s_g = 1 - 0,4 \times b/a;$$

N_g = valore tabulato che dipende dall'angolo d'attrito $N_g = 9,11 \text{ kN/m}^2$

Si determina lo sforzo σ_d da confrontare con la resistenza del terreno r_v , moltiplicando lo sforzo σ_g per il coefficiente γ_f , determinato con la seguente formula:

$$\gamma_f = 0,3 \gamma_g + 0,7 \gamma_q = 1,21$$

con i valori di γ_g e γ_q riferiti al terreno e rispettivamente pari a $\gamma_g = 1$ e $\gamma_q = 1,3$.

$$\sigma_d = \gamma_f^* \times \sigma_g = 1,21 \times 0,122 = 0,128 \text{ MPa} < r_v$$

Risulta verificato che $\sigma_d < r_v$.

Si procede con il dimensionamento e verifica delle armature, che nel nostro caso, risulta analogo in entrambe le direzioni essendo il plinto di fondazione quadrato.

La verifica consiste nel confronto tra la forza resistente dell'acciaio P_{rs} e la forza agente $P_d = N_{ak}$:

$$P_{rs} > P_d$$

Per il calcolo di P_{rs} si utilizzerà la seguente formula:

$$P_{rs} = P'_a + P_{as} = \frac{a'}{a} P_d + 2 A_{sa} f_{sd} \frac{1}{\lambda_a}$$

Per la determinazione di P_{rs} sono necessari i seguenti parametri:

λ_a = snellezza della trave data dal rapporto l_a/d ;

$$l_a = \frac{a-a'}{4} + c_a$$

$$c_a = \min(0,2 d ; b'/4)$$

$$f_{sd} = 374 \text{ MPa}$$

A_{sa} = area minima d'armatura nel plinto nella direzione in esame determinata con la seguente formula:

$$A_{sa} = P_a \times \lambda_a \times \gamma_f / f_{sd}$$

dove P_a rappresenta l'azione verticale sulla base d'appoggio della fondazione, espressa come:

$$2P_a = (a-a') \times N_{ak} / a$$

Tabella 52: Tabella riassuntiva

P'_a [kN]	f_{sd} [kN/m ²]	P_a [kN]	c_{a1}	c_{a2}	c_a	l_a [m]	λ_a
144	374000	317	0,12	0,125	0,12	0,67	1,12

A_{sa} [m ²]	A_{sa} [mm ²]	$A_{sa\text{effettiva}}$ [mm ²]	$A_{sa\text{effettiva}}$ [m ²]
0,0011	1147	924	0,0009

Nota l'area di armatura minima effettiva, si possono ricavare il numero di ferri da utilizzare ed il relativo diametro, che nel nostro caso corrispondono a 6 ϕ 14, pari ad un' area $A_{sa\text{effettiva}}$ di 924 mm².

Dalla tabella si desume che la verifica è positiva con $P_{rs} > P_d$.

Tabella 53: Verifica lato acciaio

P_{as} [kN]	P_{rs} [kN]	VERIFICA $P_{rs} > N_{ak}$
619	763	VERO

Si procede con la verifica lato calcestruzzo. In questo caso si dovrà confrontare la forza resistente del calcestruzzo P_{rc} e la forza agente $P_d = N_{ak}$:

$$P_{rc} > P_d$$

Per il calcolo di P_{rs} si utilizzerà la seguente formula semplificata essendo la sezione del plinto quadrata:

$$P_{rc} = P_0 + 4 d a' f_{c1} \frac{1}{1 + \lambda_a^2}$$

Dove

$$P_0 = \frac{a'b'}{ab} P_d$$

$$f_{c1} = 17 \text{ MPa}$$

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva dei valori con esito positivo della verifica lato calcestruzzo $P_{rc} > P_d$.

Tabella 54: Verifica lato cls

P_0 [kN]	d_a [m]	f_{c1} [kN/m ²]	P_{rc} [kN]	VERIFICA $P_{rc} > N_{ak}$
30,54	0,575	17000	9485	VERO

Si procede con un'altra interpretazione con la verifica a mensole fisse, in questo caso si determina il momento dovuto allo sforzo verticale agente secondo la seguente formula, valida su entrambi i lati essendo il plinto quadrato. Successivamente dall'equilibrio si ricava il valore minimo di area d'armatura necessaria per il buon funzionamento della fondazione.

$$\sigma_v = \frac{P_d}{ab}$$

$$M_a = M_b = \frac{\sigma_v b l_a^2}{2} = \frac{\sigma_v a l_b^2}{2} \text{ con } l_a = l_b = \frac{a-a'}{2} = \frac{b-b'}{2}$$

$$A_s \geq \frac{M_a}{0,9 d f_{sd}}$$

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva dei valori e si nota che l'area d'armatura determinata dalla verifica precedente $A_s = 791 \text{ mm}^2$, risulta maggiore di quella determinata secondo l'interpretazione di plinto a mensole fisse:

Tabella 55: Verifica a mensole fisse

σ_v [KN/m ²]	l_a [m]	M_a [KNm]	A_{rsa} [m ²]	VERIFICA $A_{sa} > A_{rsa}$
122	1	153	0,0008	VERO

L'ultima verifica da effettuare è quella al punzonamento, che consiste nella determinazione di due forze: P'_r riferita al perimetro della fondazione u e P''_r riferita al perimetro del pilastro u_0 . La forza minima tra le due dovrà risultare maggiore della differenza tra P_d e P_0 .

$$P_r > P_d - P_0$$

$$P_r = \min (P'_r ; P''_r)$$

$$\text{Con } P'_r = 0,25 u d f_{ctd} k (1 + 50 \rho_s)$$

Dove:

u = perimetro critico $u = 2a' + 2b' + 3\pi d$

d = altezza della fondazione

f_{ctd} = resistenza a trazione del calcestruzzo

$k = 1,6 - d$

ρ_s = rapporto geometrico d'armatura A_c/A_s

$$\text{Con } P''_r = 0,4 u_0 \frac{d f_{c1}}{1 + \lambda^2}$$

Dove:

u_0 = perimetro del pilastro $u_0 = 2a' + 2b'$

d = altezza della fondazione

f_{c1} = resistenza a compressione del calcestruzzo

$\lambda = l_a/d$

Tabella 56: Verifica al punzonamento sul perimetro critico

u [m]	k	ρ_s	f_{ctd} [KN/m ²]	P'_r [kN]
7,65	1	0,0001	1350	1562

Tabella 57: Verifica al punzonamento sul perimetro del pilastro

u_0 [m]	P''_r [kN]	P_r [kN]	$P_d - P_0$	VERIFICA $P_r > P_{ak} - P_0$
2	3946	1562	733	VERO

6.1.6 Dimensionamento della trave in c.a. sopra l' archivio

Il calcolo delle sollecitazioni sulla trave viene elaborato su una striscia di larghezza unitaria e su schemi statici semplici a trave continua semplicemente appoggiata o incastrata allo scopo di definire le sollecitazioni massime e minime sulla sezione.

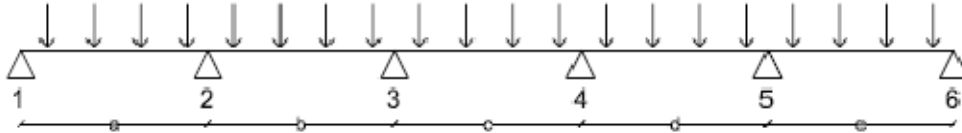


Figura 29: Schema della trave appoggiata

Si assumono le aste a sezione costante e si trascura la maggior rigidità dei tratti sugli appoggi; a partire quindi da un'analisi di detta struttura con il metodo delle forze (inserendo cioè in prossimità dell' appoggio centrale una cerniera ed un momento M) il sistema di equazioni risolvente risulta essere:

$$\begin{cases} \Phi_{11}M_1 + \Phi_{12}M_2 + \Phi_{13}M_3 + \Phi_{14}M_4 + \Phi_{10} = 0 \\ \Phi_{21}M_1 + \Phi_{22}M_2 + \Phi_{23}M_3 + \Phi_{24}M_4 + \Phi_{20} = 0 \\ \Phi_{31}M_1 + \Phi_{32}M_2 + \Phi_{33}M_3 + \Phi_{34}M_4 + \Phi_{30} = 0 \\ \Phi_{41}M_1 + \Phi_{42}M_2 + \Phi_{43}M_3 + \Phi_{44}M_4 + \Phi_{40} = 0 \end{cases}$$

dove i valori di ϕ si desumono da formulario.

Si devono tenere in considerazione le diverse combinazioni di carico: viene definita "condizione O" quella in cui si considera gravante su tutta la trave il carico permanente, "condizione A" quella in cui si considera il carico variabile agente solo sulla campata a e "condizione B" quella in cui si considera il carico variabile agente solo sulla campata B.

E' opportuno osservare che, dal momento che l'asta in esame è continua, l'analisi del momento nella condizione A presenterà un momento al negativo sulla campata b e viceversa.

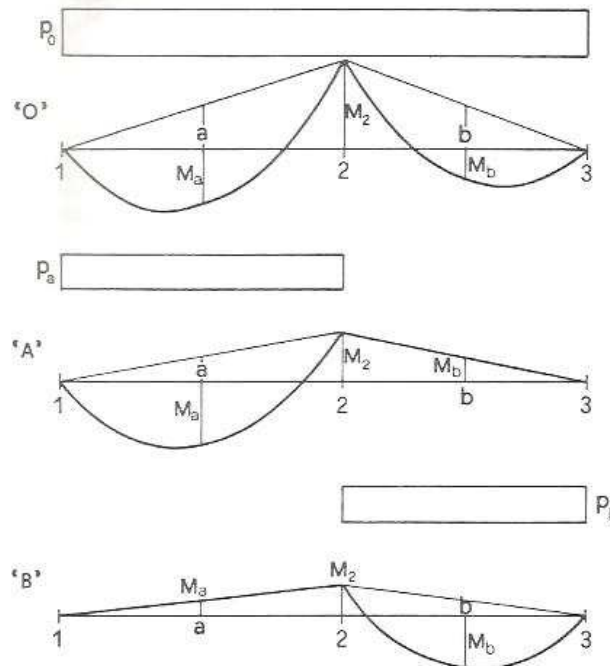
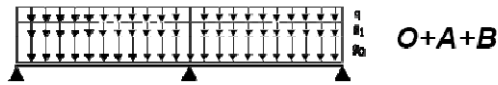


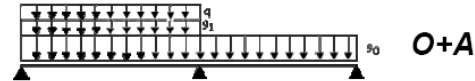
Figura 30: Schematizzazione della trave appoggiata

Si vogliono quindi determinare i valori dei momenti flettenti massimi e minimi in relazione alle combinazioni di carico O, A e B in modo tale da poter stabilire le necessarie armature; sono state considerate le seguenti combinazioni:

Caso 0' = O + A + B



Caso 0'' = O + A



Caso 0''' = O + B

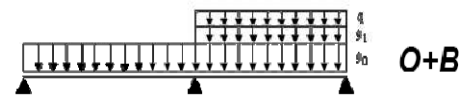


Figura 31: Combinazioni di carico

Si mostrano a seguire i calcoli effettuati per risolvere con il metodo degli spostamenti per il caso in esame con cui sono stati determinati i valori di momento e di taglio nelle rispettive campate; la combinazione di carico usata è quella allo S.L.U..

Tabella 58: Dati con la combinazione fondamentale allo S.L.U.

l_{tot} [m]	l_a [m]	Y_{G1}	Y_{G2}	Y_{Q1}	P_0 [kN/m]	P_a [kN/m]
38,9	7,78	1,3	1,5	1,5	5,15	2,76

Tabella 59: Trave su appoggi

CASO 1		
ϕ_{11}	ϕ_{21}	
5,19	1,30	
CASO 2		
ϕ_{12}	ϕ_{22}	ϕ_{32}
1,30	5,19	1,30
CASO 3		
ϕ_{23}	ϕ_{33}	ϕ_{43}
1,30	5,19	1,30
CASO 4		
ϕ_{34}	ϕ_{44}	
1,30	5,19	
CASO 0'		
$\phi_{10} = \phi_{20} = \phi_{30} = \phi_{40}$		
310,36		
CASO 0''		
$\phi_{10} = \phi_{20} = \phi_{30} = \phi_{40}$		
256,19		
CASO 0'''		
$\phi_{10} = \phi_{20}$	ϕ_{30}	ϕ_{40}

310,36	256,19	202,02
--------	--------	--------

Dove:

CASO 0': peso proprio + sovraccarico

CASO 0'': peso proprio + sovraccarico sulle campate a, c, e

CASO 0''': peso proprio + sovraccarico a, b, c

Tabella 60: Matrice risolvete

	ϕ_{x1}	ϕ_{x2}	ϕ_{x3}	ϕ_{x4}	CASO 0'	CASO 0''	CASO 0'''
ϕ_{1x}	5,19	1,30	0	0	-310,36	-256,19	-310,36
ϕ_{2x}	1,30	5,19	1,30	0	-310,36	-256,19	-310,36
ϕ_{3x}	0	1,30	5,19	1,30	-310,36	-256,19	-256,19
ϕ_{4x}	0	0	1,30	5,19	-310,36	-256,19	-202,02

Tabella 61: Matrice inversa

					CASO 0'	CASO 0''	CASO 0'''
0,207	-0,055	0,015	-0,004	X_1	-50,39	-41,59	-49,99
-0,055	0,221	-0,059	0,015	X_2	-37,79	-31,20	-39,39
0,015	-0,059	0,221	-0,055	X_3	-37,79	-31,20	-31,80
-0,004	0,015	-0,055	0,207	X_4	-50,39	-41,59	-31,00

Tabella 62: Reazioni agli appoggi

CASO 0'							
R_0	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	ΣR	P [kN/m ²]
24,29	69,63	59,91	59,91	69,63	24,29	307,65	307,65
CASO 0''							
R_0	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	ΣR	P [kN/m ²]
25,42	57,47	49,45	49,45	57,47	25,42	264,69	264,69
CASO 0'''							
R_0	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	ΣR	P [kN/m ²]
24,34	69,32	61,14	49,92	43,93	16,04	264,69	264,69

A partire dai dati ottenuti sono stati stimati i valori di taglio e momento flettente sulla trave, caso per caso.

Tabella 63: Inviluppo caso 0'

CASO 0'	CAMPATA 1		CAMPATA 2		CAMPATA 3		CAMPATA 4		CAMPATA 5	
z [m]	V (x)	M (x)	V (x)	M (x)	V (x)	M (x)	V (x)	M (x)	V (x)	M (x)
0,00	24,29	0,00	32,38	50,39	30,76	37,79	32,38	50,39	24,29	0,00
0,26	22,24	-6,03	30,33	42,26	28,71	30,08	30,33	42,26	22,24	-6,03
0,52	20,19	-11,53	28,28	34,66	26,66	22,90	28,28	34,66	20,19	-11,53
0,78	18,14	-16,50	26,23	27,59	24,61	16,25	26,23	27,59	18,14	-16,50
1,04	16,08	-20,94	24,18	21,05	22,56	10,13	24,18	21,05	16,08	-20,94
1,30	14,03	-24,84	22,13	15,05	20,51	4,55	22,13	15,05	14,03	-24,84
1,56	11,98	-28,22	20,08	9,57	18,46	-0,50	20,08	9,57	11,98	-28,22
1,82	9,93	-31,06	18,03	4,63	16,41	-5,02	18,03	4,63	9,93	-31,06
2,07	7,88	-33,37	15,98	0,22	14,36	-9,01	15,98	0,22	7,88	-33,37
2,33	5,83	-35,15	13,93	-3,65	12,31	-12,47	13,93	-3,65	5,83	-35,15
2,59	3,78	-36,39	11,87	-7,00	10,25	-15,40	11,87	-7,00	3,78	-36,39
2,85	1,73	-37,11	9,82	-9,81	8,20	-17,79	9,82	-9,81	1,73	-37,11
3,11	-0,32	-37,29	7,77	-12,09	6,15	-19,65	7,77	-12,09	-0,32	-37,29
3,37	-2,37	-36,94	5,72	-13,84	4,10	-20,98	5,72	-13,84	-2,37	-36,94
3,63	-4,43	-36,06	3,67	-15,06	2,05	-21,78	3,67	-15,06	-4,43	-36,06
3,89	-6,48	-34,64	1,62	-15,75	0,00	-22,05	1,62	-15,75	-6,48	-34,64
4,15	-8,53	-32,70	-0,43	-15,90	-2,05	-21,78	-0,43	-15,90	-8,53	-32,70
4,41	-10,58	-30,22	-2,48	-15,52	-4,10	-20,98	-2,48	-15,52	-10,58	-30,22
4,67	-12,63	-27,21	-4,53	-14,61	-6,15	-19,65	-4,53	-14,61	-12,63	-27,21
4,93	-14,68	-23,67	-6,58	-13,17	-8,20	-17,79	-6,58	-13,17	-14,68	-23,67
5,19	-16,73	-19,60	-8,64	-11,20	-10,25	-15,40	-8,64	-11,20	-16,73	-19,60
5,45	-18,78	-14,99	-10,69	-8,69	-12,31	-12,47	-10,69	-8,69	-18,78	-14,99
5,71	-20,83	-9,85	-12,74	-5,65	-14,36	-9,01	-12,74	-5,65	-20,83	-9,85
5,96	-22,88	-4,19	-14,79	-2,09	-16,41	-5,02	-14,79	-2,09	-22,88	-4,19
6,22	-24,94	2,02	-16,84	2,02	-18,46	-0,50	-16,84	2,02	-24,94	2,02
6,48	-26,99	8,75	-18,89	6,65	-20,51	4,55	-18,89	6,65	-26,99	8,75
6,74	-29,04	16,01	-20,94	11,81	-22,56	10,13	-20,94	11,81	-29,04	16,01
7,00	-31,09	23,81	-22,99	17,51	-24,61	16,25	-22,99	17,51	-31,09	23,81
7,26	-33,14	32,14	-25,04	23,74	-26,66	22,90	-25,04	23,74	-33,14	32,14
7,52	-35,19	41,00	-27,09	30,50	-28,71	30,08	-27,09	30,50	-35,19	41,00
7,78	-37,24	50,39	-29,15	37,79	-30,76	37,79	-29,15	37,79	-37,24	50,39

Tabella 64: Inviluppo caso 0''

CASO 0'	CAMPATA 1		CAMPATA 2		CAMPATA 3		CAMPATA 4		CAMPATA 5	
z [m]	V (x)	M (x)	V (x)	M (x)	V (x)	M (x)	V (x)	M (x)	V (x)	M (x)
0,00	25,42	0,00	21,36	41,59	30,76	31,20	21,36	41,59	25,42	0,00
0,26	23,37	-6,33	20,03	36,23	28,71	23,48	20,03	36,23	23,37	-6,33
0,52	21,32	-12,12	18,69	31,21	26,66	16,30	18,69	31,21	21,32	-12,12
0,78	19,27	-17,38	17,36	26,53	24,61	9,65	17,36	26,53	19,27	-17,38
1,04	17,21	-22,11	16,02	22,20	22,56	3,54	16,02	22,20	17,21	-22,11
1,30	15,16	-26,31	14,69	18,22	20,51	-2,05	14,69	18,22	15,16	-26,31
1,56	13,11	-29,98	13,35	14,59	18,46	-7,10	13,35	14,59	13,11	-29,98
1,82	11,06	-33,11	12,02	11,30	16,41	-11,62	12,02	11,30	11,06	-33,11
2,07	9,01	-35,71	10,68	8,35	14,36	-15,61	10,68	8,35	9,01	-35,71
2,33	6,96	-37,79	9,35	5,76	12,31	-19,07	9,35	5,76	6,96	-37,79
2,59	4,91	-39,32	8,01	3,51	10,25	-21,99	8,01	3,51	4,91	-39,32
2,85	2,86	-40,33	6,68	1,60	8,20	-24,39	6,68	1,60	2,86	-40,33
3,11	0,81	-40,81	5,34	0,04	6,15	-26,25	5,34	0,04	0,81	-40,81
3,37	-1,24	-40,75	4,01	-1,17	4,10	-27,58	4,01	-1,17	-1,24	-40,75
3,63	-3,30	-40,16	2,67	-2,03	2,05	-28,38	2,67	-2,03	-3,30	-40,16
3,89	-5,35	-39,04	1,34	-2,55	0,00	-28,64	1,34	-2,55	-5,35	-39,04
4,15	-7,40	-37,39	0,00	-2,73	-2,05	-28,38	0,00	-2,73	-7,40	-37,39
4,41	-9,45	-35,20	-1,33	-2,56	-4,10	-27,58	-1,33	-2,56	-9,45	-35,20
4,67	-11,50	-32,49	-2,67	-2,04	-6,15	-26,25	-2,67	-2,04	-11,50	-32,49
4,93	-13,55	-29,24	-4,00	-1,17	-8,20	-24,39	-4,00	-1,17	-13,55	-29,24
5,19	-15,60	-25,46	-5,34	0,04	-10,25	-21,99	-5,34	0,04	-15,60	-25,46
5,45	-17,65	-21,15	-6,67	1,60	-12,31	-19,07	-6,67	1,60	-17,65	-21,15
5,71	-19,70	-16,30	-8,01	3,50	-14,36	-15,61	-8,01	3,50	-19,70	-16,30
5,96	-21,75	-10,93	-9,34	5,75	-16,41	-11,62	-9,34	5,75	-21,75	-10,93
6,22	-23,81	-5,02	-10,68	8,35	-18,46	-7,10	-10,68	8,35	-23,81	-5,02
6,48	-25,86	1,42	-12,01	11,29	-20,51	-2,05	-12,01	11,29	-25,86	1,42
6,74	-27,91	8,39	-13,35	14,58	-22,56	3,54	-13,35	14,58	-27,91	8,39
7,00	-29,96	15,89	-14,68	18,21	-24,61	9,65	-14,68	18,21	-29,96	15,89
7,26	-32,01	23,93	-16,02	22,20	-26,66	16,30	-16,02	22,20	-32,01	23,93
7,52	-34,06	32,50	-17,35	26,52	-28,71	23,48	-17,35	26,52	-34,06	32,50
7,78	-36,11	41,59	-18,69	31,20	-30,76	31,20	-18,69	31,20	-36,11	41,59

Tabella 65: Involuppo caso 0'''

CASO 0'''	CAMPATA 1		CAMPATA 2		CAMPATA 3		CAMPATA 4		CAMPATA 5	
CAMP. 1	V (x)	M (x)	V (x)	M (x)	V (x)	M (x)	V (x)	M (x)	V (x)	M (x)
0,00	24,34	0,00	32,13	49,99	31,74	39,39	19,92	31,00	16,04	0,00
0,26	22,29	-6,05	30,08	41,92	29,69	31,43	18,59	26,01	14,71	-3,99
0,52	20,24	-11,56	28,03	34,39	27,64	23,99	17,25	21,36	13,37	-7,63
0,78	18,19	-16,54	25,97	27,39	25,59	17,09	15,92	17,06	12,04	-10,92
1,04	16,14	-20,99	23,92	20,92	23,54	10,72	14,58	13,10	10,70	-13,87
1,30	14,08	-24,91	21,87	14,98	21,49	4,88	13,25	9,49	9,37	-16,47
1,56	12,03	-28,30	19,82	9,57	19,44	-0,42	11,91	6,23	8,03	-18,73
1,82	9,98	-31,15	17,77	4,70	17,38	-5,20	10,58	3,32	6,70	-20,64
2,07	7,93	-33,48	15,72	0,36	15,33	-9,44	9,24	0,75	5,36	-22,20
2,33	5,88	-35,27	13,67	-3,45	13,28	-13,15	7,91	-1,48	4,03	-23,42
2,59	3,83	-36,53	11,62	-6,73	11,23	-16,33	6,57	-3,36	2,69	-24,29
2,85	1,78	-37,25	9,57	-9,48	9,18	-18,98	5,24	-4,89	1,36	-24,81
3,11	-0,27	-37,45	7,52	-11,69	7,13	-21,09	3,90	-6,07	0,02	-24,99
3,37	-2,32	-37,11	5,46	-13,38	5,08	-22,67	2,57	-6,91	-1,31	-24,82
3,63	-4,37	-36,24	3,41	-14,53	3,03	-23,73	1,23	-7,40	-2,65	-24,31
3,89	-6,43	-34,84	1,36	-15,15	0,98	-24,24	-0,10	-7,55	-3,98	-23,45
4,15	-8,48	-32,91	-0,69	-15,23	-1,07	-24,23	-1,44	-7,35	-5,32	-22,24
4,41	-10,53	-30,45	-2,74	-14,79	-3,13	-23,69	-2,77	-6,81	-6,65	-20,69
4,67	-12,58	-27,45	-4,79	-13,81	-5,18	-22,61	-4,11	-5,91	-7,99	-18,79
4,93	-14,63	-23,92	-6,84	-12,31	-7,23	-21,00	-5,44	-4,68	-9,32	-16,55
5,19	-16,68	-19,86	-8,89	-10,26	-9,28	-18,86	-6,78	-3,09	-10,66	-13,95
5,45	-18,73	-15,27	-10,94	-7,69	-11,33	-16,19	-8,11	-1,16	-12,00	-11,02
5,71	-20,78	-10,15	-12,99	-4,59	-13,38	-12,99	-9,45	1,12	-13,33	-7,73
5,96	-22,83	-4,49	-15,05	-0,95	-15,43	-9,25	-10,78	3,74	-14,67	-4,10
6,22	-24,88	1,70	-17,10	3,21	-17,48	-4,98	-12,12	6,71	-16,00	-0,13
6,48	-26,94	8,42	-19,15	7,91	-19,53	-0,18	-13,45	10,02	-17,34	4,20
6,74	-28,99	15,67	-21,20	13,15	-21,58	5,15	-14,79	13,69	-18,67	8,86
7,00	-31,04	23,45	-23,25	18,91	-23,64	11,01	-16,12	17,69	-20,01	13,88
7,26	-33,09	31,76	-25,30	25,21	-25,69	17,41	-17,46	22,05	-21,34	19,24
7,52	-35,14	40,61	-27,35	32,03	-27,74	24,34	-18,79	26,75	-22,68	24,95
7,78	-37,19	49,99	-29,40	39,39	-29,79	31,80	-20,13	31,80	-24,01	31,00

I valori evidenziati corrispondono a quelli massimi e minimi da utilizzarsi poi per la scelta delle armature.

Si procede quindi analizzando la trave come se fosse incastrata agli estremi ed utilizzando il metodo degli spostamenti per poter determinare i valori dei momenti flettenti massimi agli estremi.

Per valutare ora i momenti di incastro alle estremità della trave si considera uno schema statico che presenta agli estremi degli incastri legati a dei pilastri incernierati a metà della loro altezza in modo tale da poter tener in considerazione sia l'azione del piano considerato che si quelli sottostanti e sovrastanti.

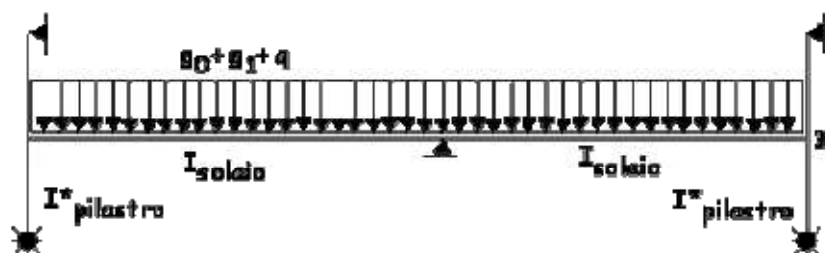


Figura 32: Schema statico della trave incastrata

E' necessario stabilire il momento di inerzia baricentrico della sezione in esame dopo aver stabilito l'area, le coordinate del baricentro in relazione al tipo di solaio scelto e considerando un pilastro tipo 25x25cm.

Tabella 66: Trave incastrata

CASO 1	
m_{11}	m_{21}
0,51	0,26
CASO 2	
m_{12}	m_{22}
0,26	0,51
CASO 0	
m_{10}	m_{20}
-39,89	39,89

Tabella 67: Matrice risolvente

	m_{x1}	m_{x2}	CASO 0'
m_{1x}	0,51	0,26	39,89
m_{2x}	0,26	0,51	-39,89

Tabella 68: Matrice inversa

			CASO 0'
2,59	-1,30	X_1	155,18
-1,30	2,59	X_2	-155,18

Tabella 69: Reazioni agli appoggi

R_0	R_1	M_0	M_1	ΣR	P [kN]
30,76	30,76	79,78	-79,78	61,53	61,53

A partire dai dati ottenuti sono stati stimati i valori di taglio e momento flettente sulla trave, caso per caso.

Tabella 70: Inviluppo

z [m]	V (x)	M (x)
0,00	-30,76	79,78
0,26	-28,71	72,07
0,52	-26,66	64,89
0,78	-24,61	58,24
1,04	-22,56	52,13
1,30	-20,51	46,54
1,56	-18,46	41,49
1,82	-16,41	36,97
2,07	-14,36	32,98
2,33	-12,31	29,52
2,59	-10,25	26,59
2,85	-8,20	24,20
3,11	-6,15	22,34
3,37	-4,10	21,01
3,63	-2,05	20,21
3,89	0,00	19,95
4,15	2,05	20,21
4,41	4,10	21,01
4,67	6,15	22,34
4,93	8,20	24,20
5,19	10,25	26,59
5,45	12,31	29,52
5,71	14,36	32,98
5,96	16,41	36,97
6,22	18,46	41,49
6,48	20,51	46,54
6,74	22,56	52,13
7,00	24,61	58,24
7,26	26,66	64,89
7,52	28,71	72,07
7,78	30,76	79,78

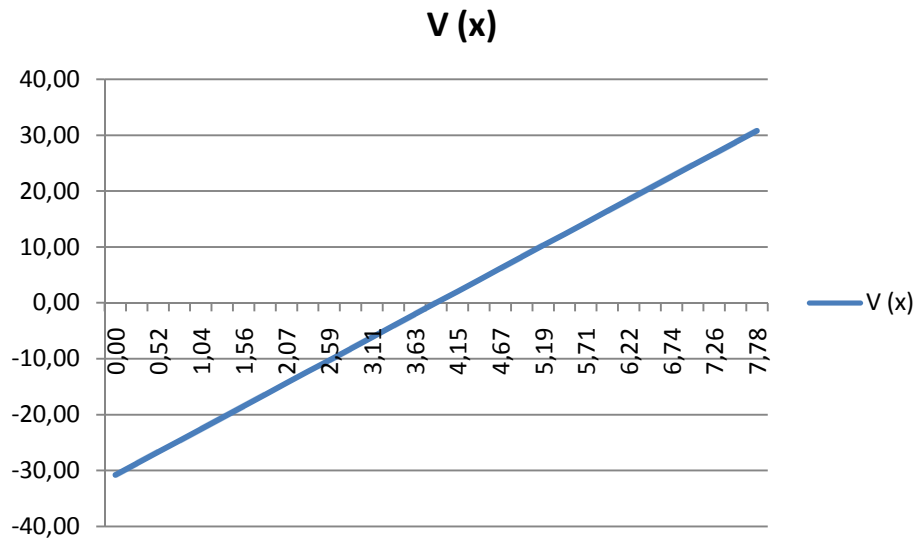


Figura 30: Andamento del taglio per trave incastrata

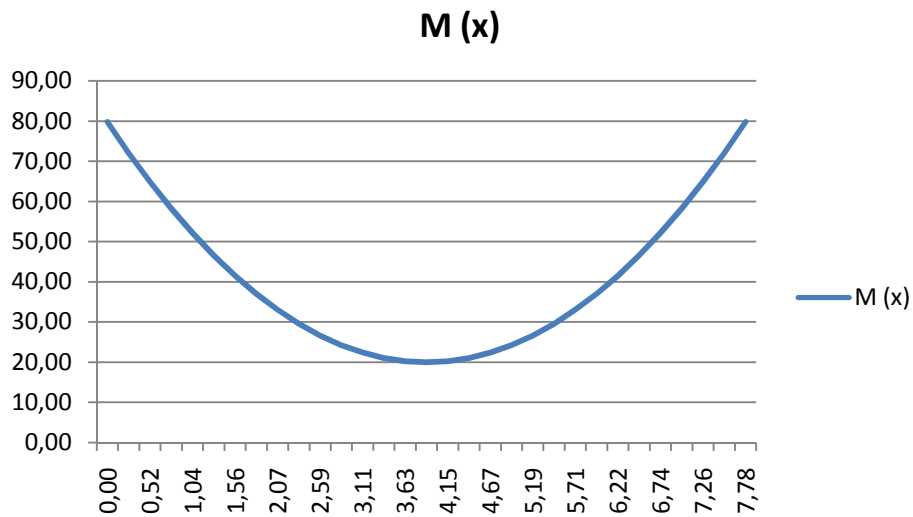


Figura 31: Andamento del momento per trave incastrata

Analizzando l' involuppo si definiscono i valori di momento flettente massimo nei nodi ed in campata.

Tabella 71: Valori di momento massimo in kNm

M_a	M_{ab}	M_b	M_{bc}	M_c	M_{cd}	M_d	M_{de}	M_e	M_{ef}	M_f
79,78	-40,81	50,39	-15,90	39,39	-28,64	37,79	-15,90	37,79	-40,81	79,78

INVILUPPO S.L.U.

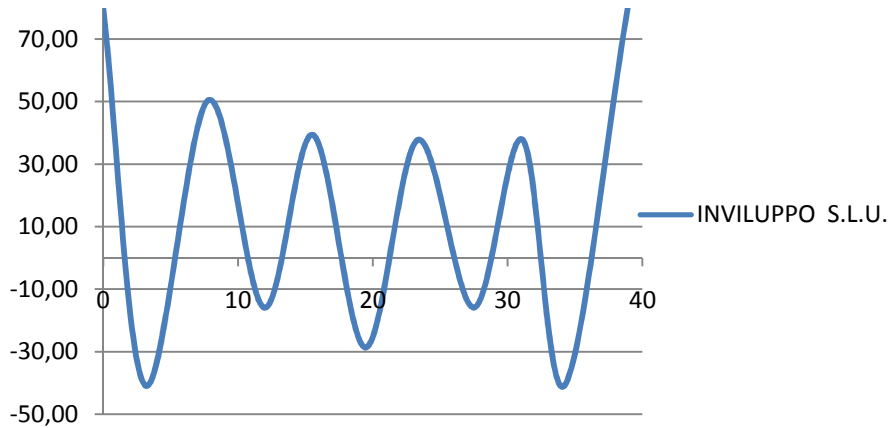


Figura 32: Inviluppo

Il dimensionamento delle armature va fatto in relazione ai momenti flettenti massimi trovati ed utilizzando una formula approssimata che ci fornisce indicazioni circa l'area di acciaio necessaria per resistere a tale momento in relazione alla quale è possibile scegliere i ferri da utilizzare.

Risulta opportuno ricordare che si considera l'acciaio come se fosse già al punto di snervamento in modo tale da non porci nel campo delle forti armature e poter così utilizzare la formula approssimata riferita al campo delle deboli/medie armature.

$$A_s = M / (0,9 * d * f_{sd})$$

La formula non presenta il coefficiente di sicurezza dettato da norma $\gamma_f = 1,42$ dal momento che stiamo già considerando dei carichi con la combinazione allo S.L.U..

Tabella 72: Amature

SEZIONE A = F		
A_s [mm ²]		$A_{s,EFF}$ [mm ²]
948	6 ϕ 16	1206
SEZIONE AB = EF		
A_s [mm ²]		$A_{s,EFF}$ [mm ²]
485	3 ϕ 16	603
SEZIONE B = E		
A_s [cm ²]		$A_{s,EFF}$ [mm ²]
599	4 ϕ 16	804
SEZIONE BC = DE		
A_s [cm ²]		$A_{s,EFF}$ [mm ²]
189	1 ϕ 16	201
SEZIONE C = D		
A_s [cm ²]		$A_{s,EFF}$ [mm ²]
468	3 ϕ 16	603
SEZIONE CD		
A_s [cm ²]		$A_{s,EFF}$ [mm ²]
340	2 ϕ 16	402

I valori di tutte le aree resistenti sono stati tramutati in ferri con il riferimento alla tabella indicante i diametri commerciali delle barre e fili da C.A. si individuano gli opportuni ferri da inserire per poter resistere alle rispettive azioni flettenti.

Φ mm	g Kg/m	u mm	nA _s (mm ²)								
			1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	0.154	15.7	19.6	39.3	58.9	78.5	98.2	118	137	157	177
6	0.222	18.9	28.3	56.5	84.8	113	141	170	198	226	254
8	0.395	25.1	50.5	101	151	201	251	302	352	402	452
10	0.617	31.4	79.0	157	236	314	393	471	550	628	707
12	0.888	37.7	113	226	339	452	566	679	791	905	1131
14	1.208	44.0	154	308	462	616	770	924	1078	1232	1385
16	1.578	50.3	201	402	603	804	1005	1206	1407	1608	1810
18	1.998	56.6	254	509	763	1018	1272	1527	1781	2036	2290
20	2.466	62.8	314	628	942	1257	1571	1885	2199	2513	2827
22	2.984	69.1	380	760	1140	1521	1901	2281	2661	3041	3421
24	3.551	75.4	452	905	1357	1810	2262	2714	3167	3619	4072
26	4.168	81.7	531	1062	1593	2124	2655	3186	3717	4247	4778
28	4.834	88.0	616	1232	1847	2463	3079	3695	4310	4926	5542
30	5.559	94.3	707	1414	2121	2827	3534	4241	4948	5655	6362

Figura 333: Corrispondenza tra diametri commerciali ed area

I valori di tutte le aree resistenti sono stati tramutati in ferri con il riferimento alla tabella indicante i diametri.

Verifica allo S.L.U.

Per le verifiche allo stato ultimo di rottura delle sezioni è opportuno ricordare le resistenze rispettive di acciaio e cls:

$$f_{sd} = 374 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cl} = 13,2 \text{ N/mm}^2$$

ed il loro rapporto $r = f_{sd}/f_{cl} = 28,3$.

Dal momento che tuttavia ci troviamo a lavorare anche con sezioni ad ala compressa come accade in campata quando abbiamo calcestruzzo armato che non risulta essere a sezione piena ma a T risulta indispensabile considerare una resistenza del calcestruzzo in tali parti pari a:

$$f_{cl}^* = 0,75 \text{ N/mm}^2$$

da cui ne segue un rapporto $r^* = 28,3/0,75 = 37,7$.

I valori di momento sono già stati definiti allo stato limite ultimo dal momento che nella trattazione iniziale dei carichi sono state già analizzate le combinazioni di carico ai diversi stati di verifica e sono stati utilizzati i valori allo stato limite ultimo per il pre-dimensionamento in sicurezza.

Per la verifica ci poniamo in un'ipotesi di deboli o medie armature e si considera che il limite verso le forti armature è dato dalla formula:

$$\omega_{sc} = 0,8 * 0,35 / (0,18 + 0,35) = 0,8 * 0,66 = 0,5283$$

che tiene conto di:

-deformazione ultima per cls con classi di resistenza <C50/60 $\epsilon_{cu}=-0,35\%$

-deformazione ultima per l'acciaio $\epsilon_{yd}=0.18\%$

Quindi per ogni sezione si va a determinare il valore ω_s che deve risultare inferiore al ω_{sc} con la formula seguente.

$$\omega_s = A_s \cdot f_{sd} / (b \cdot d \cdot f_{cl}) = A_s \cdot r / (b \cdot d) =$$

ricordando che per le sezioni in campata si utilizzerà il valore di r pari a 28,3 mentre sugli appoggi pari a 37,7.

Si determina poi il valore del braccio della coppia interna z utilizzando la seguente formula:

$$z = (1 - \omega_s / 2) \cdot d$$

ed il valore della resistenza flessionale M_{rd} che deve esser maggiore del valore M_{ad} di sforzo agente.

$$M_{rd} = A_s \cdot f_{sd} \cdot z$$

Tabella 73: Dati

f_{sd} [kN/m ²]	f_{cl} [kN/m ²]	r	f_{cl}^* [kN/m ²]	r^*	d [cm]	b [cm]
374000	13200	28,33	750	37,78	25	25

Tabella 74: Verifica armature allo S.L.U.

SEZIONE	$A_{s,EFF}$ [cm ²]	r / r^*	ω_s	z [m]	M_{rd} [kNm]	M_{ad} [kNm]	VERIFICA
A = F	12,06	37,78	0,55	18,17	81,94	79,78	VERO
AB = EF	6,03	28,33	0,27	21,58	48,67	-40,81	VERO
B = E	8,04	37,78	0,36	20,44	61,47	50,39	VERO
BC = DE	2,01	28,33	0,09	23,86	17,94	-15,90	VERO
C = D	6,03	37,78	0,27	21,58	48,67	39,39	VERO
CD	4,02	28,33	0,18	22,72	34,16	-28,64	VERO

In Figura 34 è visibile il disegno della trave e dell' armatura.

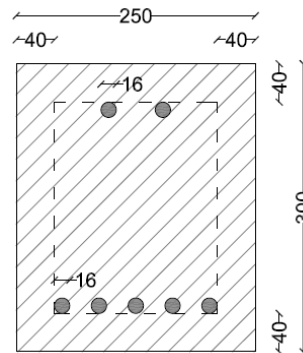


Figura 34: Sezione della trave in c.a. e disegno delle armature nella sezione terminale

6.1.7 Dimensionamento dei setti in c.a.

Per il dimensionamento dei setti in c.a. siti nel passaggio tra la mensa e la palestra si fa riferimento ai calcoli da eseguire per i pilastri, dove una dimensione in pianta sarà molto prevalente rispetto all' altra.

Setto centrato F2

L' area di influenza considera le porzioni di solaio gravanti sul setto considerato e va corretta con un coefficiente correttivo che ne aumenta il valore del 40%.

Tabella 75: Dati

A [m ²]	A CORRETTA [m ²]	P PERM [kN/m ²]	P VARIABILI [kN/m ²]	PCONC PERM [kN/m]	PCONC VARIAB [kN/m]
18,8	26,32	3,76	1,84	98,96	48,44

Per effettuare un pre-dimensionamento della sezione è necessario conoscere il valore del coefficiente di sicurezza parziale γ_f , la cui formula è:

$$\gamma_f = (\gamma_g * G_k + \gamma_q * Q_k) / (G_k + Q_k)$$

Tabella 76: Calcolo di γ_f

γ_g	γ_q	γ_f
1,4	1,5	1,43

Tabella 77: Calcolo degli sforzi assiali

F_k [kN]	N_{ak} [kN] = $\sum F_{ki}$	$N_{ad} =$ $\gamma_f * N_{ak}$ [kN]	$A_{c0} =$ N_{ad} / f_{cl} [m ²]	$A_{c0} =$ N_{ad} / f_{cl} [cm ²]	a x b [m ²]
147,40	147,40	211,21	0,01	124,24	2,45x0,25

La tabella sopra riporta:

- nella prima colonna i pesi e quindi le forze verticali agenti sull' impalcato;
- nella seconda la somma progressiva per la valutazione delle azioni assiali caratteristiche;
- nella terza i valori di calcolo amplificati per γ_f ;
- nella quarta e la quinta la sezione minima di calcestruzzo in base alla sola componente assiale dello sforzo;
- nella sesta la dimensione geometrica dei pilastri.

A questo punto si passa alla verifica col peso proprio dei setti.

Tabella 78: Calcolo del peso proprio dei pilastri

a [m]	b [m]	h [m]	PESO CLS [kN/m ³]	PESO PROPRIO SETTI [kN]
2,45	0,25	4	25	61,25

Le colonne della tabella sopra riportano gli stessi calcoli di quella superiore, maggiorati del peso dei pilastri.

Tabella 79: Calcolo degli sforzi assiali con i pesi propri dei setti

F_k [kN]	N_{ak} [kN] = $\sum F_{ki}$	$N_{ad} =$ $\gamma_f * N_{ak}$ [kN]	$A_{c0} =$ N_{ad} / f_{cl} [m ²]	$A_{c0} =$ N_{ad} / f_{cl} [cm ²]	a x b [m ²]
208,65	208,65	298,97	0,02	175,87	2,45x0,25

Per dimensionare le armature si è partiti dal pre-dimensionamento nella tabella sottostante, dove sono indicati:

- nella prima e nella seconda colonna l' area del pilastro;
- nella terza il limite geometrico;
- nella quarta il limite meccanico;
- nella quinta il limite tecnologico;
- la sesta colonna riporta il valore massimo tra le tre colonne indicente il valore minimo delle armature, che dal secondo piano corrisponde al limite tecnologico, ossia 4 ferri di diametro 12 mm, mentre per il piano terra si fa riferimento al limite tecnologico che fa crescere i ferri a 5 di diametro 12 mm;
- l'ultima colonna indica l' area effettiva dei ferri dell' armatura considerata.

Tabella 80: Predimensionamento armature

A_c [m ²]	A_c [cm ²]	$A_{smin} = 0,3 * A_c$ [mm ²]	$A_{smin} = 0,15 N_{ad} / f_{sd}$ [m ²]	$A_{smin} = 0,15 N_{ad} / f_{sd}$ [mm ²]	4 ϕ 12 [mm ²]	A_s [mm ²]	$n * X\phi$	A_{seff} [mm ²]
0,6125	6125	18	0,0001	120	452	452	4 ϕ 12	452

Verifica allo S.L.E.

Questa verifica rappresenta la capacità del setto di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio.

Partendo dall' area del setto si può calcolare l' area ideale che serve per il calcolo della tensione

$$\sigma_c = N_{ak} / A_{ie}$$

Se il rapporto tra la tensione ammissibile pari a 9,45 MPa e la tensione di progetto è maggiore di 1, allora la quantità dei ferri di armatura è verificata allo S.L.E.

Tabella 81: Verifica armature allo S.L.E.

A_{ie} [mm ²]	σ_c [kPa]	σ_{cadm} [kPa]	σ_{cadm} / σ_c	VERIFICA
619280	0,34	9,45	28,05	VERO

Le nostre armature sono tutte verificate.

Verifica allo S.L.U.

Questo tipo di verifica serve per valutare la capacità della struttura di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano mettere fuori servizio l' opera.

Facendo riferimento all' area effettiva del pilastro – A_c – e di quella effettiva dell' armatura – A_s – si può calcolare il valore resistente dello sforzo assiale come

$$N_{rd} = A_c * f'_{cl} + A_s * f_{sd}$$

Tabella 82: Verifica armature allo S.L.U.

N_{rd} [kN]	$\gamma = N_{rd} / N_{ad}$	VERIFICA
8499	28,43	VERO

Il rapporto γ tra N_{rd} e N_{ad} è sempre maggiore di 1, quindi la struttura è verificata anche allo S.L.U..

Riprese dei ferri

Per il calcolo delle sovrapposizione delle armature si fatto riferimento alla lunghezza minima di ancoraggio:

$$l_b = f_{sd} * \phi / (4 * f_{bd})$$

Tabella 83: Riprese dei ferri

f_{ctk} [kN/m ²]	f_{ctd} [kN/m ²]	f_{bd} [kN/m ²]	lb ϕ
2030	1350	3037,5	30,78

Di seguito è rappresentato il setto e le relative armature.

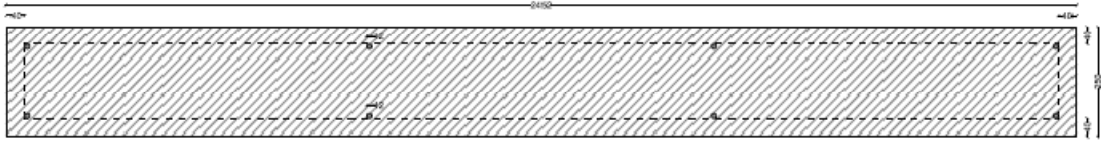


Figura 345: Setto G1

Setto di bordo F1

I primi passaggi effettuati sono gli stessi utilizzati per il setto centrato.

Tabella 84: Dati

A [m ²]	A CORRETTA [m ²]	P PERM [kN/m ²]	P VARIABILI [kN/m ²]	PCONC PERM [kN/m]	PCONC VARIAB [kN/m]
11,92	16,69	3,76	1,84	62,75	30,71

Tabella 85: Calcolo di Y_f

Y_g	Y_q	Y_f
1,4	1,5	1,43

Tabella 86: Calcolo degli sforzi assiali

F_k [kN]	N_{ak} [kN] $= \sum F_{kj}$	$N_{ad} =$ $Y_f * N_{ak}$ [kN]	$A_{c0} =$ N_{ad} / f_{cl} [m ²]	$A_{c0} =$ N_{ad} / f_{cl} [cm ²]	a x b [m ²]
93,46	93,46	133,92	0,01	78,77	2,45x0,25

Tabella 87: Calcolo del peso proprio dei pilastri

a [m]	b [m]	h [m]	PESO CLS [kN/m ³]	PESO PROPRIO SETTI [kN]
2,45	0,25	4	25	61,25

Tabella 88: Calcolo degli sforzi assiali con i pesi propri dei setti

F_k [kN]	N_{ak} [kN] $= \sum F_{kj}$	$N_{ad} =$ $Y_f * N_{ak}$ [kN]	$A_{c0} =$ N_{ad} / f_{cl} [m ²]	$A_{c0} =$ N_{ad} / f_{cl} [cm ²]	a x b [m ²]
154,71	154,71	221,68	0,02	163,00	2,45x0,25

Tabella 89: Predimensionamento armatura

A_c [m ²]	A_c [cm ²]	$A_{smin} =$ $0,3 * A_c$ [mm ²]	$A_{smin} =$ $0,15 N_{ad} /$ f_{sd} [m ²]	$A_{smin} =$ $0,15 N_{ad} /$ f_{sd} [mm ²]	$4 \phi 12$ [mm ²]	A_s [mm ²]	n * X ϕ	A_{seff} [mm ²]
0,6125	6125	18	0,00005	54	452	452	4 ϕ 12	452

Prima di stimare i valori dei momenti è necessario valutare le rigidezze degli elementi, con la formula

$$I = b \cdot h^3 / 12,$$

così da ottenere:

Tabella 90: Dati geometrici

a_{pil} [m]	b_{pil} [m]	b_{trave} [m]	h_{trave} [m]
2,45	0,25	0,25	0,25

Tabella 91: Calcolo delle inerzie

I_p [cm ⁴]	319010
I_t [cm ⁴]	32552
I_t / I_p	0,10

Lo schema statico utilizzato per la determinazione dei momenti è il seguente:

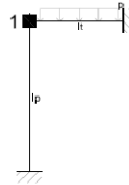


Figura 36: Schema statico dei setti

Considerando la lunghezza della trave di 3,75 m, una prima approssimazione per il calcolo dei momenti nel caso coi carichi esterni, ossia il caso 0, corrisponde ai valori degli stessi nella condizione di incastro perfetto, ossia $M = p \cdot l^2 / 12$.

Per la determinazione dei pesi si sono moltiplicati i carichi agenti sul piano considerato per la lunghezza trasversale dello stesso, come riportato in seguito:

Tabella 92: Dati

L [m]	$L^2/12$ [m]	P PERM [kN/m ²]	L_{trasv} [m]	P CONC [kN/m]	h [m]
4,75	1,88	5,60	0,55	3,08	4

Tabella 93: Calcolo delle rotazioni al nodo

m_{10}	m_{11}	ψ_1
-5,79	0,0030	1923

Da cui si ricavano i valori di momento flettente.

Tabella 94: Momenti ed azioni assiali

M _{ij} [kNm]	M _i [kN]	N [kN]	e_{piede} [m]	$e_{sommità}$ [m]
3,07	11,58	7	0,42	1,58

$$M_{ij} = \frac{2 I_p \varphi_1}{h}$$

$$M_i = m_{11}\varphi_1 - m_{10}$$

$$N = \frac{P_{conc} L}{2}$$

$$e = \frac{M_{ij}}{N}$$

Verifica allo S.L.E. – Sezione al piede

Si è partiti ipotizzando i seguenti ferri d'armatura:

2φ20 + 2 φ12 tesi e 2φ12 compressi, che corrispondono ad un'area A_s di 0,000854 m² e ad un' A'_s di 0,000226 m².

Tabella 95: Dimensionamento armature al piede

A_s [m ²]	A'_s [m ²]	d_0 [m]	d_s [m]	d'_s [m]	d [m]	d' [m]
0,000854	0,000226	-0,81	-0,56	-0,77	0,25	0,04

Gli altri valori sono stati calcolati come in seguito:

$$d_0 = e_4 - a/2;$$

$$d_s = d_0 + d;$$

$$d'_s = d_0 + d'.$$

Ora che si hanno tutti i termini necessari, possibile risolvere l'equazione di terzo grado che rappresenta l'equilibrio alla rotazione rispetto al punto di applicazione dell'azione assiale eccentrica

$$x^3 + 3d_0 * x^2 + 6m/b * (A_s * d_0 + A'_s * d'_s) * x - 6m/b * (A_s * d * d_s + A'_s * d' * d'_s) = 0$$

che consente di determinare la posizione dell'asse neutro tramite il valore di x .

Tabella 96: Verifiche per l'armatura al piede

x [m]	0,114	
S_i [m ³]	0,000134	
$-\sigma_c$ [kN/m ²]	-6242	
σ_s [kN/m ²]	111689	
$\underline{\sigma}_c$ [kN/m ²]	13500	VERO
$\underline{\sigma}_s$ [kN/m ²]	240000	VERO

$$S_i = b * x^2 / 2 + m * A'_s * (x - d') - m * A_s * (d - x);$$

$$\sigma_c = N / S_i * x;$$

$$\sigma_s = m * (d - x) / x * \sigma_c.$$

Considerando i valori limite riportati in tabella, le armature risultano verificate.

Verifica allo S.L.E. – Sezione in sommità

I ferri d'armatura ipotizzati sono i medesimi che in sommità, ossia 2φ20 + 2 φ12 tesi e 2φ12 compressi.

Tabella 97: Dimensionamento armature in sommità

A_s [m ²]	A'_s [m ²]	d_0 [m]	d_s [m]	d'_s [m]	d [m]	d' [m]
0,000854	0,000226	0,36	-0,55575	-0,7657499	0,25	0,04

Tabella 98: Verifiche per l'armatura in sommità

x [m]	0,110	
S _i [m ³]	-0,000044	
-σ _c [kN/m ²]	12457	
σ _s [kN/m ²]	-352359	
σ _c [kN/m ²]	13500	VERO
σ _s [kN/m ²]	240000	VERO

Anche per la sommità del pilastro le verifiche risultano soddisfatte.

Verifica allo S.L.U.

Questo tipo di verifica serve per valutare la capacità della struttura di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano mettere fuori servizio l'opera.

Tabella 99: Dati

f _{cl} [kN/m ²]	f _{sd} [kN/m ²]	f' _{cl} [kN/m ²]	ε _{vd}	ε _{cu}	β ₀	α ₀	r	r'
17000	374000	13600	0,0018	0,0035	0,8	0,5143	22	27,5

N _{co} [kN]	M _{co} [kNm]	δ	δ'	η _c	η _s	η' _s
10413	2603	1,00	0,16	0,0612	0,94	-0,10

$$N_{co} = f_{cl} * a * b;$$

$$M_{co} = f_{cl} * a^2 * b;$$

$$\delta = d/a;$$

$$\delta' = d'/a;$$

$$\eta_c = 0,15/a;$$

$$\eta_s = \delta - \eta_c;$$

$$\eta'_s = \delta' - \eta_c.$$

Tabella 100: Calcolo dei momenti resistenti

F _k	N _{ak}	N _{ad}	v ₀	ω _s	ω' _s	ξ	ξ > ξ _{sup}	ξ < ξ _{sup}	η ₀	α _s	α' _s	M _{rd}
155	155	222	0,02	0,03	0,01	0,04	/	0,05	0,04	1	0	80
216	216	309	0,03	0,03	0,01	0,05	/	0,06	0,04	1	0	80

La prima riga riporta i valori senza peso proprio, mentre nella seconda è stato aggiunto il peso del setto.

F_k sono le forze verticali agenti sull'impalcato; N_{ak} la somma progressiva delle forze agenti;

$$N_{ad} = N_{ak} * \gamma_f;$$

$$v_0 = N_{ad} / N_{co};$$

$$\omega_s = f_{sd} * A_s / N_{co};$$

$$\omega'_s = f_{sd} * A'_s / N_{co};$$

$$\xi = v_0 + \omega_s - \omega'_s;$$

$$\xi > \xi_{sup} (=0,46) = [(\alpha_0 * v_0 - \omega_s - \alpha_0 * \omega'_s) + (\alpha_0 + v_0 - \omega_s - \alpha_0 * \omega'_s)^2 + (4 * \beta_0 * \alpha_0 * \omega_s * \delta)^{0,5}] / (2 * \alpha_0);$$

$$\eta_0 = \eta_c - \xi / 2;$$

$$\alpha_s = 1 \text{ se } \xi < \xi_{sup} (=0,46);$$

$$\alpha_s = (\beta_0 * \delta - \xi) / (\alpha_0 * \xi) \text{ se } \xi > \xi_{sup} (=0,46);$$

$$\alpha'_s = 1 \text{ se } \xi > \xi_{inf} (=0,07);$$

$$M_{rd} = (\xi * \eta_0 + \alpha_s * \omega_s * \eta_s + \alpha'_s * \omega'_s * \eta'_s) / \eta_0.$$

Le verifiche di resistenza richiedono che $M_{rd}/\gamma_r > 1$; per questo è necessario calcolare $N_{rd} = f_{sd} \cdot A_c + f_{cl} \cdot A_s$:

Tabella 101: Verifiche di resistenza

M_{rd}	N_{rd} [kNm]	γ_r	M_{ad} [kNm]	
80	8375	38	2	VERO
80	8375	27	3	VERO

$$\gamma_r = N_{rd}/N_{ad}$$

I valori di M_{ad} risultano sempre superiori all'unità, quindi le armature sono verificate.

6.1.8 Dimensionamento del muro controterra

Per il dimensionamento del muro contro terra si fa riferimento al disegno sotto.

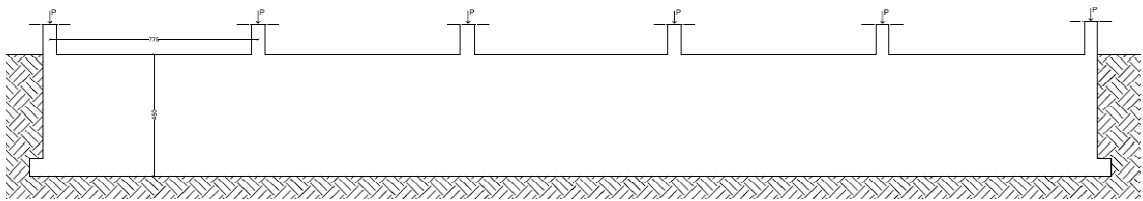


Figura 357: Schema muro contro terra

Il primo passaggio consiste nel calcolare le azioni verticali sui pilastri, ossia sommare il carico concentrato trovato nel dimensionamento dei pilastri al peso proprio del muro.

Tabella 102: Verifiche di resistenza

h [m]	b [m]	i [m]	γ_{CLS} [kN/m ³]	N_{ak} [kN]	N_{muro} [kN]	N_{tot} [kN]
4	0,25	7,75	25	341	194	534

Dove i rappresenta l'interasse tra i pilastri.

Calcolo della resistenza del terreno

La verifica da effettuare prevede che la resistenza del terreno sia maggiore del valore di pressione che il pilastro scarica.

Tabella 103: Verifiche di resistenza

σ_g [kN/m ²]	γ_f	σ_d [kN/m ²]	r_v [kN/m ²]	VERIFICA
53	1,2	64	116	VERO

$$\sigma_g = \frac{N_{ak}}{l \cdot i}$$

$$\sigma_d = \gamma_f \cdot \sigma_g$$

Il valore di r_v è quello calcolato per i plinti al capitolo 6.1.5. e risulta minore di σ_d , per cui la resistenza del terreno risulta verificata.

Calcolo delle sollecitazioni longitudinali mediante trave elastica su suolo elastico.

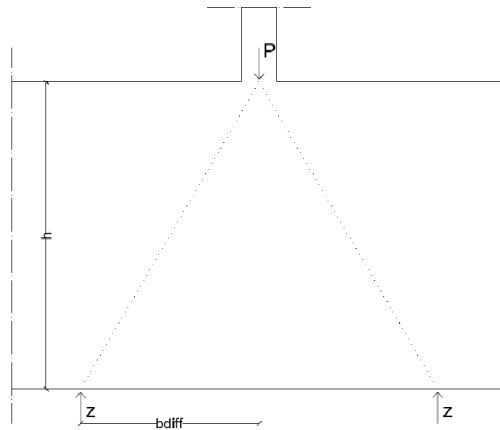


Figura 368: Schema di diffusione del carico

I calcoli effettuati si basano sul calcolo dell' equilibrio di ogni sezione ed utilizzano lo schema ad arco rovescio, mediante il quale si assicura la diffusione locale dei carichi; la forza nel tirante, considerando la resistenza raddoppiata per garantire la continuità del muro, può essere assunta pari a

$$Z = \frac{a \cdot N_{ak}}{h \cdot 2}$$

Tabella 104: Verifiche di resistenza

h [m]	b _{diff} [m]	N _{ak} [kN]	Z [kN]
4	2	341	98

Con questi dati si può passare al dimensionamento delle armature longitudinali tramite la formula seguente:

$$A_s = \frac{Z \cdot \gamma_f}{f_{sd}}$$

Tabella 105: Calcolo delle armature longitudinali

f _{sd} [kN/m ²]	γ _f	A _s [m ²]	A _s [mm ²]	n φ x	A _{s,EFF} [mm ²]	A _{s,EFF} [m ²]
374000	1,4	0,0004	368	2 φ 16	402	0,0004

Calcolo della spinta del terreno

Lo schema statico considerato è quello sotto riportato.

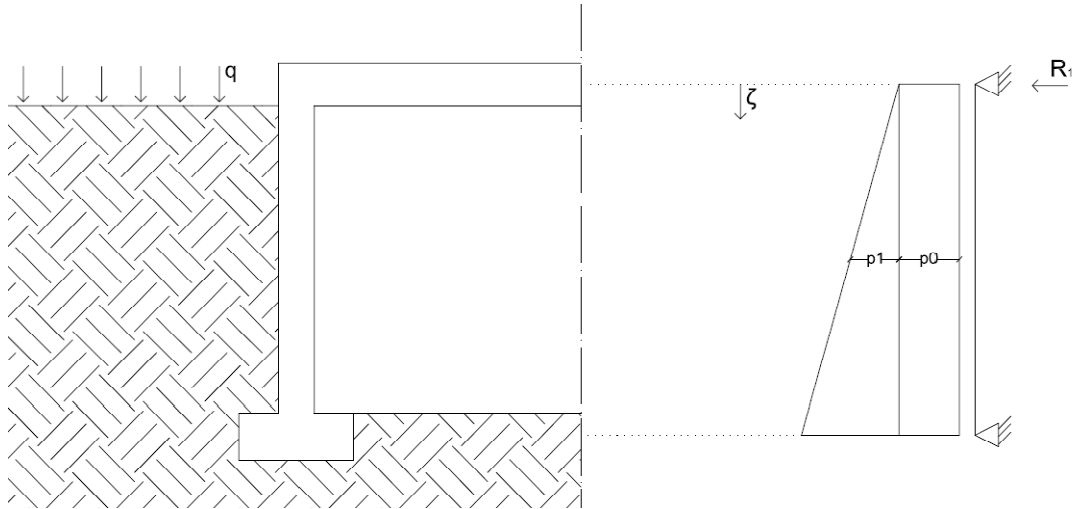


Figura 39: Schema statico del muro contro terra

Il peso p_1 deriva dal sovraccarico q , mentre p_0 dal peso proprio del terreno e varia triangolarmente, aumentando all' aumentare della profondità z .

$$p_0 = \lambda_a \cdot q$$

$$p_1 = \lambda_a \cdot \gamma_{ter} \cdot \zeta$$

$$\lambda_a = \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Tabella 106: Dati

q [kN/m ²]	γ_{ter} [kN/m ³]	ϕ' [°]	h [m]	λ_a	p_0 [kN/m ²]	$p_1 \cdot \zeta$ [kN/m ²]	R_1 [kN/m]
122	16,93	24	4	0,42	52	7	122

La reazione orizzontale R_1 è necessaria per la determinazione degli sforzi.

$$R_1 = \frac{p_0 \cdot h}{2} + \frac{p_1 \cdot h^2}{6}$$

$$V(\zeta) = R_1 - p_0 \zeta - \frac{p_1 \zeta^2}{2}$$

$$M(\zeta) = R_1 \zeta - \frac{p_0 \zeta^2}{2} - \frac{p_1 \zeta^3}{6}$$

Ponendo $V(\zeta) = 0$ si può ricavare la posizione dell' asse neutro

$$\zeta = \frac{-p_0 + \sqrt{p_0^2 + 4 \cdot \frac{p_1}{2} \cdot R_1}}{p_1}$$

Da cui si ricavano i valori di momento massimo e di taglio massimo.

Tabella 107: Calcolo di V_{MAX} e M_{MAX}

ζ [m]	V_{MAX} [kN]	M_{MAX} [kNm]
0,57	90	61

Le armature necessarie saranno il massimo tra i seguenti:

$$A_s = \frac{\gamma_f \cdot M_{MAX}}{0,9 \cdot d \cdot f_{sd}}$$

$$A_s = \frac{1 \cdot sp \cdot f_{ctm}}{2 \cdot 2 \cdot f_{yk}}$$

Tabella 108: Dimensionamento armature

γ_f	d [m]	A_s [cm ² /m]	A_s [mm ² /m]	n ϕ x	$A_{s,EFF}$ [mm ²]
1,5	0,25	10,95	1095	6 ϕ 16	1206
f_{ctm} [kN/m ²]	f_{yk} [kN/m ²]	A_s [m ² /m]	A_s [mm ² /m]		
25700	4300000	0,0005	523		

Armatura dello zoccolo di fondazione

Il metodo applicato è analogo a quello da utilizzarsi per le mensole tozze, il cui procedimento è sotto riportato.

$$A_{sa} = \frac{2 P_a \cdot \lambda_a}{2 \cdot f_{sd}}$$

$$2 P_a = \frac{b}{a} \cdot N$$

$$\lambda_a = \frac{l_a}{d}$$

$$l_a = \frac{a - a'}{4} + c_a$$

$$c_a = 0,2 \cdot d \leq \frac{a'}{4}$$

Tabella 109: Dati

l [m]	d [m]	a [m]	a' [m]	i [m]	$P_{pilastro}$ [kN/m]	P_{muro} [kN/m]	N [kN/m]
1,00	0,35	1,30	0,30	7,75	27	25	52

Tabella 110: Dimensionamento armature

c_a [m]	$c_{a,MAX}$ [m]	$c_a < c_{a,MAX}$	l_a [m]	λ_a	$2 P_a$ [kN/m]	A_{sa} [m ² /m]	A_{sa} [mm ² /m]	n ϕ x	$A_{s,EFF}$ [mm ²]
0,07	0,08	VERO	0,32	0,914	40	0,0005	488	3 ϕ 16	603

L' ultimo passaggio da effettuare è la verifica della portanza del calcestruzzo, ossia

$$P_{rc} = \frac{P_{ad} < P_{rc}}{1 + \lambda_2^2} = \frac{0,8 \cdot d \cdot b \cdot f_{c1}}{1 + \lambda_2^2}$$

$$P_{ad} = 2 P_a \cdot \gamma$$

Tabella 111: Verifica della portanza del cls

P_{rc} [kN]	P_{ad} [kN]	VERIFICA
2013	56	VERO

6.2 Struttura dell' ala con i laboratori ed i servizi per gli esterni

L' ala di scuola verso ovest è caratterizzata da spazi dove le affluenze possono essere maggiori e quindi i carichi che la struttura dovrà sopportare saranno più alti di quelli delle aule didattiche; anche le luci dei solai sono maggiori rispetto a quelle della struttura regolare ad ovest, per cui la scelta progettuale che è stata presa consiste nell' utilizzo di solai a piastra, i cui vantaggi sono descritti nel capitolo seguente, incastrati in setti in calcestruzzo armato disposti a raggiera su due lati e sui restanti due su appoggi puntiformi costituiti da pilastri HEA 100.

La piastra della soletta d' interpiano dell' atrio, non potendo appoggiare su entrambi i setti in c.a. in quanto interrotta dal buco della scala, presenta dei tiranti che sorreggono la stessa e rimandano i carichi in copertura.

La sala polivalente che aggetta su Via Valcalchera è sostenuta sul lato est da una doppia trave parete che parte da terra, entra nella chiusura verticale ed arriva fino alla copertura; sul lato ovest le travi sono incernierate al setto in c.a. e la luce è interrotta da un appoggio centrale in corrispondenza del vano in cui è contenuta la scala antincendio.

La vetrata strutturale è sorretta da una trave reticolare a ginocchio che parte da terra e scarica sulla trave di copertura.

Nel presente capitolo si può trovare il dimensionamento della piastra in calcestruzzo armato compresa tra gli assi strutturali 5', 6', C', O'; dopo aver spiegato brevemente i vantaggi di una soluzione strutturale di solaio a piastra si procede con il dimensionamento dell' armatura, dopo aver stabilito i momenti resistenti agenti sulla stessa.

Vedi Allegato: TAVOLA 54 – Pianta strutturali zona laboratori e uffici livello -3
Vedi Allegato: TAVOLA 55 – Pianta strutturali zona laboratori e uffici livello 0
Vedi Allegato: TAVOLA 56 – Pianta strutturali zona laboratori e uffici livello 3,5
Vedi Allegato: TAVOLA 57 – Pianta strutturali zona laboratori e uffici livello 9

6.2.1 Piastre in calcestruzzo armato

Le piastre sono elementi strutturali bidimensionali caratterizzati da piccoli spessori; il materiale più utilizzato per la progettazione e la realizzazione di questi elementi strutturali è il calcestruzzo armato, come nel nostro caso, sebbene esistano anche soluzioni in acciaio (da solo oppure accoppiato al calcestruzzo) e in legno – calcestruzzo.

I vantaggi della soluzione di solaio a piastra sono molteplici e tra i principali si ricordano la facilità nell' esecuzione delle operazioni di cassetatura e la libertà geometrica possibile in pianta; dal punto di vista strutturale i solai a piastra reagiscono bene agli sforzi che provocano flessione, taglio e torsione in quanto trasmettono i carichi in due direzioni, a condizione che i vincoli siano ben progettati, ossia disposti a maglia.

Per la scelta della tipologia di piastra da utilizzare ci si è rifatti alle Tabelle 112 e 113, estratte dalle “Linee guida per la progettazione delle piastre in c.a.” di Gambarova, Coronelli e Bamonte.

Tabella 112: Luci tipiche per i diversi sistemi di piastra e rapporti tra spessore della piastra e luce

TIPOLOGIA	LUCI ABITUALI	SPESSORE / LUCE
PIASTRA SU PARETI PORTANTI LUNGO 4 LATI	FINO A 8 m	1/25 - 1/35
PIASTRA SU TRAVI LUNGO 2 LATI	6 - 12 m	1/25 - 1/35
PIASTRA SU TRAVI LUNGO 4 LATI	6 - 15 m	1/25 - 1/35
PIASTRA A SPESSORE COSTANTE SU COLONNE	6 - 9 m	1/20 - 1/30
PIASTRA SU COLONNE CON CAPITELLI	7 - 12 m	1/25 - 1/35
PIASTRA NERVATA A CASSETTONI SU COLONNE	12 - 20 m	nervature: 1/15 - 1/20 sp < 120 mm

Tabella 113: Vantaggi e svantaggi per ogni tipologia di piastra utilizzata

TIPOLOGIA	VANTAGGI	SVANTAGGI	COSTRUZIONE
PIASTRA A SPESSORE COSTANTE SU COLONNE	facilità costruttiva Facile passaggio impianti tempi di costruzione ridotti	grandi quantità di materiali Problemi di punzonamento controllo degli spostamenti controllo della fessurazione	abitazioni magazzini edifici commerciali parcheggi ospedali
PIASTRA SU COLONNE CON ISPESSIMENTI O CAPITELLI NEI PUNTI D' APPOGGIO	buona resistenza al punzonamento	casseratura complessa	magazzini edifici commerciali edifici industriali parcheggi
PIASTRA SU TRAVI LUNGO I LATI	flessibilità in pianta	casseratura complessa	abitazioni edifici industriali
PIASTRA NERVATA A CASSETTONI SU COLONNE	grandi luci grande capacità di carico	grandi quantità di materiali casseratura complessa problemi acustici	edifici commerciali edifici industriali aule palestre
PIASTRA SU PARETI PORTANTI	materiali ridotti	poca flessibilità in pianta	edifici modulari

Alla luce delle tabelle soprastanti, il nostro edificio ben si presta a piastre su pareti portanti e su colonne, con spessori che in prima ipotesi si ipotizzano pari a 20 cm.

Per quanto riguarda le porzioni di piastra su appoggi puntiformi, bisognerà prestare particolare attenzione al problema del punzonamento, infittendo l'armatura agli appoggi per contrastare le grandi forze di taglio.

Dimensionamento della piastra 5' – 6' – C' – O'

A titolo rappresentativo si è scelto di dimensionare la piastra compresa tra gli assi verticali 5' e 6' e gli assi orizzontali C' ed O'.

In Figura 35 è disegnata la suddetta piastra e ne sono specificate le dimensioni; lo spessore è assunto pari a 20 cm.

I vincoli a cui la stessa è subordinata sono degli incastri nelle porzioni laterali dove sono presenti i setti in calcestruzzo armato rappresentati in blu e degli appoggi in corrispondenza dei pilastri, evidenziati con il colore rosso; la porzione inferiore non è soggetta ad alcun vincolo. L'area della piastra è evidenziata con il colore giallo.

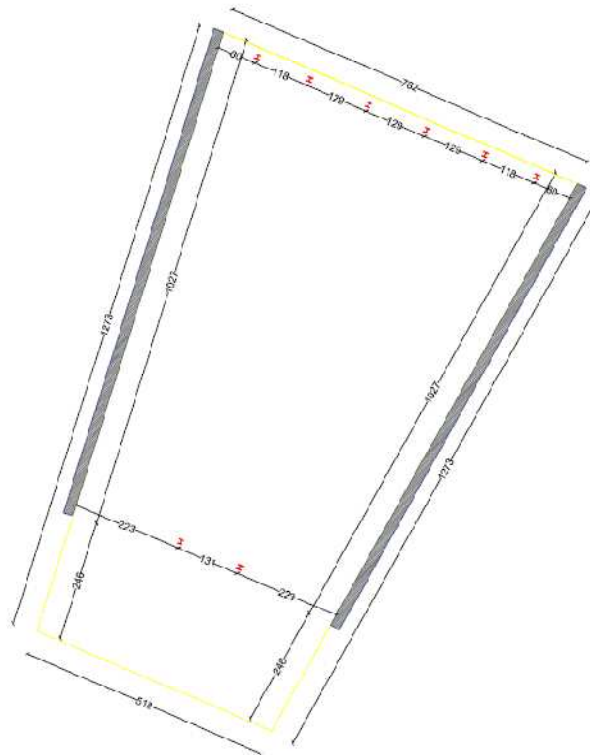


Figura 37: Dimensioni e vincoli della piastra 5' - 6' - C' - O'

6.2.2 Calcolo dei momenti resistenti ultimi

Per il calcolo dei momenti resistenti ultimi ci si è avvalsi di un programma che risolve problemi statici usando un modello agli elementi finiti.

Sono state eseguite più prove con differenti meshature e geometrie di discretizzazione fino a che non si è ottenuta la convergenza dei risultati.

Gli stati di sforzo interni alla piastra sono visibili nelle Figure 36, 37 e 38 e rappresentano le azioni interne ultime m_{xu} , m_{yu} e m_{xyu} in riferimento agli assi x e y della piastra.

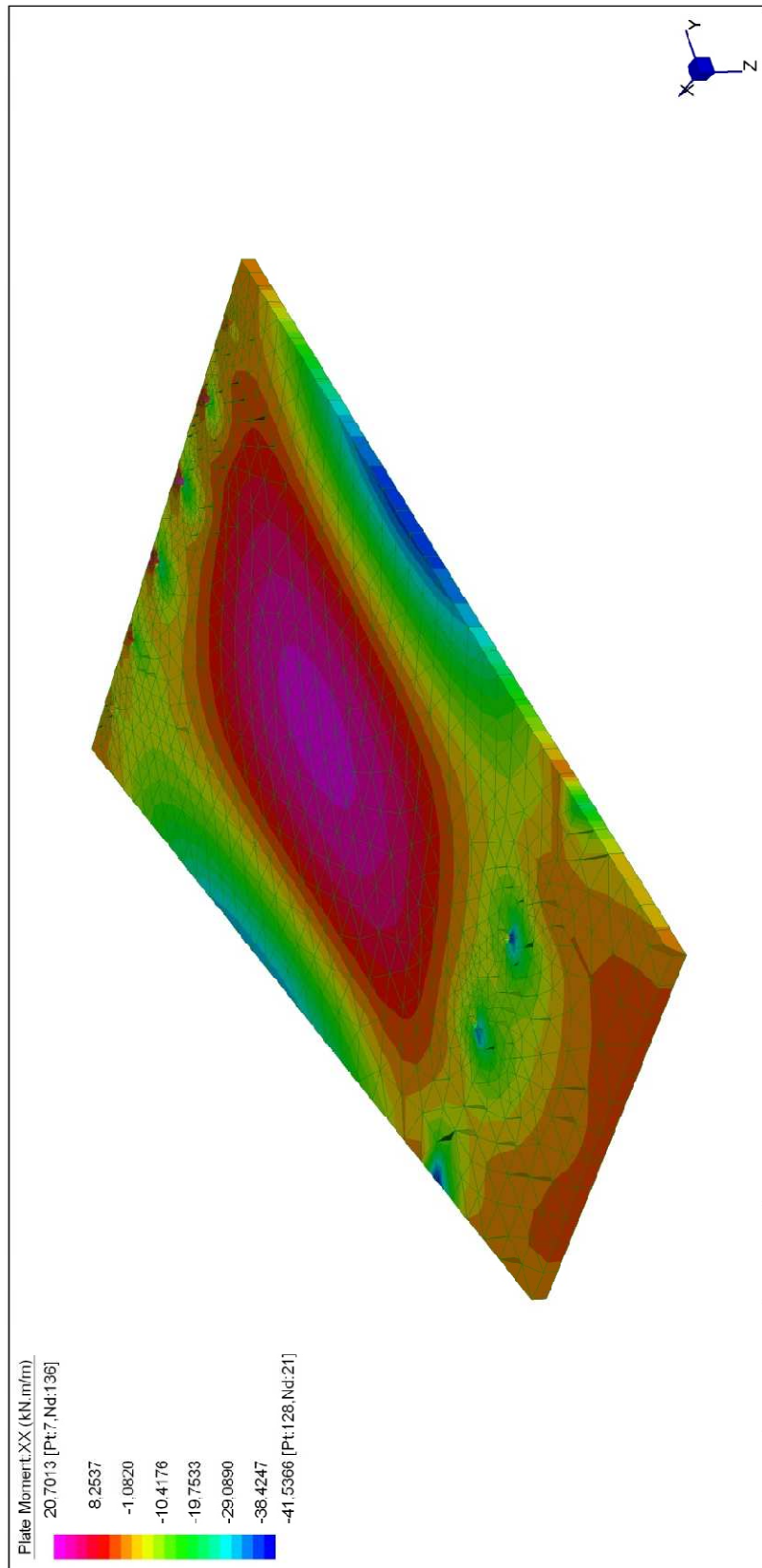


Figura 38: Azioni interne m_{xx}

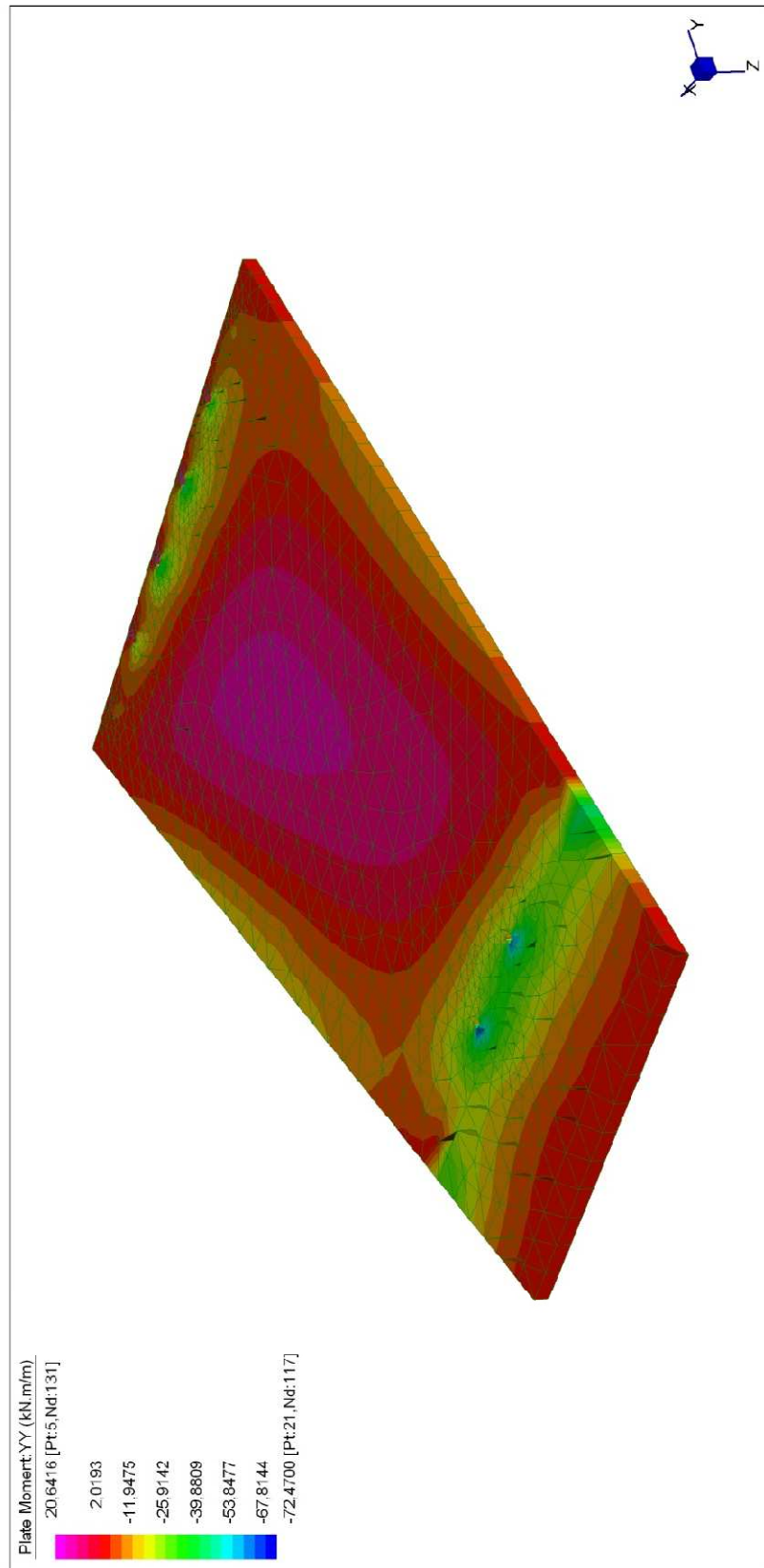


Figura 39: Azioni interne m_{yu}

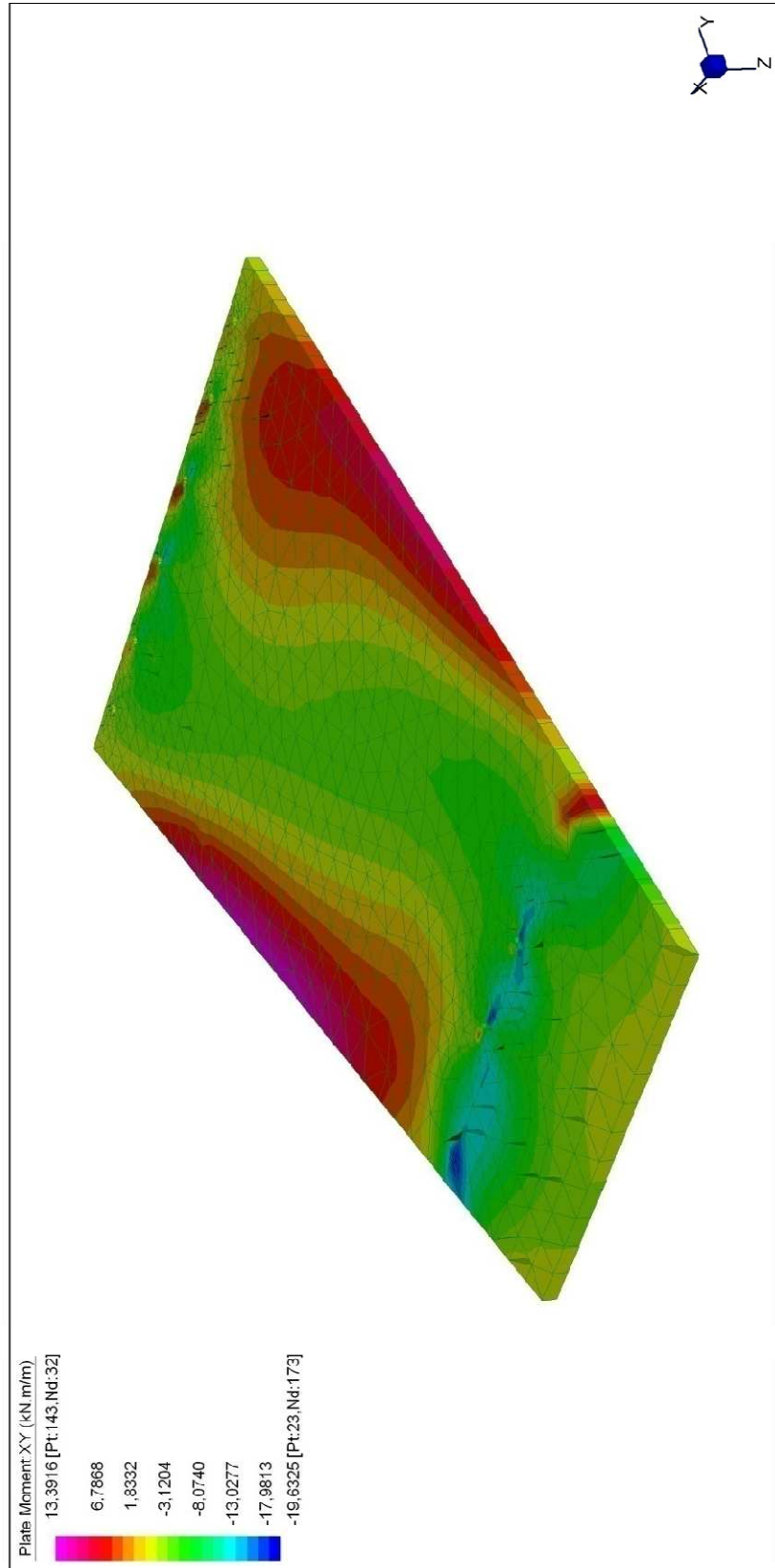


Figura 40: Azioni interne m_{xyu}

Come è possibile constatare nei diagrammi sopra, la piastra soggetta nelle diverse zone a combinazioni differenti dei momenti m_{xu} , m_{yu} e m_{xyu} . Per meglio dimensionare le armature sono state definite 5 regioni, corrispondenti alle aree di maggiori sollecitazioni; le regioni sono evidenziate in Figura 39.

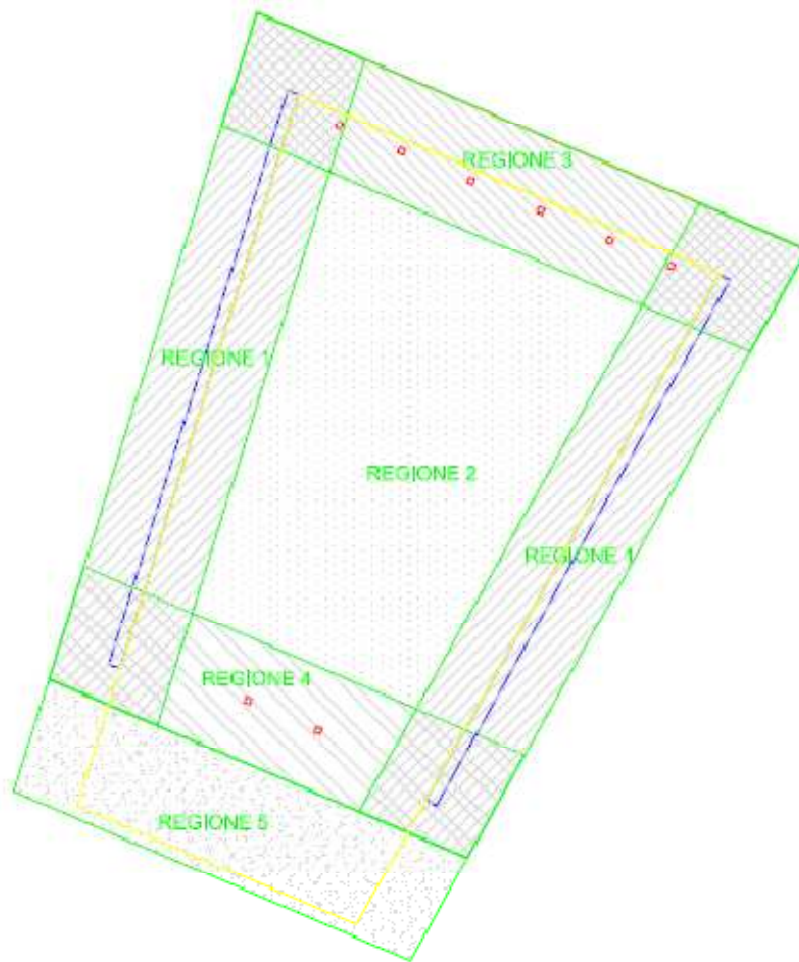


Figura 41: Suddivisione della piastra in regioni per il calcolo delle armature

Nelle tabelle sottostanti sono raccolti i momenti interni massimi per ogni regione.

Tabella 114: Momenti di progetto nella regione dei bordi incastrati

REGIONE 1 - MOMENTI DI PROGETTO		
m_{xu} [kNm/m]	m_{yu} [kNm/m]	m_{xyu} [kNm/m]
-41,54	-11,95	13,39

Tabella 115: Momenti di progetto nella regione centrale

REGIONE 2 - MOMENTI DI PROGETTO		
m_{xu} [kNm/m]	m_{yu} [kNm/m]	m_{xyu} [kNm/m]
20,70	20,64	-8,07

Tabella 116: Momenti di progetto nella regione con i bordi appoggiati

REGIONE 3 - MOMENTI DI PROGETTO		
m_{xu} [kNm/m]	m_{yu} [kNm/m]	m_{xyu} [kNm/m]
17,59	-39,88	-17,98

Tabella 117: Momenti di progetto nella regione con gli appoggi centrali

REGIONE 4 - MOMENTI DI PROGETTO		
m_{xu} [kNm/m]	m_{yu} [kNm/m]	m_{xyu} [kNm/m]
-41,54	-72,47	-19,63

Tabella 118: Momenti di progetto nella regione con bordi liberi

REGIONE 5 - MOMENTI DI PROGETTO		
m_{xu} [kNm/m]	m_{yu} [kNm/m]	m_{xyu} [kNm/m]
8,25	6,67	-4,77

6.2.3 Calcolo locale dell' armatura

Il dimensionamento dei ferri d' armatura si effettua nelle direzioni x ed y, seguendo le formule seguenti:

$$m_{xu}^* = f_{yd} A_x z$$

$$m_{yu}^* = f_{yd} A_y z$$

dove $z = 0,8 t$ (con t spessore della piastra), ipotizzando trascurabili le differenze fra i bracci delle coppie interne.

Mediante le equazioni sopra è possibile determinare le aree di armatura necessarie nelle due direzioni, grazie alle ipotesi di duttilità illimitata delle armature in quanto i momenti resistenti ultimi si sviluppano contemporaneamente ed ipotizzando nulla la congruenza tra le barre.

I calcoli si eseguono verificando l' equilibrio e calcolando l' armatura in modo che sviluppi la sua capacità resistente ultima ed occupi il minimo volume.

Lo schema in Figura 40 riassume il procedimento di dimensionamento delle armature.

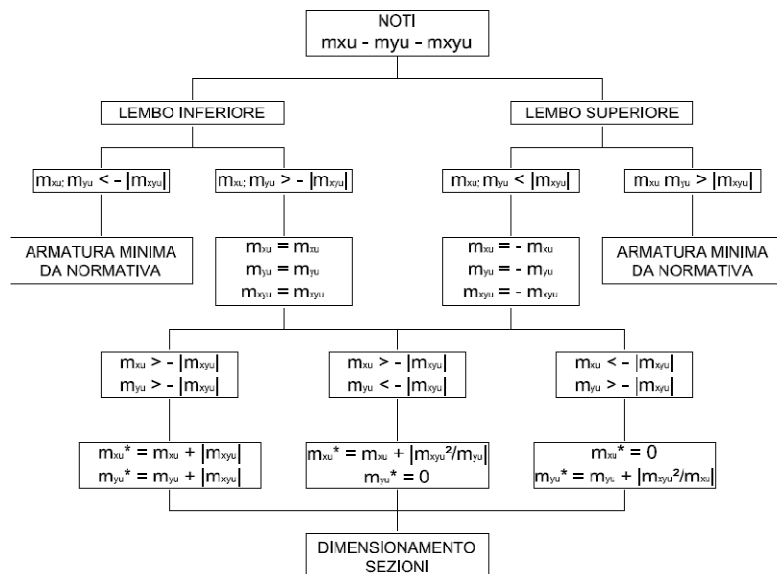


Figura 42: Diagramma di flusso per il dimensionamento delle armature

I quantitativi minimi d' armatura necessari si determinano allo stesso modo che nelle travi e si trovano nelle N.T.C.2008.

4.1.6 DETTAGLI COSTRUTTIVI

4.1.6.1 Elementi monodimensionali: Travi e pilastri

Con riferimento ai dettagli costruttivi degli elementi strutturali in calcestruzzo vengono fornite le indicazioni applicative necessarie per l'ottenimento delle prescritte prestazioni.

Dette indicazioni si applicano se non sono in contrasto con più restrittive regole relative a costruzioni in zona sismica.

4.1.6.1.1 Armatura delle travi

L'area dell'armatura longitudinale in zona tesa non deve essere inferiore a

$$A_{s,min} = 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \text{ e comunque non minore di } 0,0013 \cdot b_t \cdot d, \quad (4.1.43)$$

dove:

b_t rappresenta la larghezza media della zona tesa; per una trave a T con piattabanda compressa, nel calcolare il valore di b_t si considera solo la larghezza dell'anima;

d è l'altezza utile della sezione;

f_{ctm} è il valore medio della resistenza a trazione assiale definita nel § 11.2.10.2;

f_{yk} è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'armatura ordinaria.

Figura 43: Formula per la determinazione dell'armatura minima da N.T.C.2008

11.2.10.2 Resistenza a trazione

La resistenza a trazione del calcestruzzo può essere determinata a mezzo di diretta sperimentazione, condotta su provini appositamente confezionati, secondo la norma UNI EN 12390-2:2002, per mezzo delle prove di seguito indicate:

- prove di trazione diretta;
- prove di trazione indiretta: (secondo UNI EN 12390-6:2002 o metodo dimostrato equivalente);
- prove di trazione per flessione: (secondo UNI EN 12390-5:2002 o metodo dimostrato equivalente).

In sede di progettazione si può assumere come resistenza media a trazione semplice (assiale) del calcestruzzo il valore (in N/mm^2):

$$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} \text{ per classi } \leq C50/60 \quad (11.2.3a)$$

$$f_{ctm} = 2,12 \cdot \ln[1 + f_{cm}/10] \text{ per classi } > C50/60 \quad (11.2.3b)$$

Figura 44: Formula per la determinazione del valor medio della resistenza a trazione assiale

I quantitativi minimi d' armatura necessari si determinano allo stesso modo che nelle travi e si trovano nelle N.T.C.2008.

Tabella 119: Dati

f_{ck} [kN/m ²]	f_{ctm} [kN/m ²]	f_{yk} [kN/m ²]	b_t [m]	d [m]
45000	9000	275000	0,2	0,2

Tabella 120: Area minima da normativa

$A_{s,min;1}$ [m ²]	$A_{s,min;2}$ [m ²]	$A_{s,min}$ [m ²]	$A_{s,min}$ [mm ²]
0,0003	0,0001	0,0003	340

Tabella 121: Ferri d' armatura minimi

passo [mm]	nr ferri	$A_{s,min}$ [mm ²]	ϕ	$A_{s,eff;unit}$ [mm ²]	$A_{s,eff;tot}$ [mm ²]	$A_{s,eff}$ [m ²]
300	3	113	14	154	462	0,0005

Secondo le N.T.C.2008, i quantitativi minimi d' armatura consistono in 3 ferri di diametro 14 mm per ogni metro di piastra.

Di seguito sono riportati i calcoli eseguiti per il dimensionamento delle armature in ogni regione.

Regione 1

Tabella 122: Momenti di progetto della regione 1

REGIONE 1 - MOMENTI DI PROGETTO		
m_{xu} [kNm/m]	m_{yu} [kNm/m]	m_{xyu} [kNm/m]
-41,54	-11,95	13,39

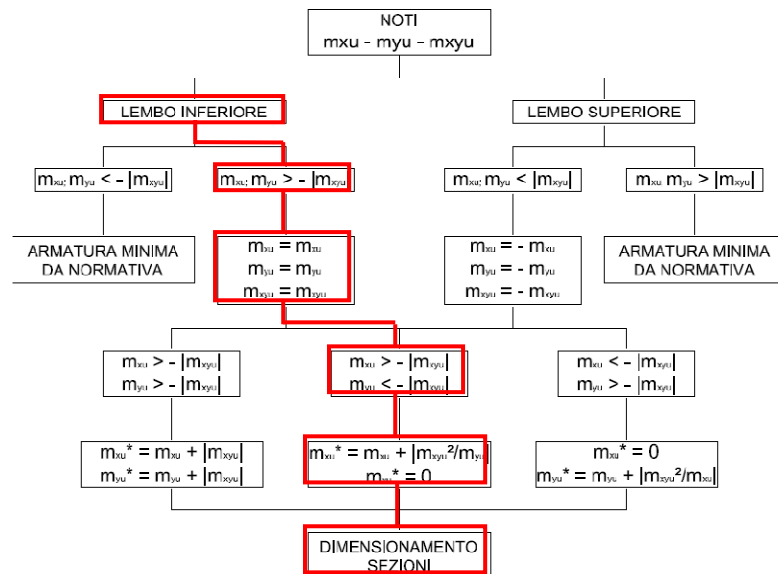


Figura 45: Percorso per il dimensionamento delle armature inferiori nella regione 1

Tabella 123: Momenti resistenti ultimi dell' armatura

ARMATURA LEMBO INFERIORE	
m_{xu}^* [kNm/m]	m_{yu}^* [kNm/m]
0,00	7,63

Tabella 124: Dati per la determinazione dell' area di armatura

f_{yk} [kN/m ²]	γ_{M0}	f_{yd} [kN/m ²]	t [m]	0,8 t
275000	1,05	261905	0,2	0,16

Tabella 125: Calcolo dell' armatura

A_x [m ²]	A_y [m ²]	A_x [mm ²]	A_y [mm ²]
0,0003	0,0003	340	340

Tabella 126: Scelta dell' armatura da utilizzare

passo x [mm]	passo y [mm]	n ferri x / m	n ferri y / m	$A_{s,unit;x}$ [mm ²]	$A_{s,unit;y}$ [mm ²]	$\phi; x$	$\phi; y$
300	300	3	3	113	113	14	14

Tabella 127: Verifica dell' armatura

$A_{s,eff;unit;x}$ [mm ²]	$A_{s,eff;unit;y}$ [mm ²]	$A_{s,eff;tot;x}$ [mm ²]	$A_{s,eff;tot;y}$ [mm ²]	$A_{s,eff;x}$ [m ²]	$A_{s,eff;y}$ [m ²]
154	154	462	462	0,0005	0,0005

Al lembo inferiore andranno posti dei ferri di diametro 14 mm a passo 300 mm, sia nella direzione x che nella direzione y.

Al lembo superiore si è seguito il seguente schema di flusso.

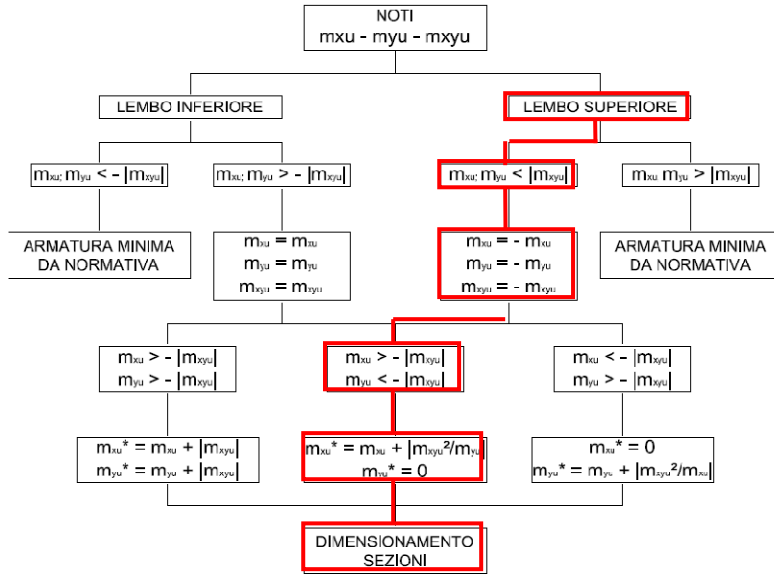


Figura 46: Percorso per il dimensionamento delle armature superiori nella regione 1

Tabella 128: Momenti resistenti ultimi dell' armatura

ARMATURA LEMBO SUPERIORE	
m_{xu}^* [kNm/m]	m_{yu}^* [kNm/m]
26,53	0,00

Tabella 129: Calcolo dell' armatura

A_x [m ²]	A_y [m ²]	A_x [mm ²]	A_y [mm ²]
0,0006	0,0003	633	340

Tabella 130: Scelta dell' armatura da utilizzare

passo x [mm]	passo y [mm]	n ferri x / m	n ferri y / m	$A_{s,unit;x}$ [mm ²]	$A_{s,unit;y}$ [mm ²]	$\phi; x$	$\phi; y$
200	300	5	3	127	113	14	14

Tabella 131: Verifica dell' armatura

$A_{s,eff;unit;x}$ [mm ²]	$A_{s,eff;unit;y}$ [mm ²]	$A_{s,eff;tot;x}$ [mm ²]	$A_{s,eff;tot;y}$ [mm ²]	$A_{s,eff;x}$ [m ²]	$A_{s,eff;y}$ [m ²]
154	154	770	462	0,0008	0,0005

Al lembo superiore andranno posizionati i ferri minimi da normativa, ossia ϕ 14 con passo 300 mm, in direzione x, mentre in direzione y è necessario un infittimento del passo a 200 mm.

Regione 2

Tabella 132: Momenti di progetto della regione 2

REGIONE 2 - MOMENTI DI PROGETTO		
m_{xu} [kNm/m]	m_{yu} [kNm/m]	m_{xyu} [kNm/m]
20,70	20,64	-8,07

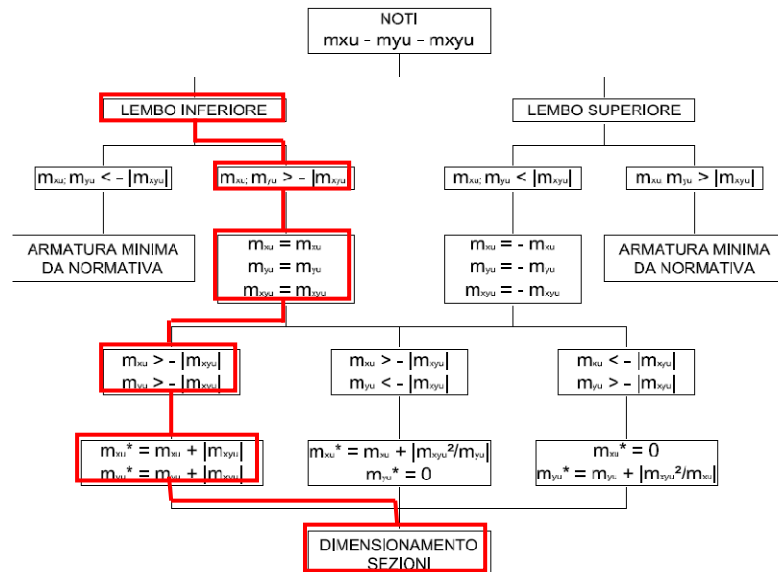


Figura 47: Percorso per il dimensionamento dell' armatura inferiore nella regione 2

Tabella 133: Momenti resistenti ultimi dell' armatura

ARMATURA LEMBO INFERIORE	
m_{xu}^* [kNm/m]	m_{yu}^* [kNm/m]
28,78	28,72

Tabella 134: Calcolo dell' armatura

A_x [m ²]	A_y [m ²]	A_x [mm ²]	A_y [mm ²]
0,0007	0,0007	687	685

Tabella 135: Scelta dell' armatura da utilizzare

passo x [mm]	passo y [mm]	n ferri x / m	n ferri y / m	$A_{s,unit;x}$ [mm ²]	$A_{s,unit;y}$ [mm ²]	$\phi; x$	$\phi; y$
200	200	5	5	137	137	14	14

Tabella 136: Verifica dell' armatura

$A_{s,eff,unit;x}$ [mm ²]	$A_{s,eff,unit;y}$ [mm ²]	$A_{s,eff,tot;x}$ [mm ²]	$A_{s,eff,tot;y}$ [mm ²]	$A_{s,eff;x}$ [m ²]	$A_{s,eff;y}$ [m ²]
154	154	770	770	0,0008	0,0008

Al lembo inferiore andranno posti dei ferri di diametro 14 mm a passo 200 mm, sia nella direzione x che nella direzione y.

Al lembo superiore si è seguito il seguente schema di flusso.

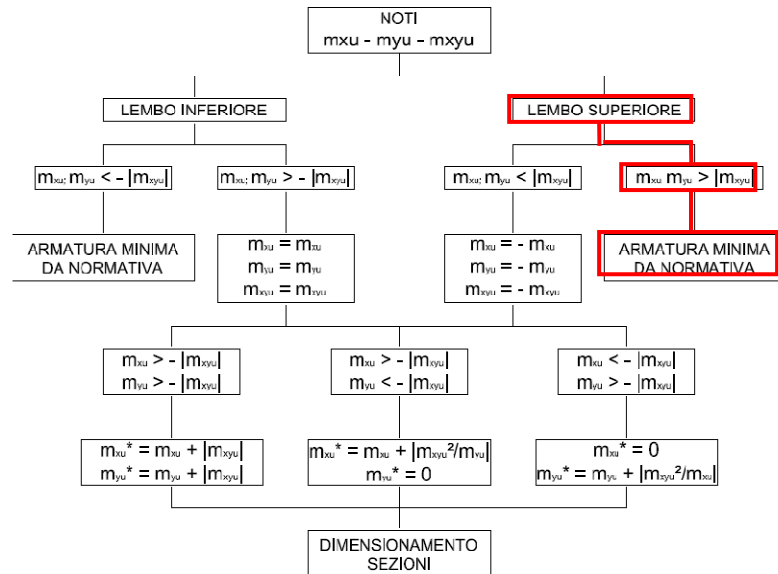


Figura 48: Percorso per il dimensionamento dell' armatura superiore nella regione 2

Al lembo superiore andranno posizionati i ferri minimi da normativa, ossia ϕ 14 con passo 300 mm in entrambe le direzioni.

Regione 3

Tabella 137: Momenti di progetto della regione 3

REGIONE 3 - MOMENTI DI PROGETTO		
m_{xu} [kNm/m]	m_{yu} [kNm/m]	m_{xyu} [kNm/m]
17,59	-39,88	-17,98

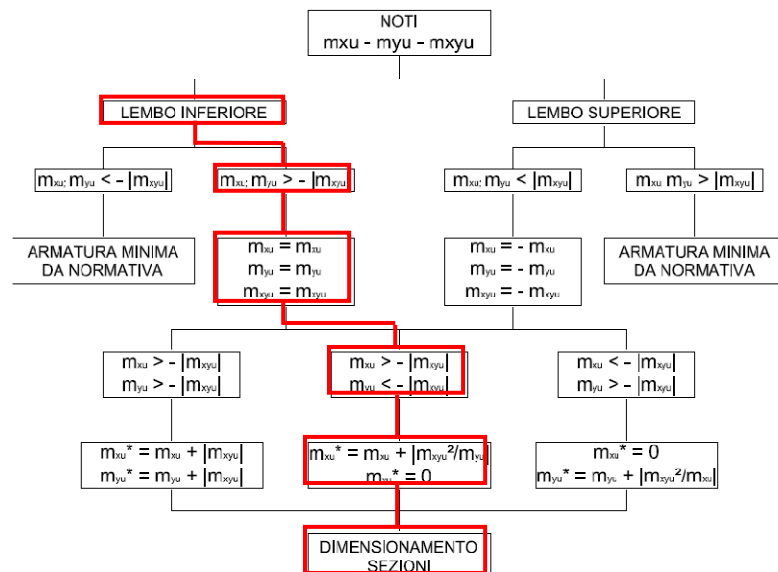


Figura 49: Percorso per il dimensionamento dell' armatura inferiore nella regione 3

Tabella 138: Momenti resistenti ultimi dell' armatura

ARMATURA LEMBO INFERIORE	
m_{xu}^* [kNm/m]	m_{yu}^* [kNm/m]
25,70	0,00

Tabella 139: Calcolo dell' armatura

A_x [m ²]	A_y [m ²]	A_x [mm ²]	A_y [mm ²]
0,0006	0,0002	613	170

Tabella 140: Scelta dell' armatura da utilizzare

passo x [mm]	passo y [mm]	n ferri x / m	n ferri y / m	$A_{s,unit;x}$ [mm ²]	$A_{s,unit;y}$ [mm ²]	$\phi; x$	$\phi; y$
200	300	5	3	123	57	14	14

Tabella 141: Verifica dell' armatura

$A_{s,eff;unit;x}$ [mm ²]	$A_{s,eff;unit;y}$ [mm ²]	$A_{s,eff;tot;x}$ [mm ²]	$A_{s,eff;tot;y}$ [mm ²]	$A_{s,eff;x}$ [m ²]	$A_{s,eff;y}$ [m ²]
154	154	770	462	0,0008	0,0005

Al lembo inferiore andranno posti dei ferri di diametro 14 mm a passo 200 mm nella direzione x, mentre lungo l' asse y sono sufficienti i quantitativi minimi normativi. Al lembo superiore si è seguito il seguente schema di flusso.

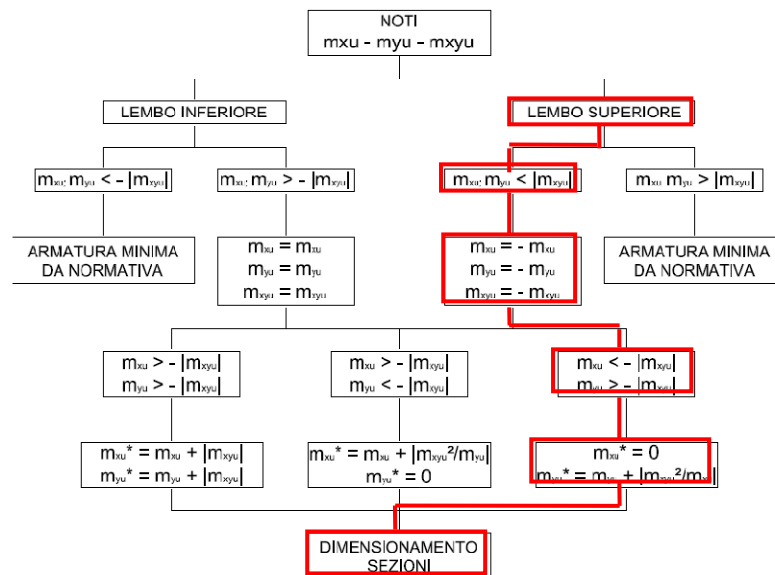


Figura 50: Percorso per il dimensionamento dell' armatura inferiore nella regione 3

Tabella 142: Momenti resistenti ultimi dell' armatura

ARMATURA LEMBO SUPERIORE	
m_{xu}^* [kNm/m]	m_{yu}^* [kNm/m]
0,00	-21,50

Tabella 143: Calcolo dell' armatura

A_x [m ²]	A_y [m ²]	A_x [mm ²]	A_y [mm ²]
0,0002	0,0002	170	170

Tabella 144: Scelta dell' armatura da utilizzare

passo x [mm]	passo y [mm]	n ferri x / m	n ferri y / m	$A_{s,unit;x}$ [mm ²]	$A_{s,unit;y}$ [mm ²]	$\phi; x$	$\phi; y$
300	300	3	3	57	57	14	14

Tabella 145: Verifica dell' armatura

$A_{s,eff;unit;x}$ [mm ²]	$A_{s,eff;unit;y}$ [mm ²]	$A_{s,eff,tot;x}$ [mm ²]	$A_{s,eff,tot;y}$ [mm ²]	$A_{s,eff;x}$ [m ²]	$A_{s,eff;y}$ [m ²]
154	154	462	462	0,0005	0,0005

Al lembo superiore, in entrambe le direzioni, sono sufficienti dei ferri di diametro 14 mm e passo 300 mm.

Regione 4

Tabella 146: Momenti di progetto della regione 4

REGIONE 4 - MOMENTI DI PROGETTO		
m_{xu} [kNm/m]	m_{yu} [kNm/m]	m_{xyu} [kNm/m]
-41,54	-72,47	-19,63

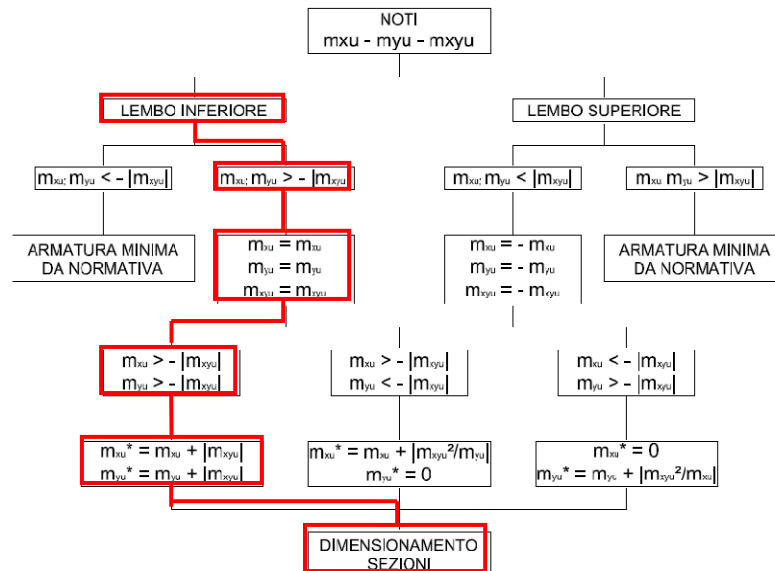


Figura 51: Percorso per il dimensionamento dell' armatura inferiore nella regione 4

Tabella 147: Momenti resistenti ultimi dell' armatura

ARMATURA LEMBO INFERIORE	
m_{xu}^* [kNm/m]	m_{yu}^* [kNm/m]
61,17	92,10

Tabella 148: Calcolo dell' armatura

A_x [m ²]	A_y [m ²]	A_x [mm ²]	A_y [mm ²]
0,0015	0,0022	1460	2198

Tabella 149: Scelta dell' armatura da utilizzare

passo x [mm]	passo y [mm]	n ferri x / m	n ferri y / m	$A_{s,unit,x}$ [mm ²]	$A_{s,unit,y}$ [mm ²]	ϕ ; x	ϕ ; y
100	65	10	15	146	147	14	14

Tabella 150: Verifica dell' armatura

$A_{s,eff;unit,x}$ [mm ²]	$A_{s,eff;unit,y}$ [mm ²]	$A_{s,eff;tot,x}$ [mm ²]	$A_{s,eff;tot,y}$ [mm ²]	$A_{s,eff;x}$ [m ²]	$A_{s,eff;y}$ [m ²]
154	154	1540	2310	0,0015	0,0023

Al lembo inferiore andranno posti dei ferri di diametro 14 mm a passo 100 mm nella direzione x, mentre lungo l' asse y il passo andrà risotto ulteriormente a 65 mm.

Mediante il metodo di dimensionamento eseguito, non si è tenuto in considerazione il differente stato tensionale all'interno della regione, per cui dei quantitativi così elevati di armatura si riferiscono solo alle aree maggiormente sollecitate, ossia in corrispondenza degli appoggi sui pilastri, dove si possono prevedere degli infittimenti rispetto al passo di 200 mm presente nella regione 2.

Al lembo superiore si è seguito il seguente schema di flusso.

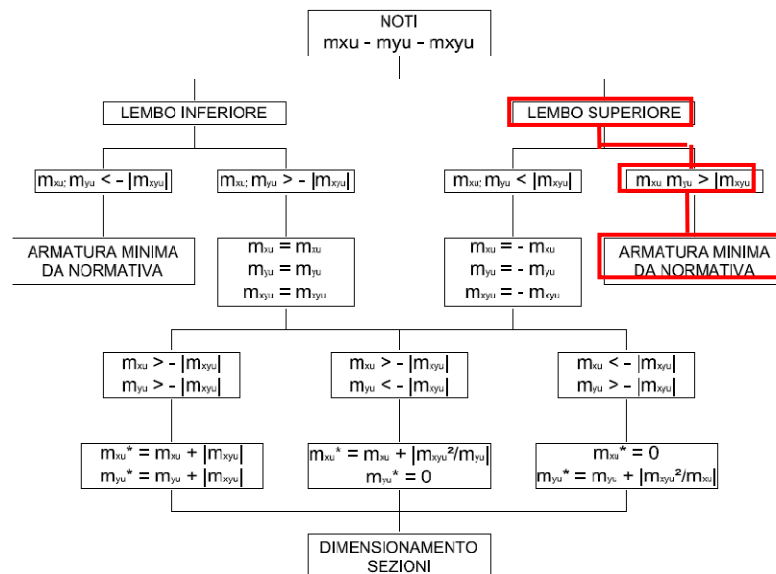


Figura 52: Percorso per il dimensionamento dell' armatura inferiore nella regione 4

Al lembo superiore, in entrambe le direzioni, sono sufficienti dei ferri di diametro 14 mm e passo 300 mm.

Regione 5

Tabella 151: Momenti di progetto della regione 5

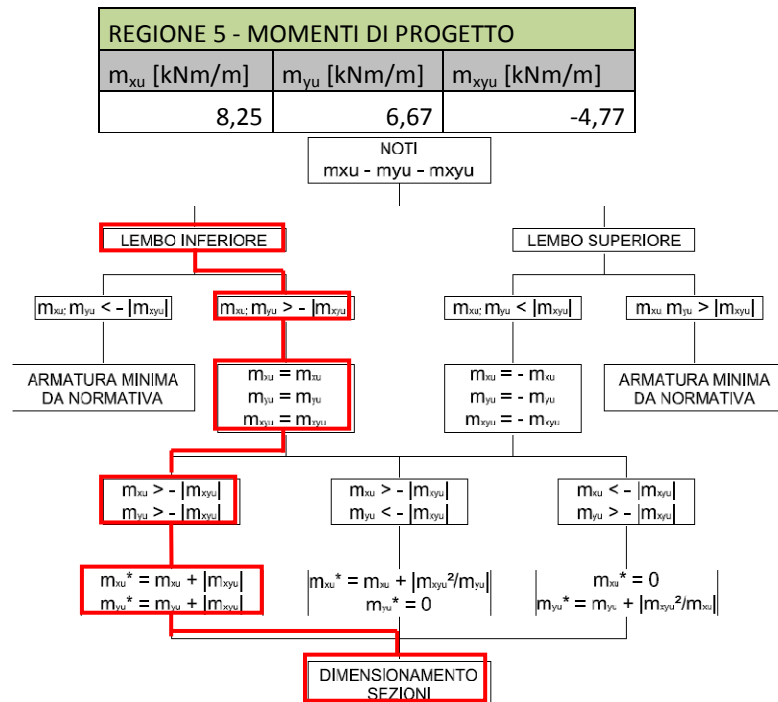


Figura 53: Tabella per il dimensionamento dell' armatura inferiore nella regione 5

Tabella 152: Momenti resistenti ultimi dell' armatura

ARMATURA LEMBO INFERIORE	
m_{xu}^* [kNm/m]	m_{yu}^* [kNm/m]
13,03	11,45

Tabella 153: Calcolo dell' armatura

A_x [m ²]	A_y [m ²]	A_x [mm ²]	A_y [mm ²]
0,0003	0,0003	340	340

Tabella 154: Scelta dell' armatura da utilizzare

passo x [mm]	passo y [mm]	n ferri x / m	n ferri y / m	$A_{s,unit,x}$ [mm ²]	$A_{s,unit,y}$ [mm ²]	$\phi; x$	$\phi; y$
300	300	3	3	113	113	14	14

Tabella 155: Verifica dell' armatura

$A_{s,eff,unit,x}$ [mm ²]	$A_{s,eff,unit,y}$ [mm ²]	$A_{s,eff,tot,x}$ [mm ²]	$A_{s,eff,tot,y}$ [mm ²]	$A_{s,eff,x}$ [m ²]	$A_{s,eff,y}$ [m ²]
154	154	462	462	0,0005	0,0005

Al lembo inferiore sono sufficienti le armature minime previste dalla normativa.

Al lembo superiore si è seguito il seguente schema di flusso.

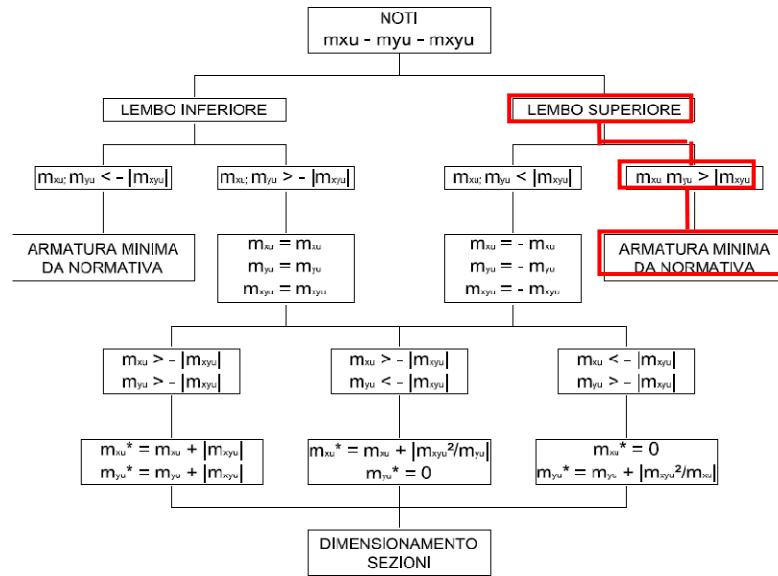


Figura 54: Percorso per il dimensionamento dell' armatura inferiore nella regione 4

Al lembo superiore, in entrambe le direzioni, sono sufficienti dei ferri di diametro 14 mm e passo 300 mm.

Le geometrie delle armature e i relativi passi sono rappresentati nelle pagine seguenti per ogni regione.

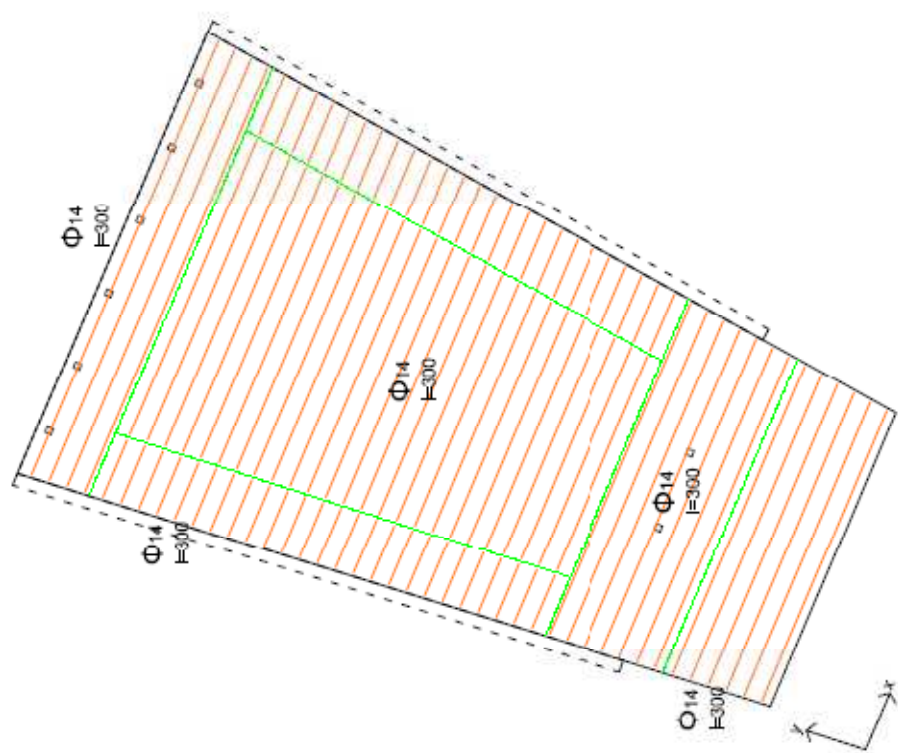
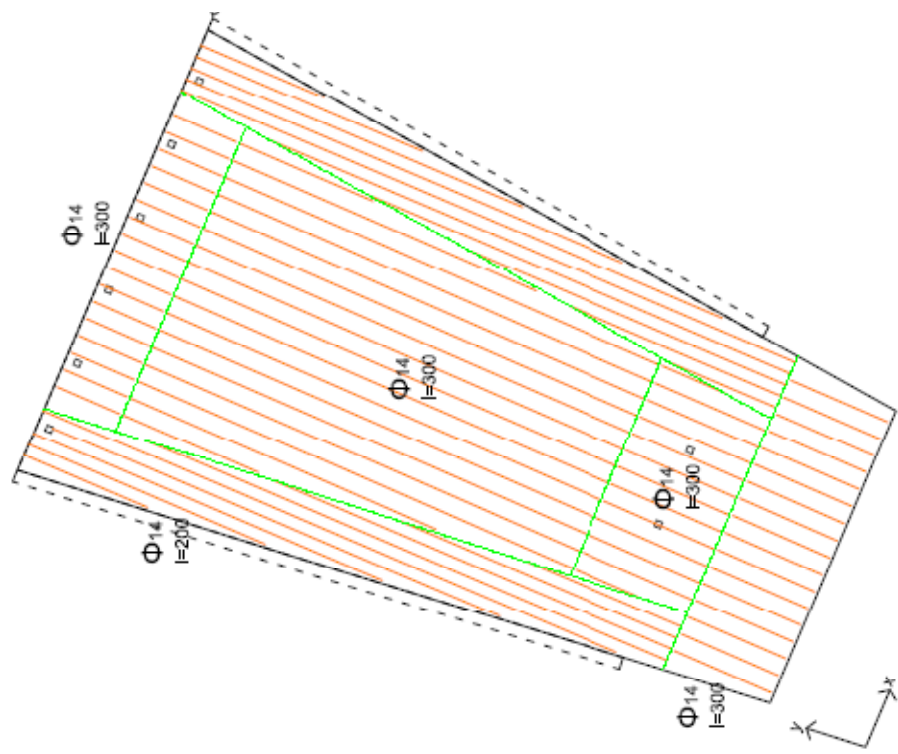


Figura 55: Schema dell' armatura al lembo inferiore nelle due direzioni

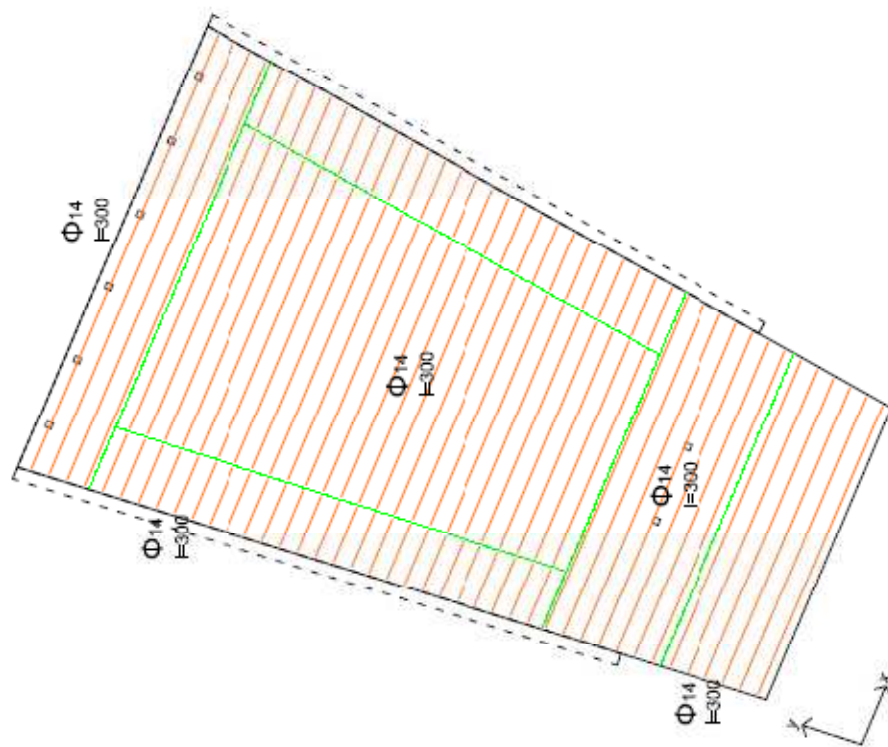
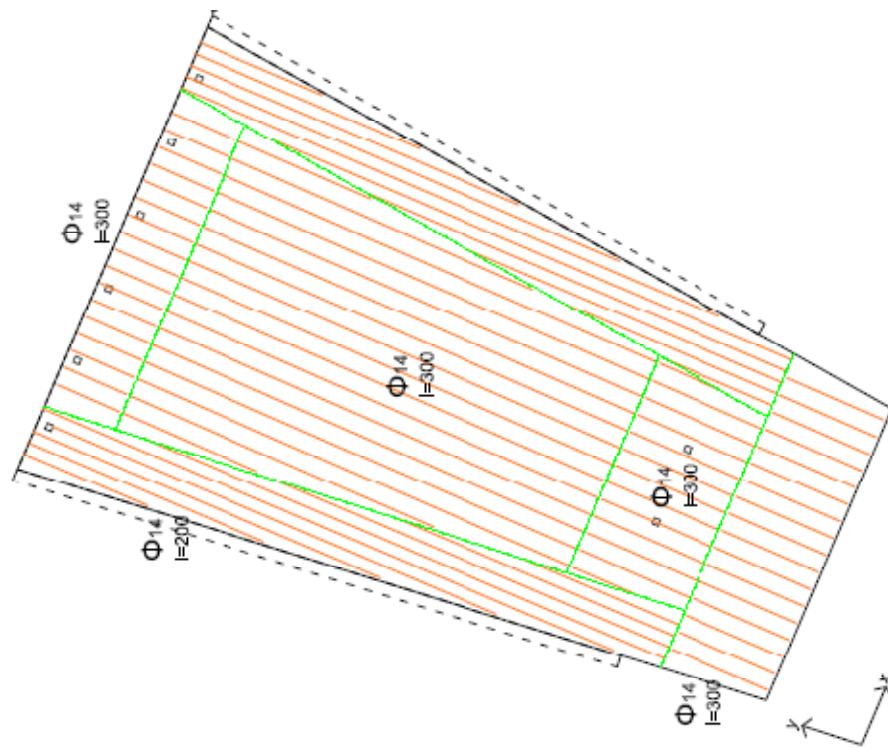


Figura 56: Schema dell'armatura al lembo superiore nelle due direzioni

6.2.4 Calcolo globale della piastra

Il calcestruzzo è un materiale fragile e poco duttile, quindi è necessario uno studio sul suo stato fessurativo al fine di prevenirne il collasso.

La formazione di fessure avviene quando la tensione principale di trazione σ_1 raggiunge la resistenza a trazione f_{ct} .

Sottoponendo un elemento in calcestruzzo a carichi progressivamente maggiori, l'orientamento delle fessure ha un comportamento sempre più lontano da quello che avrebbe in fase elastica, anche se questa è valida fino ad uno stadio fessurativo molto avanzato.

Le piastre in c.a. di spessore sottile formano una serie di bande fessurate prima di collassare, dove si formano delle aperture nel calcestruzzo teso e degli allungamenti plastici nell'armatura; in corrispondenza delle suddette bande sono concentrate le deformazioni, mentre le aree contigue restano inalterate.

Per studiare questo fenomeno si ricorre all'analisi limite mediante il metodo delle linee di plasticizzazione, dove viene schematizzato il comportamento della piastra all'incipiente collasso, a cui la stessa arriva se sottoposta a momento limite ovvero totalmente elasticizzata. Le linee di plasticizzazione sono linee rettilinee o biforcute in corrispondenza delle quali si formano delle cerniere plastiche rettilinee, ossia dove vale la seguente condizione

$$\frac{dM}{d\varphi} = 0$$

Il che equivale a dire che una volta raggiunto il momento limite non sono più in grado di trasmettere momento, ossia hanno rigidità nulla.

La formazione di linee di cerniere plastiche implica una redistribuzione delle azioni interne a seguito di una variazione dello schema vincolare fino a che tutta la piastra non può venir schematizzata come un insieme di zolle rigide collegate anelasticamente tra di loro; la redistribuzione è tanto maggiore quanto maggiori sono i gradi di iperstaticità della struttura, come nel caso delle piastre in c.a..

Quando sottoposta al carico ultimo di collasso, la struttura non è più in grado di redistribuire le azioni interne, per cui si avvia al collasso, il quale avviene secondo un preciso cinematismo di collasso.

Per effettuare un calcolo della struttura in campo plastico bisognerebbe sempre utilizzare la triade di equazioni comprendente equilibrio, resistenza e congruenza (quest' ultima da intendersi riferita al cinematismo di collasso); tuttavia il teorema dell'unicità dell'analisi limite consente di utilizzare il teorema statico e quello cinematico per arrivare a convergenza di risultati per il teorema dell'unicità, ossia quando la soluzione ottenuta col metodo cinematico eguaglia quella ottenuta col metodo statico.

Teorema cinematico – Metodo delle linee di plasticizzazione

Questo metodo ha l'obiettivo di trovare il carico ultimo che rispetti l'equilibrio e la formazione di un cinematismo di collasso ed ipotizzando assicurare il rispetto della resistenza solo in corrispondenza delle cerniere plastiche. Il carico ultimo risultante sarà maggiore o uguale al carico ultimo effettivamente sopportabile dalla struttura, ponendosi quindi a sfavore di sicurezza e arrivando a convergenza dall'alto.

Le ipotesi su cui si basa questo metodo sono le seguenti:

- Assunzione di un momento limite costante lungo ciascuna linea e pari al momento sviluppato dall'armatura elasticizzata;
- Rettilineità delle linee di plasticizzazione, ragionevole per il fatto di trascurare le deformazioni nelle zolle;
- Linee di plasticizzazione passanti per le intersezioni degli assi di rotazione delle zolle, le quali compiono delle rotazioni rigide attorno alle cerniere plastiche lineari ed ai bordi;
- Rispetto della simmetria da parte delle linee di plasticizzazione;
- Mantenimento della direzione da parte delle barre d'armatura in corrispondenza delle linee di plasticizzazione – Ipotesi di Johansen.

Il procedimento da seguire consiste nel calcolo del lavoro interno ed esterno all' interno della piastra e nella loro eguaglianza, al fine di determinare un carico limite da confrontare col carico agente sulla stessa:

$$p_u \geq p_{ag}$$

La piastra in esame si può schematizzare come sotto, immaginando di trascurare la parte a sbalzo.

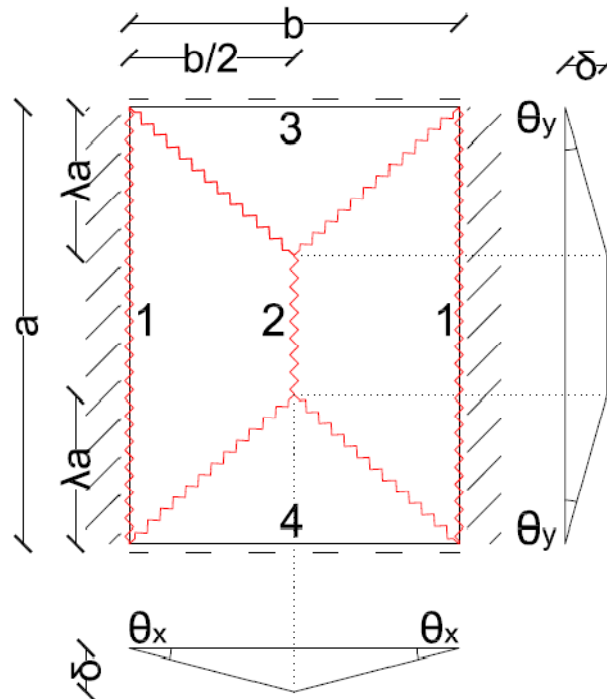


Figura 57: Schema di plasticizzazione della piastra

I valori delle rotazioni sono esplicitate nelle relazioni sotto:

$$\theta_x = \frac{\delta}{b/2}$$

$$\theta_y = \frac{\delta}{\lambda a}$$

Il lavoro interno è espresso dalla formula seguente:

$$L_i = 2 m_{y3}^+ \vartheta_y \frac{b}{2} + 2 m_{y4}^+ \theta_y \frac{b}{2} + 4 m_{x1}^+ \theta_x \lambda a + m_{x2}^+ 2 \theta_x (a - 2 \lambda a) + 2 m_{x1}^- \theta_x a$$

Il lavoro esterno si calcola moltiplicando il valore di carico ultimo per il volume sotteso alla deformata del cinematismo di collasso che consiste in una piramide a base rettangolare ed un prisma a base triangolare:

$$L_e = p \left(\frac{2 \lambda a b \delta}{3} + \frac{a (1 - 2 \lambda) b \delta}{2} \right) = p a b \delta \left(\frac{1}{2} - \frac{\lambda}{3} \right)$$

Il cinematismo di collasso varia con il valore di λ , per cui la prima operazione da eseguire è la determinazione di un valore minimo di λ , attraverso la seguente imposizione:

$$\lambda_{min} = \frac{\partial p}{\partial \lambda}$$

Eguagliando lavoro esterno ed esterno è possibile determinare il carico ultimo.

Tabella 156: Momenti delle armature plasticizzate nei vari campi

m_{x1}^+ [kNm]	m_{x2}^+ [kNm]	m_{y3}^+ [kNm]	m_{y4}^+ [kNm]	m_{x1}^- [kNm]
19,36	32,27	19,36	96,80	32,27

Tabella 157: Determinazione di λ

a [m]	b [m]	a/b	λ
10,3	7,8	1,32	0,34

Tabella 158: Determinazione del carico ultimo e verifica

p_u [kN/m ²]	p_{ag} [kN/m ²]	verifica
17,78	13,62	VERO

Il carico ultimo ottenuto è inferiore del carico agente sulla struttura determinato allo stato limite ultimo, per cui la piastra risulta verificata secondo il metodo cinematico.

Teorema statico – Metodo delle strisce

Questo metodo ha l'obiettivo di trovare il carico ultimo che rispetti l'equilibrio e la resistenza, il quale sarà minore o uguale al carico ultimo effettivamente sopportabile dalla struttura, ponendosi quindi a favore di sicurezza e arrivando a convergenza dal basso.

La situazione di incipiente collasso si verifica al raggiungimento del momento limite all'equilibrio, per cui sarebbe necessario risolvere l'equazione di equilibrio flessionale della piastra scritta sotto che ne determini un cinematismo.

$$\frac{\partial^2 m_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 m_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 m_y}{\partial y^2} = -p(x; y)$$

Considerata la difficoltà nel risolvere l'equazione sopra, questa può venir semplificata grazie al metodo delle strisce e trascura la torsione:

$$\frac{\partial^2 m_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 m_y}{\partial y^2} = -p(x; y)$$

Prescindendo dalla torsione, si suppone che la piastra si comporti come un insieme di strisce nelle direzioni x e y sottoposte a taglio e flessione; ogni striscia assorbe una quota parte di carico, espresso con α che è un coefficiente compreso tra 0 e 1, e la loro somma dovrà sempre portare al carico totale.

Praticamente, al valore α vengono assegnati valori costanti a zone, determinati sulla base della percentuale di carico che verrà assorbito da ogni direzione, considerando che il carico agente su un'areola $dx dy$ viene trasmesso al contorno per una quota parte maggiore dalla striscia flessionalmente più rigida. Una striscia si considera flessionalmente più rigida se ha una luce minore oppure vincoli più rigidi alle estremità.

La piastra in esame può venir schematizzata come in Figura 56.

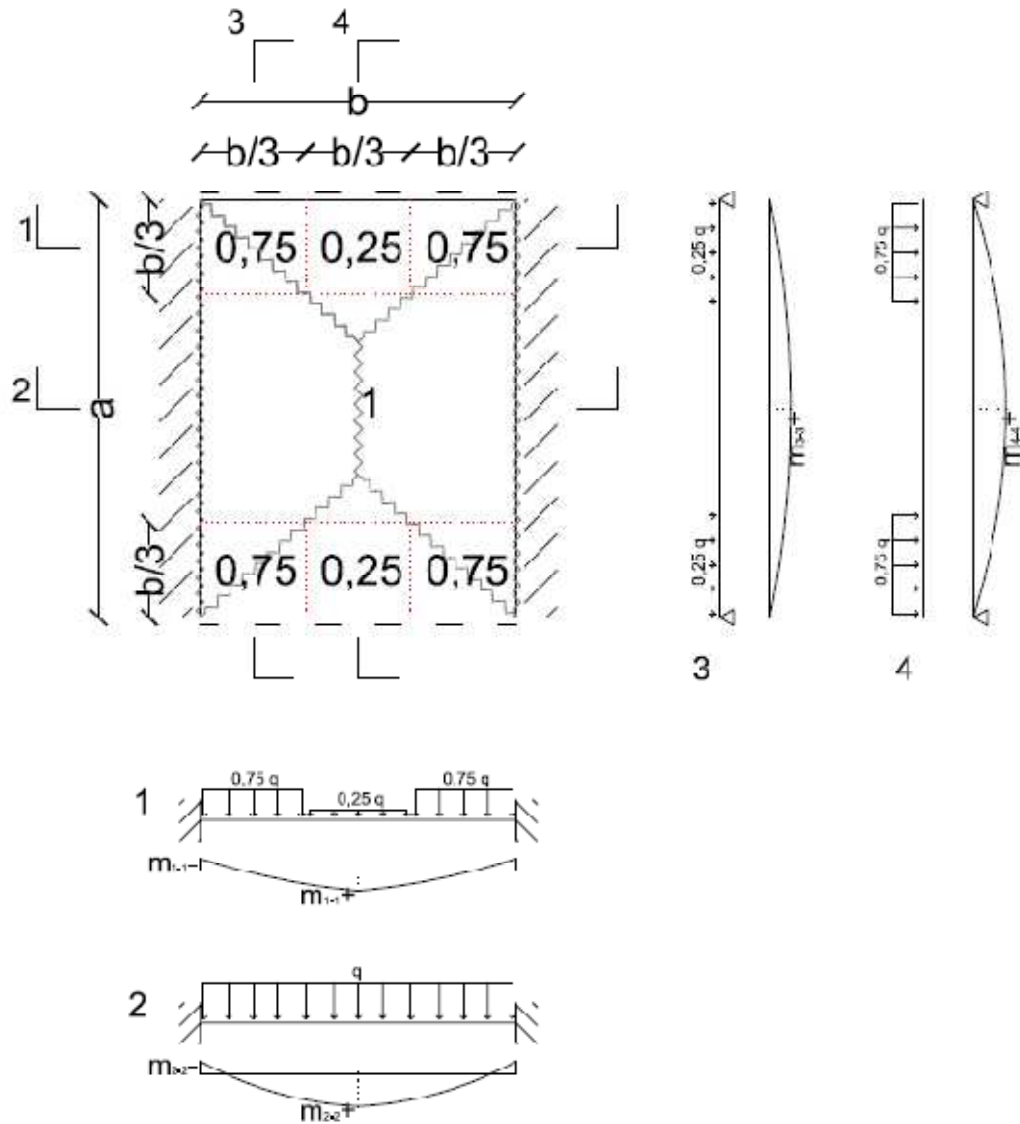


Figura 58: Schema della piastra da risolvere col metodo delle strisce ed assegnazione dei coefficienti

$$m_{1-1}^- = \left(0,75 q \frac{2}{3} + 0,25 q \frac{1}{3} \right) b^2 \frac{1}{12}$$

$$m_{1-1}^+ = \left(0,75 q \frac{2}{3} + 0,25 q \frac{1}{3} \right) b^2 \frac{1}{24}$$

$$m_{2-2}^+ = q b^2 \frac{1}{12}$$

$$m_{2-2}^- = q b^2 \frac{1}{24}$$

$$m_{3-3}^+ = 0,25 q b a \frac{1}{6}$$

$$m_{4-4}^+ = 0,75 q b a \frac{1}{6}$$

Tabella 159: Momenti massimi per unità di lunghezza nelle varie sezioni

m_{1-1}^+ [kNm/m]	m_{1-1}^- [kNm/m]	m_{2-2}^+ [kNm/m]	m_{2-2}^- [kNm/m]	m_{3-3}^+ [kNm/m]	m_{4-4}^+ [kNm/m]
20	40	35	69	46	137

Calcolati i momenti massimi sulle strisce si determinano i quantitativi minimi di armatura necessari nelle sezioni, attraverso la formula seguente:

$$A_s = \frac{m_{i-i}}{f_{yd} 0,8 t}$$

Tabella 160: Dimensionamento armature

$A_{s;1-1}^+ [m^2]$	$A_{s;1-1}^+ [mm^2]$	$n \cdot \chi \phi / m$	$A_{s;eff;1-1}^+ [mm^2]$	passo [mm]
0,0005	481	4 ϕ 14	616	250
$A_{s;1-1}^- [m^2]$	$A_{s;1-1}^- [mm^2]$	$n \cdot \chi \phi / m$	$A_{s;eff;1-1}^- [mm^2]$	passo [mm]
0,0010	961	7 ϕ 14	1078	140
$A_{s;2-2}^+ [m^2]$	$A_{s;2-2}^+ [mm^2]$	$n \cdot \chi \phi / m$	$A_{s;eff;2-2}^+ [mm^2]$	passo [mm]
0,0008	824	6 ϕ 14	924	170
$A_{s;2-2}^- [m^2]$	$A_{s;2-2}^- [mm^2]$	$n \cdot \chi \phi / m$	$A_{s;eff;2-2}^- [mm^2]$	passo [mm]
0,0016	1648	5 ϕ 22	1901	200
$A_{s;3-3}^+ [m^2]$	$A_{s;3-3}^+ [mm^2]$	$n \cdot \chi \phi / m$	$A_{s;eff;3-3}^+ [mm^2]$	passo [mm]
0,0011	1088	8 ϕ 14	1232	130
$A_{s;4-4}^+ [m^2]$	$A_{s;4-4}^+ [mm^2]$	$n \cdot \chi \phi / m$	$A_{s;eff;4-4}^+ [mm^2]$	passo [mm]
0,0033	3264	9 ϕ 22	3421	110

Il metodo statico ha portato all' utilizzo di quantitativi di armatura superiori rispetto a quelli trovati dopo aver effettuato il calcolo locale dell' armatura, per cui in alcune zone saranno necessari degli infittimenti per evitare lo sviluppo del cinematiso di collasso studiato.

6.2.5 Verifica delle armature al punzonamento

Fino a questo punto sono state considerate solo le sollecitazioni flessionali, ma queste potrebbero anche non costituire le forze dominanti, in quanto il taglio in corrispondenza degli appoggi potrebbe rappresentare la variabile principale per il dimensionamento, portando ad un collasso improvviso per penetrazione dei pilastri entro la piastra, ossia al collasso per punzonamento.

Il fenomeno si manifesta improvvisamente, con un brusco aumento delle fessure che si erano formate al raggiungimento dei 2/3 del carico di rottura.

Le armature disposte per rispondere alla flessione contrastano il fenomeno, ma non sono sempre sufficienti; per questo è necessario effettuare una verifica al punzonamento.

Le armature di punzonamento vengono disposte trasversalmente in modo da assorbire le sollecitazioni di trazione attraverso la fessura nel volume interessato dalla possibile formazione del cono di rottura ed è necessario collegarle all' armatura resistente a flessione.

Per il dimensionamento delle suddette armature si ricorre ai metodi in seguito riportati, semplificati secondo le norme costruttive.

Verifica della resistenza sul perimetro critico

Questa formula ha l'obiettivo di definire una superficie di verifica nello spessore della piastra, ortogonale al piano medio, in corrispondenza della quale gli sforzi di taglio sono inferiori al valore di resistenza del materiale.

La verifica consiste nel confrontare l'azione di taglio agente con quella resistente

$$v_{sd} \geq v$$

L'azione resistente sarà quella determinata sul perimetro critico, con la formula sotto riportata presa dall'Eurocodice 2:

$$v_{sd;c} = \beta \frac{V_{sd}}{u d}$$

V_{sd} : valore di calcolo della forza totale di taglio agente

u : perimetro della sezione critica, da calcolare come in Figura 57.

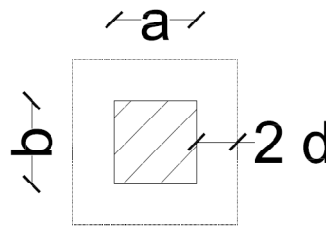


Figura 59: Definizione del perimetro critico per la verifica al punzonamento da E.C.2

d : spessore della piastra

β : coefficiente che considera la distribuzione non uniforme degli sforzi, stimati dall'Eurocodice 2 come sotto.

Tabella 161: Valori del coefficiente β

β_{interno}	β_{laterale}	β_{angolo}
1,15	1,4	1,5

Tabella 161: Determinazione di u e di V_{sd}

V_{sd} [kN]	a_{pil} [m]	b_{pil} [m]	d [m]	u [m]	$V_{sd;\text{interno}}$ [kN/m ₂]	$V_{sd;\text{laterale}}$ [kN/m ₂]	$V_{sd;\text{angolo}}$ [kN/m ₂]
547	0,1	0,1	0,2	3,60	874	1064	1140

La prima verifica da effettuare si basa sulla sola resistenza del calcestruzzo.

$$v_{Rd;c} = \frac{0,18}{\gamma_c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} \geq v_{min}$$

$$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{ix} \rho_{iy}} \leq 0,02$$

ρ_{ix} , ρ_{iy} sono le percentuali d'armatura tesa sopra la colonna e vengono calcolati su una lunghezza pari a quella del pilastro aumentata di $3d$ su ciascun lato.

k è un coefficiente che tiene conto dell'aiuto dato dall'ingranamento degli inerti:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$$

Tabella 162: Determinazione delle percentuali d' armatura

$A_{s,eff;x;bordo}$ [m ²]	$A_{s,eff;x;centro}$ [m ²]	$A_{s,eff;y;bordo}$ [m ²]	$A_{s,eff;y;centro}$ [m ²]	A [m ²]	ρ_{ix}	ρ_{iy}	ρ_l
0,0011	0,0015	0,0023	0,0034	0,14	0,0110	0,0244	0,0164

Tabella 163: Verifica

γ_c	k	f_{ck} [kN/m ²]	$v_{Rd;c}$ [kN/m ²]	v_{min} [kN/m ²]	verifica
1,5	2	35000	667	10	VERO

La verifica del calcestruzzo risulta ampiamente soddisfatta.

Dato che la verifica risulta già soddisfatta, non vengono utilizzati ferri di armatura a punzonamento.

Di seguito viene verificata la resistenza al punzonamento offerta dal calcestruzzo a ridosso della colonna.

$$v_{sd;c} \leq v_{Rd;max}$$

Tabella 163: Verifica del cls a ridosso della colonna

$v_{sd;interno}$ [kN/m ²]	$v_{sd;laterale}$ [kN/m ²]	$v_{sd;angolo}$ [kN/m ²]	$v_{Rd;c}$ [kN/m ²]	verifica
874	1064	1140	667	VERO

Anche la verifica sopra risulta soddisfatta, per cui è possibile passare alla trattazione dell' armatura di sospensione, ossia l' armatura flessionale inferiore sopra la colonna che, grazie alla fessura conica, svolge un' azione assimilabile a quella di spinotto nelle arature a taglio delle travi, andando in aiuto alla piastra. Per garantire il risultato atteso, ossia il trasferimento delle spinte all' interno della piastra e sul pilastro, le armature devono essere disposte con continuità oppure avere sovrapposizioni ben realizzate e che almeno due barre attraversino il nucleo della colonna. Queste armature si possono dimensionare tramite la trazione delle armature, supposte inclinate di 30°, utilizzando la condizione di carico allo stato limite ultimo. Il dimensionamento si esegue come sotto:

$$V_{s,e} = A_p \alpha \beta w_u$$

A_p : area di pertinenza del pilastro, da calcolare dagli interassi tra le colonne

α : coefficiente per il calcolo dell' azione in base alla posizione del pilastro

β : coefficiente di distribuzione degli sforzi tangenziali

$$A_s = \frac{V_{s,e}}{\sin 30^\circ f_{yd}}$$

Tabella 164: Determinazione della sollecitazione di progetto

q [kN/m ²]	$A_{p;dietro}$ [m ²]	$A_{p;davanti}$ [m ²]	α	$V_{s,e}$ [kN]
8,85	6,62	11,45	1,1	128

Tabella 165: Dimensionamento dell' armatura di sospensione

f_{yd} [kN/m ²]	α [°]	A_s [m ²]	A_s [mm ²]	$n \cdot X\phi$	A_{eff} [mm ²]	passo [m]
261905	30	0,0010	979	7 ϕ 14	1078	0,14

L' armatura di sospensione necessaria per soddisfare le verifiche al punzonamento in esercizio è pari a 7 barre con diametro 14 mm in ciascuna direzione.

6.2.6 Controllo degli spostamenti

Eseguire un controllo degli spostamenti si rende necessario qualora il rapporto tra luce e spessore sia superiore a 20 in piastre in semplice appoggio e maggiore di 26 per piastre incastrate, da N.T.C. 2008. Nel nostro caso si ottiene un valore di 50, quindi la verifica si rende necessaria.

I valori con cui andrà confrontato il rapporto freccia massima / luce possono essere 1/250 o 1/500, a seconda che si voglia garantire la funzionalità estetica sotto l' azione dei carichi quasi permanenti oppure che si vogliano preservare intramezzi ed infissi.

Il calcolo della freccia massima avviene mediante l' integrazione delle curvature sottoposte a carico quasi permanente.

La percentuale d' armatura presente nella piastra riveste un ruolo fondamentale in quanto si considera sia lo stadio elastico con sezione completamente reagente che lo stadio fessurato dove il calcestruzzo ha esaurito la sua resistenza a trazione.

Anche le deformazioni viscoso vanno inserite nei calcoli in quanto vanno ad aumentare gli spostamenti.

Il valore di freccia da utilizzare è definito dalla seguente formula:

$$f = (1 - \zeta) f_I + \zeta f_{II}$$

f_I : freccia elastica massima

f_{II} : freccia della sezione parzializzata

ζ : coefficiente di distribuzione compreso tra 0 e 1, che rappresenta la riduzione dell' effetto irrigidente fornito dal calcestruzzo all' aumentare delle aperture di fessure e viene calcolato come sotto:

$$\zeta = 1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2$$

$\beta_1=1$ per barre ad aderenza migliorata

$\beta_2=0,5$ per carichi permanenti o ciclici

σ_{sr} : tensione nell' acciaio allo stadio II in corrispondenza del di fessurazione

σ_s : tensione nell' acciaio allo stadio II in corrispondenza del carico agente

L' Eurocodice 2 suggerisce un rapporto σ_{sr} / σ_s pari a 0,45.

Il valore della freccia in campo elastico è stato calcolato con un programma agli elementi finiti con una combinazione quasi permanente; i risultati sono rappresentati nello spettro di risposta in Figura 58 e il valore massimo è presente al centro all' estremo libero della piastra.

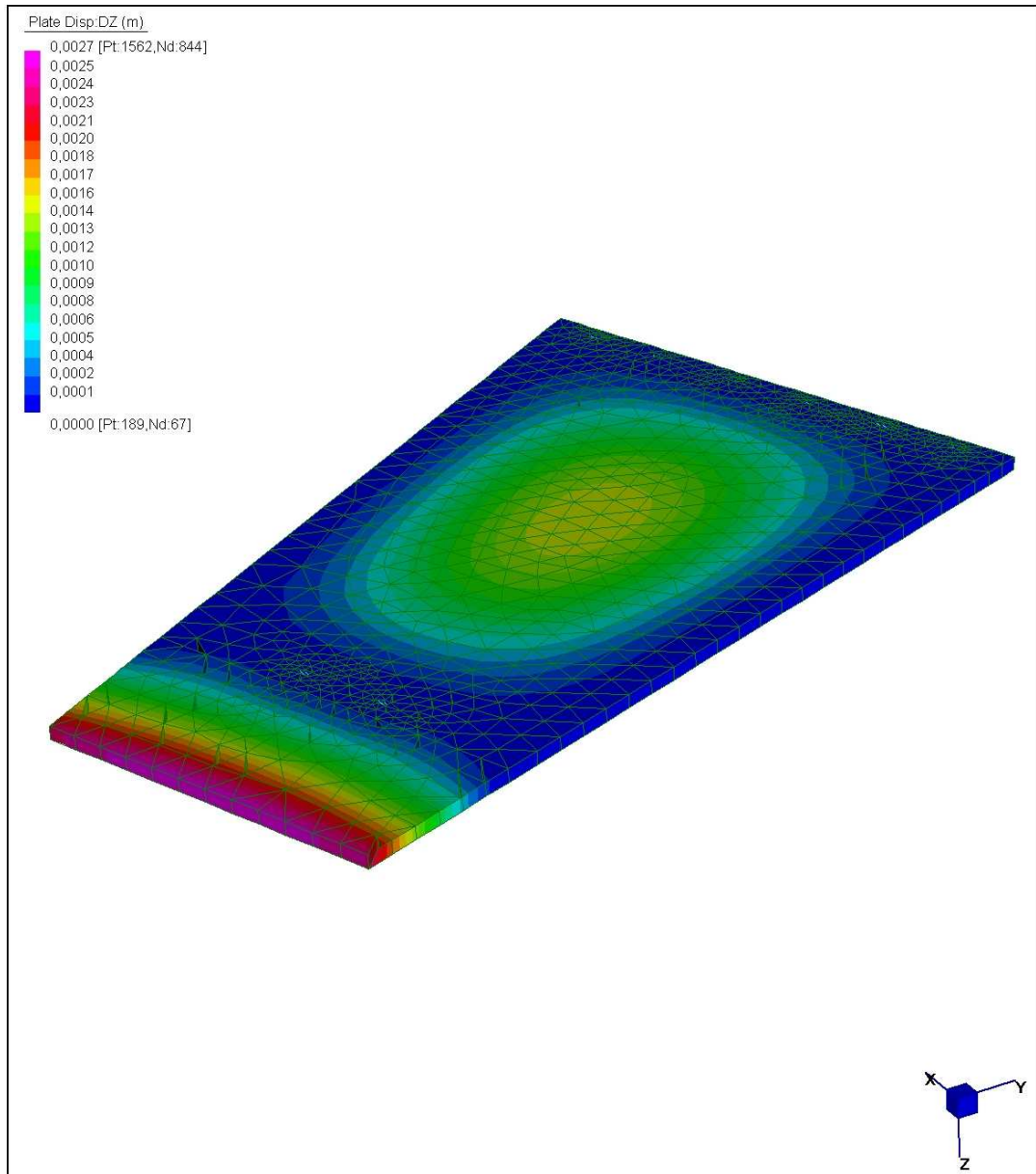


Figura 60: Schema degli spostamenti verticali della piastra in campo elastico

La freccia in campo plastico è stata definita inserendo un modulo elastico ridotto nel programma agli elementi finiti.

Per definire il modulo elastico ridotto ci si rifà al diagramma $M - \theta$ in Figura 58.

La risposta elastico lineare è rappresentata dalla prima retta e si riferisce alla sezione completamente reagente, da incrementare con un coefficiente correttivo che tenga conto della viscosità e quindi traslandola sulla retta θ_1 . Ad esaurimento della resistenza a trazione del calcestruzzo, la sezione reagirà provocando una curvatura θ_{II} ; la risposta media θ_m è quella da utilizzarsi per il calcolo degli spostamenti in quanto considera l' aumento della rigidezza della sezione dato dall' aderenza tra calcestruzzo ed armature che consente l' integrità del materiale tra le fessure.

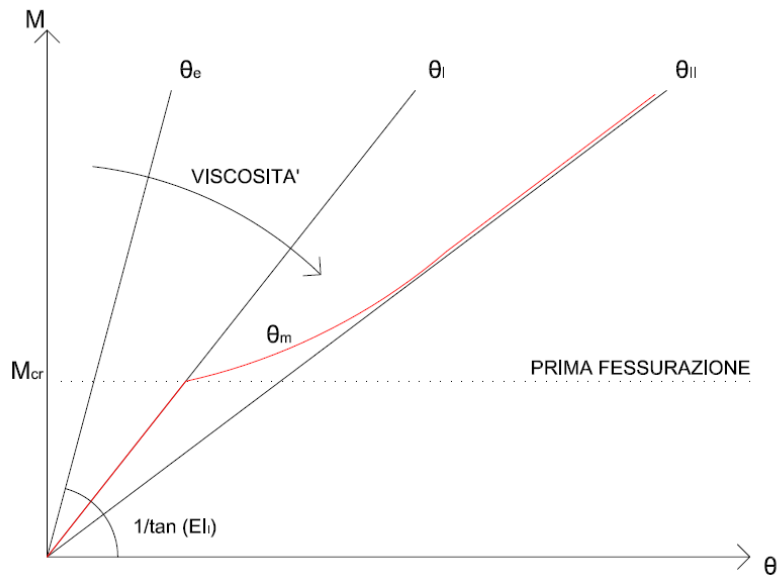


Figura 61: Diagramma momento – curvatura

Lo schema utilizzabile è quello della trave inflessa, di larghezza pari ad 1 in modo da considerare una striscia di piastra larga 1 m.

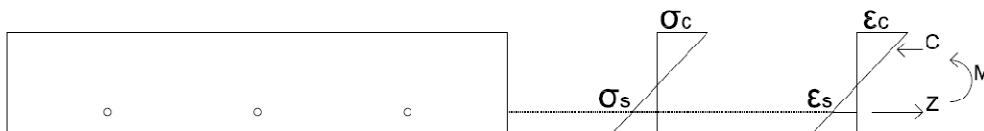


Figura 62: Schema della piastra inflessa

$$\sigma_c = f_t$$

$$\sigma_s = 0,45 f_{yd}$$

$$\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E_c}$$

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\theta = \frac{\varepsilon_c + \varepsilon_s}{d}$$

$$\frac{M}{\theta} = E_{rid} I$$

Tabella 166: Definizione delle tensioni

f_{ck} [kN/m ²]	γ_c	f_{cd} [kN/m ²]	σ_c [kN/m ²]	f_{yd} [kN/m ²]	σ_s [kN/m ²]
45000	1,6	28125	23906	261905	117857

Tabella 167: Determinazione della rotazione

E_c [kN/m ²]	E_s [kN/m ²]	ϵ_c	ϵ_s	d [m]	θ
34290000	210000000	0,0007	0,0006	0,18	0,0070

Tabella 168: Determinazione del modulo di resistenza ridotta

m [kNm/m]	h [m]	b [m]	I [m ⁴]	E_{II} [kN/m ²]
32,27	0,2	1	0,0007	6923061

Nella Figura 61 sono rappresentati i valori di freccia con il modulo elastico ridotto.

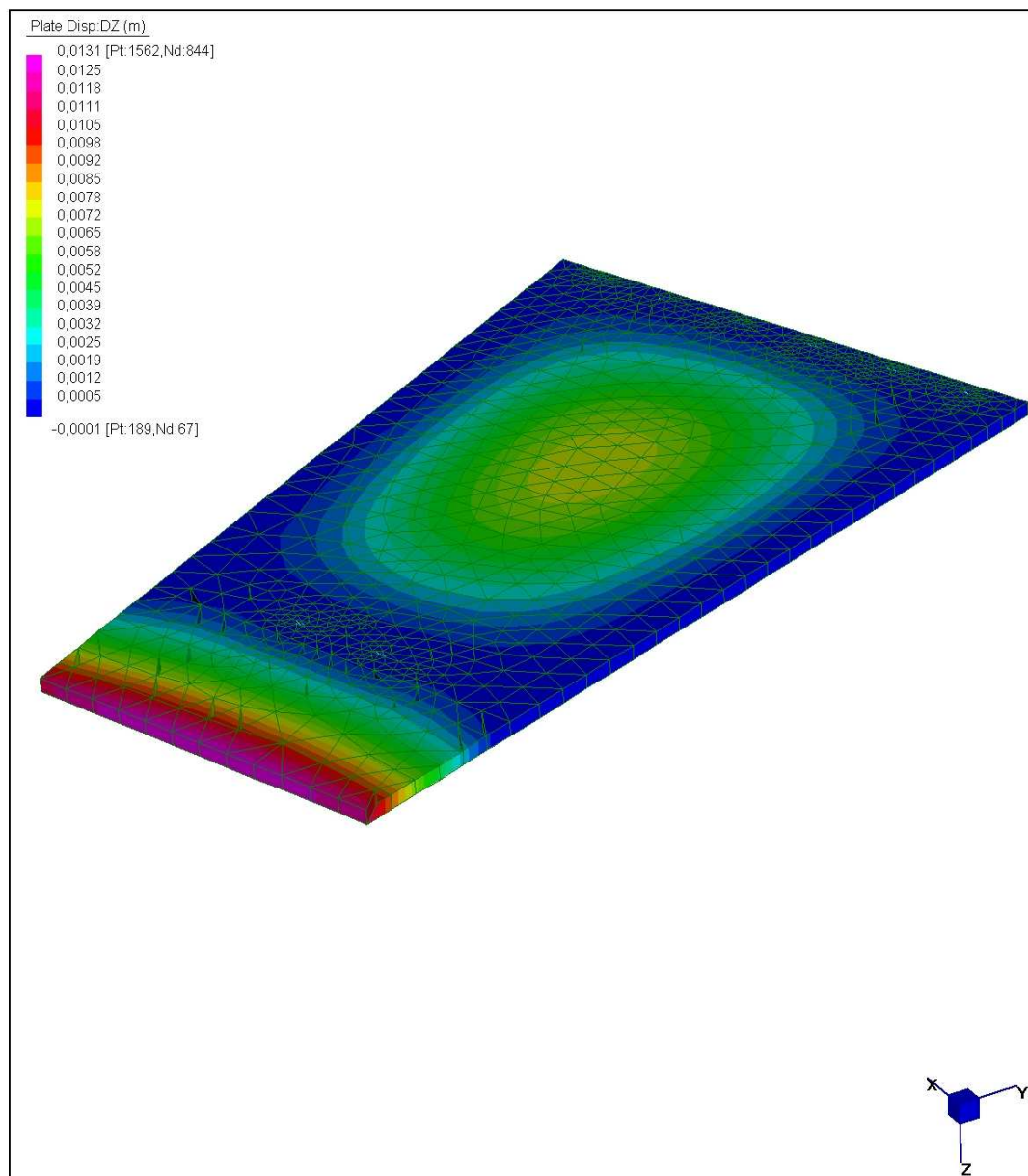


Figura 63: Spostamenti verticali nella piastra per la sezione elasticizzata

I valori delle frecce massimi risultanti possono venir inseriti nelle formule per la verifica.

Tabella 169: Determinazione del coefficiente di distribuzione

β_1	β_2	σ_{sr} / σ_s	ζ
1	0,5	0,4500	0,8988

Tabella 170: Determinazione della freccia considerando la viscosità

f_i [m]	f_{II} [m]	f [m]	coeff .viscosità	f_{visc} [m]
0,027	0,0131	0,0145	3	0,0290

Tabella 171: Verifica

a [m]	$f_{max;l.t.} / l$	1/250	VERIFICA
10,27	0,0028	0,0040	VERO

La verifica agli spostamenti risulta verificata.

Conclusioni

I dimensionamenti strutturali hanno dato ragione alle scelte progettuali effettuate ed alla differenziazione delle strutture tra le due ali dell' edificio.

La verifiche effettuate nella porzione di scuola comprendente le aule didattiche con strutture a travi e pilastri in acciaio a maglia regolare e controventi in calcestruzzo armato ha portato alla presenza di solai con spessori piuttosto elevati in quanto le travi devono sopportare dei carichi molto alti, ma non costituiscono un problema in quanto i controsoffitti devono essere sufficientemente spessi per consentire il passaggio impiantistico.

La scelta di effettuare una struttura con solai a piastra nell' ala comprendente i laboratori e gli spazi per i docenti si è rivelata consona alle esigenze architettoniche in quanto consentono di avere una pianta libera e flessibile grazie all' assenza di pilastri, se non sui bordi; i solai a piastra consentono anche di avere piccoli spessori, di 20 cm, nonostante gli alti carichi a cui sono sottoposti e le grandi luci che devono coprire; un altro fattore da considerare è il risparmio di materiali rispetto a quelli che sarebbero necessari utilizzando una struttura tradizionale, con una conseguente diminuzione dei costi. Anche dal punto di vista ergotecnico la soluzione di solai a piastra incastrati nei setti in c.a. ed appoggiati a pilastri in acciaio comporta dei vantaggi, in quanto travi monolitiche con lunghezze così elevate avrebbero comportato problemi di trasporto.

Vedi Allegato: TAVOLA 58 – Visualizzazione tridimensionale delle strutture 1

Vedi Allegato: TAVOLA 59- Visualizzazione tridimensionale delle strutture 2

Vedi Allegato: TAVOLA 60- Visualizzazione tridimensionale delle strutture 3

Vedi Allegato: TAVOLA 61 – Fasi di montaggio 1

Vedi Allegato: TAVOLA 62 – Fasi di montaggio 2

Analisi geotecniche

In questo capitolo ci si pone l'obiettivo di eseguire delle verifiche geotecniche sul sito, che riguardano sia la situazione della palestra esistente che la scuola elementare in progetto.

I dati di partenza sono stati presi dalla Relazione Geotecnica effettuata e depositata all'Ufficio Tecnico del Comune di Cenate Sopra e da questi si è andati a definire i parametri geotecnici mancanti, mediante formule da letteratura.

La prima questione indagata riguarda la verifica allo scivolamento, in quanto il lotto in questione è in un' area di conoide e quindi vi è la possibilità che parti di terreno vengano spinte verso valle dall' energia cinetica accumulatasi a causa di variazioni nel livello di falda o di eventi meteorici particolarmente intensi; per fare questo ci si è avvalsi di un modello monodimensionale basato sull' analisi limite.

Il secondo punto riguarda la verifica dei cedimenti, in modo da trovare il valore di spostamento verticale accumulato dalla palestra dal momento della sua costruzione, mentre per la scuola elementare sono stati calcolati i cedimenti istantanei e quelli attesi al termine della vita utile della stessa.

La terza verifica consente di trovare il valore di carico limite che il terreno può sopportare e quindi di poter fare una verifica allo sprofondamento delle fondazioni.

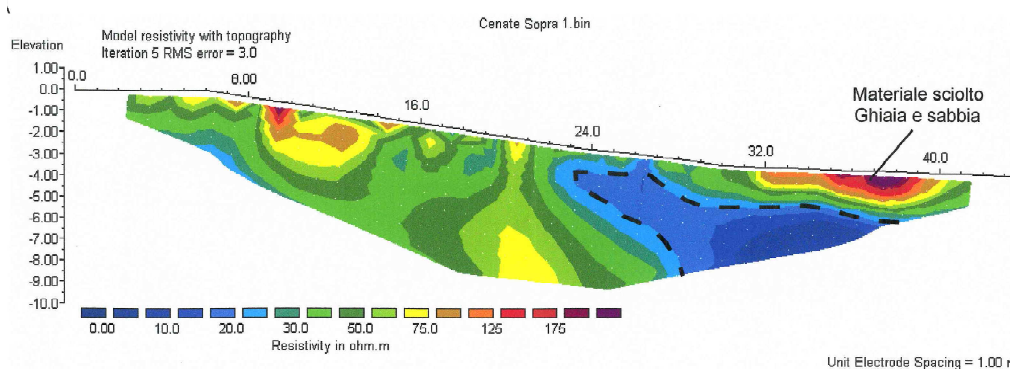


Figura 1: Prove geoelettriche

7.1 Inquadramento

Come già accennato precedentemente, parte del sito è collocato su un' area di conoide non recentemente attivatosi, come documentato nel Piano d' Assetto Idrogeologico Comunale (P.A.I.).

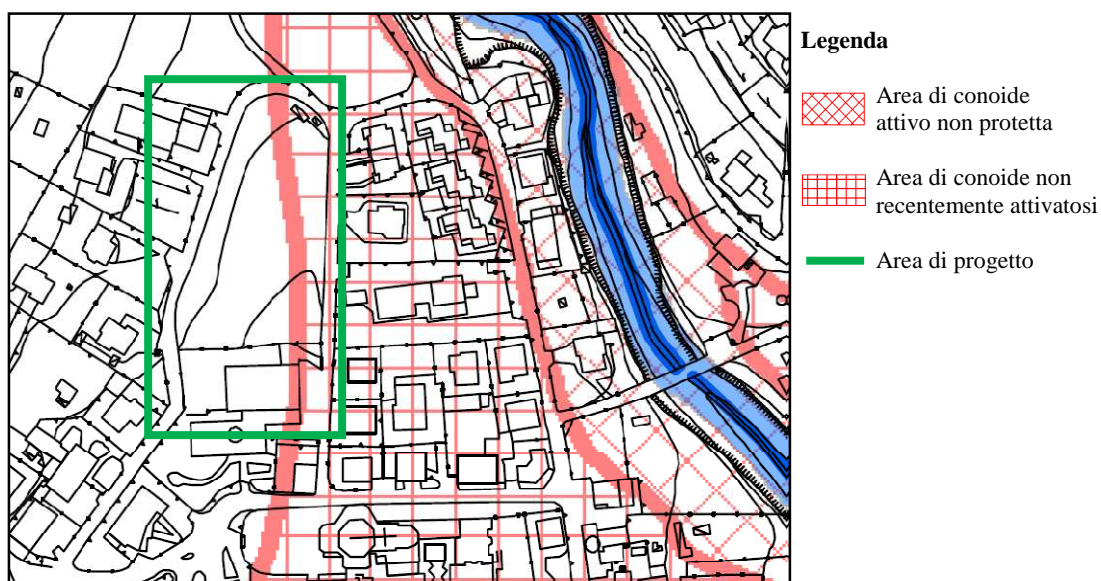


Figura 2: Stralcio del P.A.I. estratto dal P.G.T. comunale

La conoide in esame è del tipo di deiezione, ossia presenta le seguenti caratteristiche: generata da un accumulo di frammenti di rocce e sedimenti preesistenti che sono stati trasportati dagli agenti atmosferici, forma a ventaglio e in prossimità di un torrente che sfocia in uno spazio più ampio. I detriti si depositano dando origine a vallette quando la portata del corso d'acqua e la pendenza del terreno diminuiscono, riducendo il confinamento laterale del letto del fiume.

La conoide presenta una diminuzione della granulometria media dei clasti scendendo da monte a valle a causa della diminuzione di energia cinetica, che comporta un accumulo di sedimenti più fini verso il piede, come i limi sabbiosi presenti nel nostro caso.

In genere si possono riconoscere tre settori: apicale, ossia contenente il canale principale; intermedia, dove il canale principale si ramifica; distale, nei raccordi con l' area più ampia dove le pendenze diminuiscono. Se la portata del torrente aumenta la conoide tende a deporre i detriti più esternamente, andando ad aumentarne l' area; il contrario si verifica per una diminuzione della portata. Queste variazioni possono essere sia stagionali che a lungo termine, quindi non si può mai essere certi della stabilità di una conoide, la quale anche se non considerata pericolosa potrebbe riattivarsi in risposta a periodi particolarmente piovosi o per piene eccezionali. Nella fattispecie, durante l'alluvione del 1987 in Valtellina si è verificata la riattivazione di numerose conoidi sopra le quali gli uomini avevano posto i loro insediamenti da secoli (come attestato dal Centro Funzionale Regionale, Dipartimento Protezione Civile).

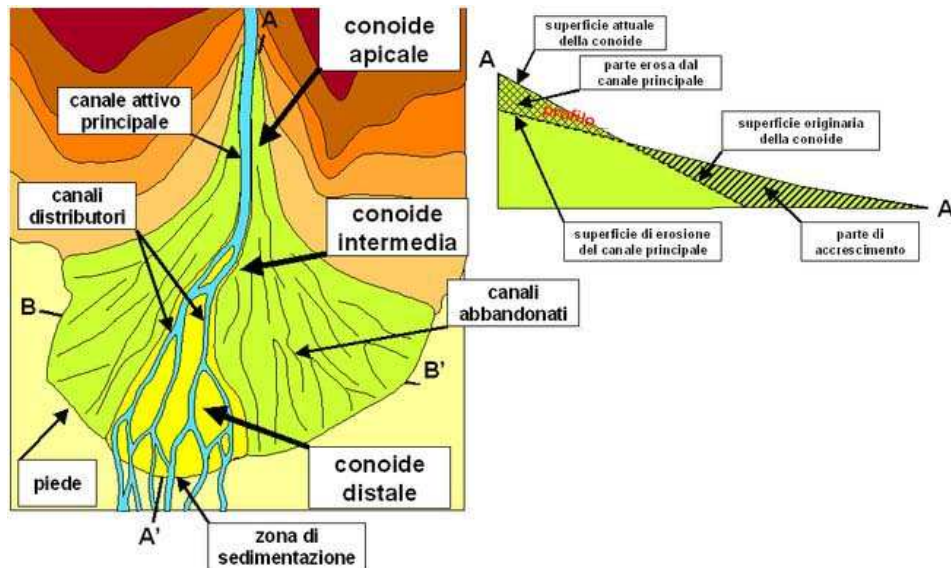


Figura 3: Schema ideale di una conoide alluvionale. La sezione A-A' ne rappresenta la tendenza ad erodere la fascia di monte ed a depositare a valle [Antonov, 2009].

La conoide su cui faremo le nostre verifiche si origina in Val Calchera e si sviluppa lungo il fondovalle e si è formata per i depositi di materiale che il torrente Tadone ha accumulato nel corso dei secoli nell' area adiacente al suo letto andando a definire una vallecchia all' interno dell' area di nostra pertinenza.

Anche se la conoide è stata catalogata come non recentemente attivata (fonte: P.A.I.) e quindi non dovrebbe teoricamente costituire un problema, si è ritenuto utile fare delle verifiche di stabilità avvalendosi di un modello di studio monodimensionale, che verrà illustrato nel paragrafo 7.2.

7.1.1 Prove geoelettriche

Sul sito in questione sono state eseguite prove geofisiche di tipo elettrico lungo due diversi stendimenti per definire la stratigrafia.

Un'indagine geofisica di tipo geoelettrico viene eseguita immettendo nel terreno tra due elettrodi una corrente elettrica di intensità nota e misurando la resistenza offerta al passaggio della corrente. Se la corrente elettrica nel terreno scorre in maniera elettronica, significa che nel sottosuolo sono presenti minerali molto conduttivi, se è di tipo elettrolitico vi è presenza di acqua. Le argille generalmente conducono di più rispetto alle sabbie; l' acqua ha una resistività sotterranea variabile da 10 a 100 Ohmm dipendentemente dalla percentuale di sali in essa disciolti, come rappresentato in Figura 3.

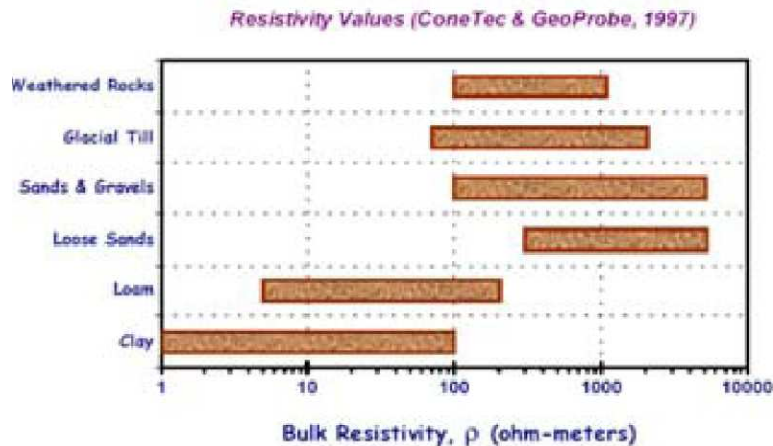


Figura 4: Valori di resistività per vari materiali

Il profilo geoelettrico consente di ottenere dei profili tomografici, ossia sezioni verticali del sottosuolo tramite una tecnica non invasiva.

Per effettuare misure di resistività dei terreni nel sottosuolo sono utilizzate le tecniche del S.E.V. (Sondaggio Elettrico Verticale) e del S.E.O. (Sondaggio Elettrico Orizzontale), che consistono nella misurazione di una serie di resistività con distanza progressiva crescente tra gli elettrodi di corrente (A-B) e di potenziale (M-N), come rappresentato in figura 4. L'alto numero di elettrodi utilizzati (24) consente di ottenere un numero molto alto di combinazioni su tutta la sezione.

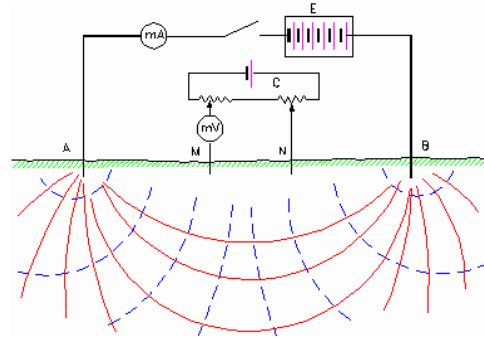


Figura 5: Schema del S.E.V.

Il team di geologi ha utilizzato una strumentazione come quella in Figura 5 e 6 e le cui caratteristiche tecniche sono indicate in Figura 7.



Figura 6: Syscal Junio. [Fonte: Iris Instruments]

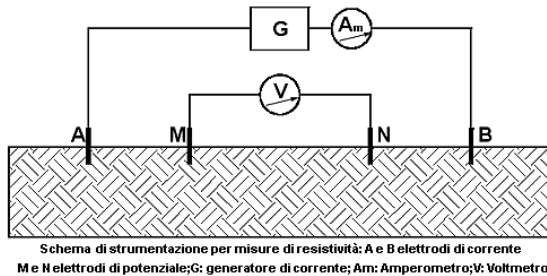


Figura 6: Esecuzione della prova.

GENERAL SPECIFICATIONS	
•	Operating temperature : -20 to +70 °C
•	Memory size : 860 readings with 20 parameters each : so 17 200 parameters. 2500 readings with multi-electrode with 11 parameters each , so 30 800 parameters.
•	Dimensions : 31 x 21 x 21 cm. Weight: 7 kg
•	Power supply: internal rechargeable 12V, 7 Ah battery or external 12V car battery.
•	Autonomy with internal battery: more than 6000 readings at 20 mA output current and 10 kΩ electrode resistance with 10 seconds injection time for each reading.

Figura 7: Specifiche tecniche del misuratore di resistività. [Fonte: Iris Instruments]

La configurazione di elettrodi usata è chiamata Wenner , che prevede una disposizione del quadripolo con quattro elettrodi disposti in linea e tra loro equidistanti; l' esecuzione del S.E.V. prevede una serie di misure ottenute aumentando la distanza esponenzialmente mantenendo fisso il quadripolo.



Legenda

- A – B : Elettrodi di corrente
- M – N : Elettrodi di potenziale
- G : Generatore di corrente
- Am : Amperometro
- V : Voltmetro

Figura 8: Schema della configurazione Wenner

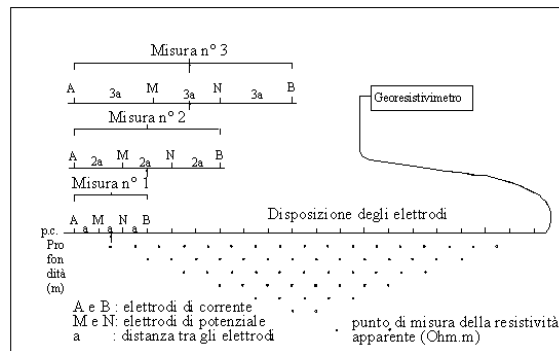


Figura 9: Sistema di acquisizione tomografica dei dati utilizzando il dispositivo di Wenner

Secondo queste modalità sono stati eseguiti due profili elettrici che hanno restituito le due sezioni elettrostratigrafiche sotto riportate.

Tabella 1 :Caratteristiche della linea geoelettrica

PROFILO	NR. ELETTRODI	DISTANZA [m]	LUNGHEZZA [m]	PROFONDITA' MAX [m]
1	24	2	46	8
2	24	1	23	24

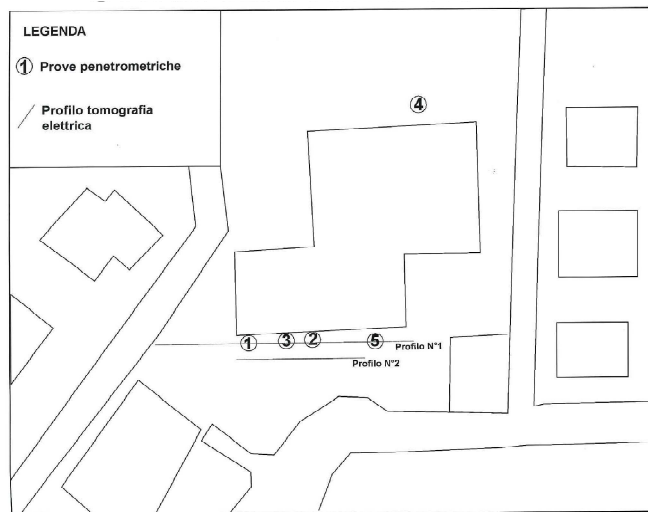


Figura 10: Ubicazione delle indagini

La procedura prevede di trovare un modello di sottosuolo compatibile con i dati misurati, attraverso metodi di inversione quali Forward Modeling Only, Damped Least Squares, Smooth Model Inversion e Robust Inversion.

La porzione di terreno considerata viene suddivisa in celle, ad ognuna delle quali viene associata una resistività apparente iniziale; il software utilizzato permette di calcolare tempestivamente una resistività compatibile con quella misurata per ogni cella. Il procedimento è iterativo e prosegue fino a che il gap ottenuto non sia inferiore all'approssimazione voluta.

Questi metodi hanno delle grosse approssimazioni dovute al fatto che il volume di terreno considerato è molto grande, quindi sono in grado di restituire solo una distribuzione qualitativa dei valori di resistività presenti nel sottosuolo.

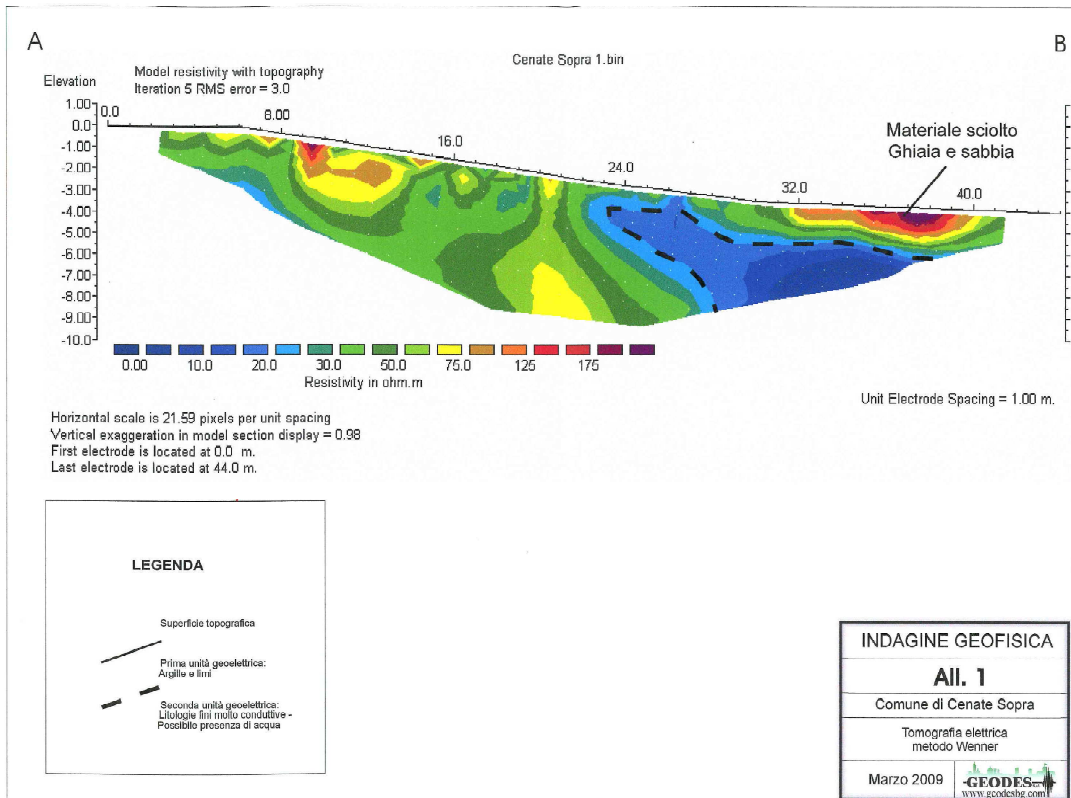


Figura 11: Profilo geoelettrico 1

Le porzioni di terreno caratterizzate dai colori azzurro, verde e giallo sono riconducibili a depositi limo argillosi, avendo una resistività compresa tra 25 e 100 Ohmm.

Il colore blu rappresenta litologie molto fini e lascia ipotizzare la presenza di acqua, con resistività inferiore a 20 Ohmm.

Sabbie e ghiaie compongono gli strati evidenziati in figura con il rosso ed il viola, a cui corrispondono valori di resistività superiori a 100 Ohmm.

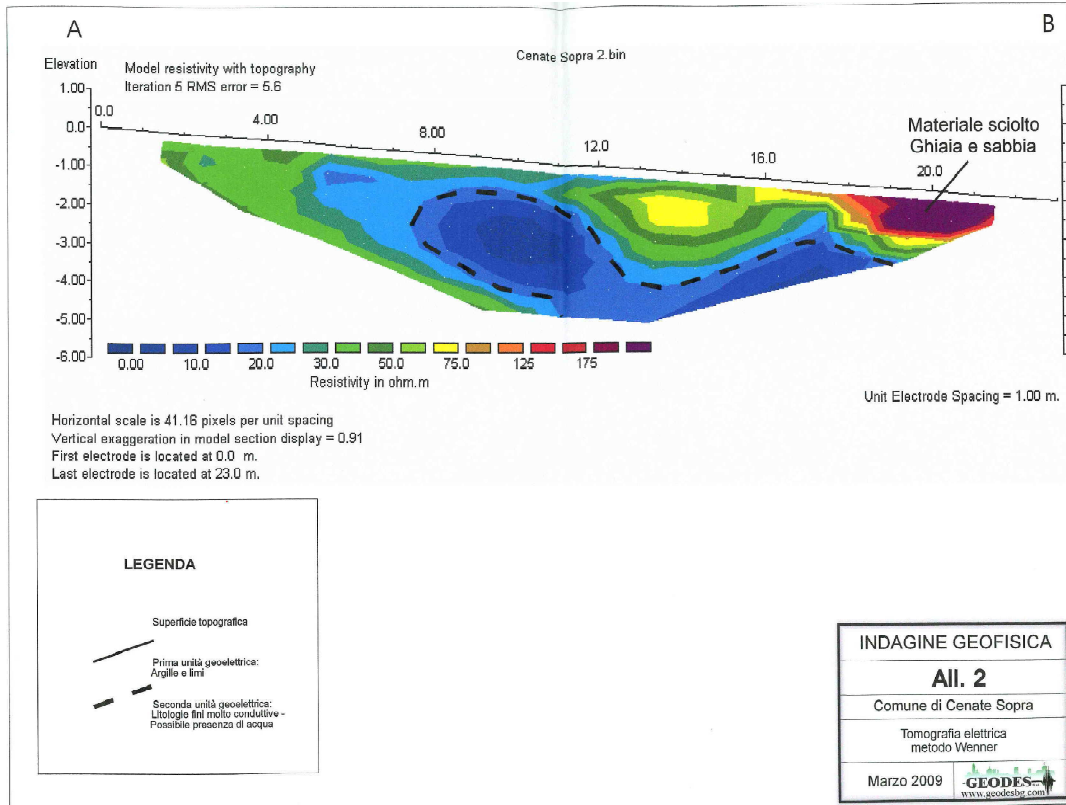


Figura 12: Profilo geoelettrico 2

Il profilo in Figura 12 è parallelo al precedente e considera una lunghezza minore di terreno ed una profondità più bassa, in modo da entrare maggiormente nel dettaglio. Anche qui si possono ricondurre gli strati azzurri, verdi e gialli a depositi fini; le parti blu danno ulteriore forza alle ipotesi che vedevano la presenza di acqua. Anche il deposito di materiali a granulometria maggiore viene confermato dal colore viola. Riassumendo i risultati delle due prove, il substrato risulta essere molto conduttivo sia per la litologia del terreno che per la presenza di acqua di ritenzione delle argille. Fino ad una profondità di 8 m non è stato rilevato terreno roccioso.

7.1.2 Prove penetrometriche

Un altro strumento per definire la stratigrafia di cui si è avvalso il team che ha svolto le analisi è rappresentato dalle prove penetrometriche dinamiche per valutare la resistenza meccanica dei terreni, avvalendosi di un penetrometro dinamico pesante Penni 63, con le seguenti caratteristiche: maglio da 63,5 kg, volata (altezza da cui si fa cadere il maglio) di 75 cm e punta conica.



Figura 13: Penni 63. [Fonte: Compac]

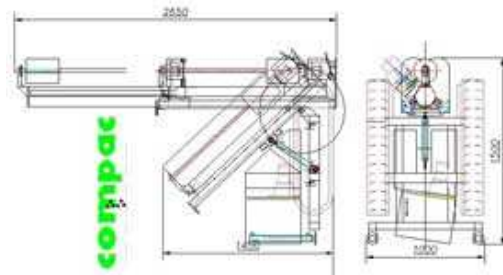


Figura 14: Dettaglio del Penni 63. [Fonte: Compac]

La prova consiste nel misurare i colpi necessari a far affondare di 20 cm la punta del macchinario, partendo dal piano campagna. Come rappresentato in Figura 10, sono state effettuate 5 prove, che hanno raggiunto una quota massima di - 9 m.

La prima operazione da effettuare è trasformare i colpi di punta misurati mediante Penni 63 in numero di colpi SPT equivalenti, il che significa ricondursi ad una prova penetrometrica standard, consentendo così l'extrapolazione dei parametri geotecnici.

Una prova penetrometrica standard consiste nel portare la punta del penetrometro ad una certa profondità stabilita dal progettista, quindi di misurare i colpi necessari per farla affondare di 45 cm, esclusi i primi 15 cm in quanto il terreno potrebbe risentire del disturbo provocato dalla penetrazione.

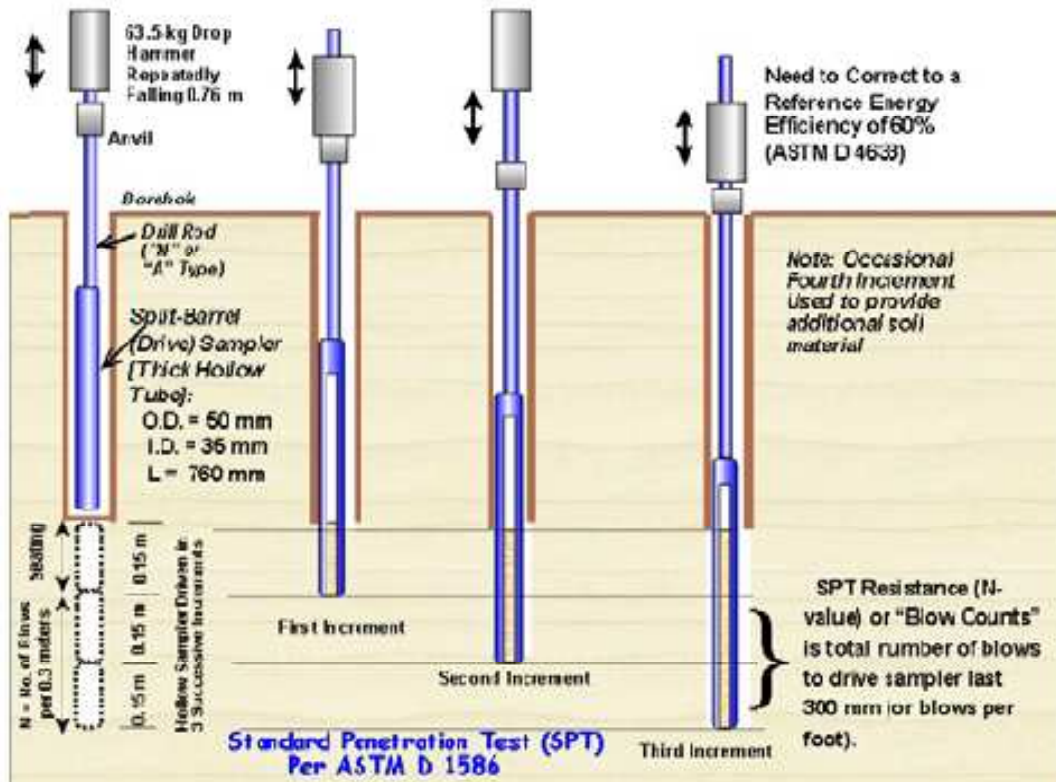


Figura 15: Schema di una prova penetrometrica standard SPT

La correzione più conforme con i dati presenti nella relazione geotecnica è quella basata sulla tipologia di materiale, come esplicitato in seguito:

$N_{SPT} = 1 \times N_{SCPT}$ Ghiaie e ghiaie sabbiose

$N_{SPT} = 1,25 \times N_{SCPT}$ Sabbie fini

$N_{SPT} = 2 \times N_{SCPT}$ Limi

$N_{SPT} = 2,5 \times N_{SCPT}$ Argille limose / sabbiose

$N_{SPT} = 3 \times N_{SCPT}$ Argille

Il fattore di correzione applicato nel nostro caso è una media tra quelli evidenziati dal riquadro rosso, ma bisogna sottolineare che si tratta di correlazioni empiriche.

Considerando le 5 prove penetrometriche eseguite, le stratigrafie sono rappresentate in Figura 12 mediante il numero medio di colpi; da queste si è andata a definire una stratigrafia di riferimento andando a sommare i risultati ottenuti per ogni strato e dividendoli per il numero di prove valide, dato che il terreno si presenta omogeneo, come visibile in Figura 14 ed in Tabella 2.

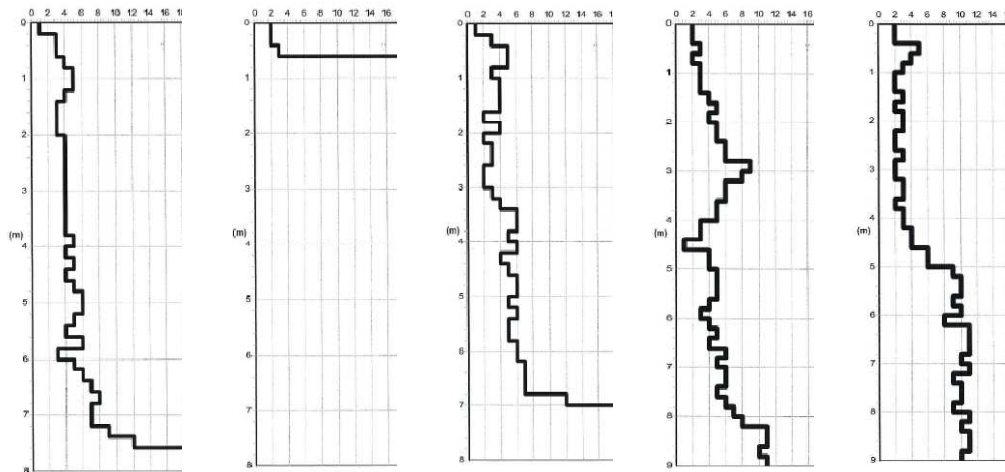


Figura 16: Grafici NSPT. Prove da 1 a 5 da sinistra verso destra. [Fonte: Relazione Geotecnica]

Tabella 2 :Numero di colpi medio

z [m]	N _{STP1}	N _{STP2}	N _{STP3}	N _{STP4}	N _{STP5}	<u>N</u>
0,20	1	3	1	3	3	2
0,40	4	3	4	3	3	3
0,60	4	4	7	4	7	5
0,80	6		7	3	6	6
1,00	7		4	4	4	5
1,20	7		6	4	3	5
1,40	6		6	4	3	5
1,60	4		6	6	4	5
1,80	4		3	7	3	4
2,00	4		6	6	4	5
2,20	6		3	7	4	5
2,40	6		4	7	3	5
2,60	6		4	9	3	6
2,80	6		3	9	4	6
3,00	6		3	13	3	6
3,20	6		4	12	3	6
3,40	6		6	9	4	6
3,60	6		9	9	4	7
3,80	6		9	7	3	6
4,00	7		7	7	4	6
4,20	6		9	4	4	6
4,40	7		6	4	6	6
4,60	6		7	1	6	5
4,80	7		9	6	9	8
5,00	9		9	6	9	8
5,20	9		7	7	13	9
5,40	7		9	7	15	10
5,60	6		7	7	15	9

z [m]	N _{SPT1}	N _{SPT2}	N _{SPT3}	N _{SPT4}	N _{SPT5}	<u>N</u>
5,80	9		7	6	13	9
6,00	4		9	4	15	8
6,20	7		9	6	12	9
6,40	9		10	7	16	11
6,60	10		10	6	16	11
6,80	12		10	9	16	12
7,00	10		18	7	15	13
7,20	10			9	16	12
7,40	13			9	13	12
7,60	18			7	15	13
7,80				9	15	12
8,00				10	13	12
8,20				12	16	14
8,40				16	15	16
8,60				16	16	16
8,80				15	16	16
9,00				16	15	16

Per semplicità nell'esecuzione dei calcoli si è raggruppato il terreno in tre strati con caratteristiche simili, andando a definire la stratigrafia seguente.

Tabella 3: Numero di colpi medio nei tre strati

Δz [m]	<u>N</u>
0,00 - 1,60	5
1,60 - 5,90	7
5,90 - 9,00	13

La consistenza del terreno, da relazione geotecnica, è schematizzata nello schema sottostante: dalle 5 prove eseguite sono stati ricavati i pesi del terreno, che sono stati poi riportati in una stratigrafia unica, riportata nello schema sotto nella colonna sulla destra.

Noti i colpi N_{SPT} e la stratigrafia con i pesi, si ricorre alle formule da letteratura per andare a determinare i restanti parametri geotecnici, necessari ad eseguire le successive verifiche sugli edifici.

Nella relazione geotecnica i valori sono riassunti in tabelle (schematizzati nella stratigrafia sottostante), ma in questa sede andremo a fare una verifica per vedere se i parametri indicati sono compatibili con quelli da noi calcolati.

Nella tabella sotto sono schematizzati i parametri geotecnici relativi alle 5 prove, nonché la stratificazione riassuntiva, indicata con la lettera X; nelle tre caselle relative ad ogni profondità sono indicati, da sinistra verso destra, il modulo elastico E in MPa, l'angolo d'attrito ϕ' ed il peso del terreno γ in kN/m^3 .

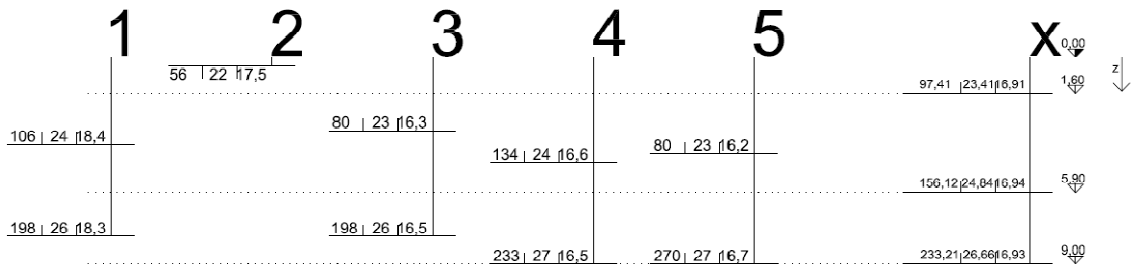


Figura 17: Stratigrafia con i parametri geotecnici secondo i dati della relazione geotecnica

7.1.3 Determinazione della densità relativa Dr

Ci sono vari metodi per determinare la densità relativa; noi applichiamo i più utilizzati e quelli citati nella relazione geotecnica.

Grafico di Gibbs e Holtz, Bazaraa e Peck.

Per entrare nel grafico che consente di determinare la densità relativa è necessario conoscere la pressione verticale.

Tabella 4: Determinazione Dr

	zi [m]	zf [m]	Yter [kN/m³]	σ [KN/m²]	σ [psi]	N
1	0	1,6	16,91	27,06	3,92	5
2	1,6	5,9	16,94	99,95	14,50	7
3	5,9	9	16,93	152,37	22,10	13

Dove σ rappresenta lo sforzo verticale, calcolata come segue:

$$\sigma = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot \Delta H_i$$

Dato che nel grafico lo sforzo verticale è espresso in psi (pound-force per square inch), l'unità di misura della pressione nei paesi anglosassoni, è necessario eseguire la seguente equivalenza:

$$1 \text{ kN/m}^2 = 1 / 6,894 \text{ psi.}$$

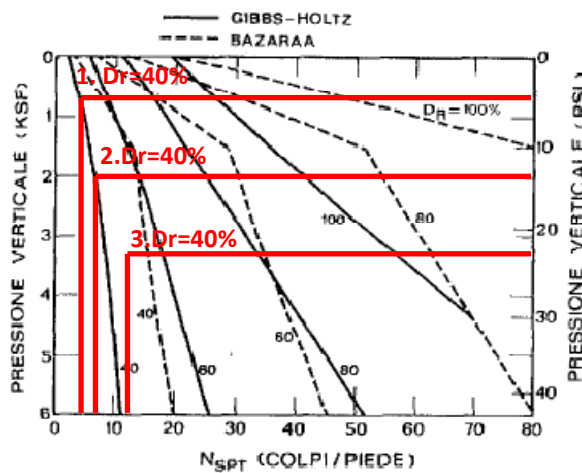


Figura 18: Grafici per la determinazione di Dr

In letteratura è presente anche la seguente formula, valida per terreni normalconsolidati:

$$Dr = 21 \sqrt{\frac{N_{SPT}}{\sigma + 0,7}}$$

Tabella 5: Determinazione Dr – Gibbs & Holtz

z_i [m]	z_f [m]	γ_{ter} [kN/m ³]	σ [kN/m ²]	σ [kg/cm ²]	N	Dr [%]
0	1,6	16,91	27,06	0,27	5	47,06
1,6	5,9	16,94	99,95	1,00	7	41,36
5,9	9,0	16,93	152,37	1,52	13	50,18

I valori risultano diversi da quelli della relazione geotecnica, probabilmente perché il terreno non è realmente normalconsolidato.

Skempton 1986.

Questo metodo sfrutta la correlazione tra N_{SPT} ed il parametro N_1 per andare a determinare la densità relativa; N_1 rappresenta la resistenza penetrometrica normalizzata rispetto alla pressione efficace di 1 kg/cm² ed valutata con la formula di Liao & Whitman.

$$N_1 = N_{SPT} \sqrt{\left(\frac{1}{\sigma'_{v0}}\right)}$$

$$Dr (\%) = 100 \sqrt{\frac{N_1}{60}}$$

Tabella 6: Determinazione Dr - Skempton

Hw [m]	γ_w [kN/m ³]	α_{TERR} [°]	cos α
5	10	10	0,98

z_i [m]	z_f [m]	γ [kN/m ³]	σ [kN/m ²]	u [kN/m ²]	σ' [kN/m ²]	σ' [kg/cm ²]	N	N_1	Dr [%]
0	1,6	16,91	27,06	0,00	27,06	0,27	5	9	39,52
1,6	5,9	16,94	99,95	8,86	91,08	0,91	7	7	33,93
5,9	9,0	16,93	152,37	39,39	112,98	1,13	13	10	44,62

Dove σ'_{v0} rappresenta la pressione verticale efficace, calcolata come segue:

$$\sigma'_{v0} = \sigma_{v0} - u$$

$$u = \gamma_w \cdot (z - H_w)$$

La falda è ipotizzata ad una profondità di 5 m, in quanto a questa quota è stata rilevata la presenza di acqua.

I valori trovati sono riassunti in Tabella 7 e confrontati con quelli della relazione geotecnica.

Tabella 7: Confronti tra Dr

z_i [m]	GIBBS & HOLTZ	SKEMPTON 1986	RELAZIONE
0,00 - 1,60	47,06	39,52	25%
1,60 - 5,90	41,36	33,93	30%
5,90 - 9,00	50,18	44,62	35%

I valori stimati risultano molto più alti di quelli forniti dalla relazione geotecnica, probabilmente perché a noi mancano alcuni parametri che andrebbero ad abbattere i risultati. Dato che non abbiamo modo di svolgere ulteriori prove come le carotature, prenderemo i dati ufficiali forniteci come punto di partenza per eseguire i nostri calcoli.

7.1.4 Determinazione dell'angolo d'attrito ϕ'

Ci sono vari metodi per determinare l'angolo d'attrito; noi applichiamo i più utilizzati e quelli citati nella relazione geotecnica.

Grafico di Gibbs e Holtz, Bazaraa e Peck.

Questo grafico consente di trovare l'angolo d' attrito partendo dalla densità relativa discussa nel precedente paragrafo e dalla litografia del terreno.

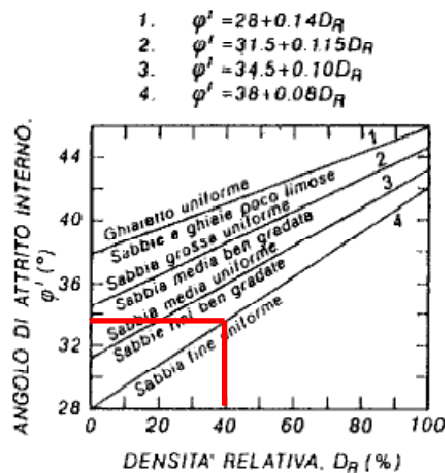


Figura 19: Grafici per la determinazione di ϕ'

Secondo questo grafico, il terreno in esame ha un angolo d'attrito di circa 34° , molto maggiore di quello riportato nella relazione. Questo potrebbe dipendere dal fatto che nel grafico di destra non è riportata alcuna curva per i limi argillosi, quindi si è considerata quella valida per la sabbia fine uniforme.

Road Bridge Specification.

Questo metodo vale per sabbie fini o limose, con profondità superiori ad 8 m.

$$\phi' = 15 N_{SPT} + 15$$

Tabella 8: Determinazione ϕ' – Road Bridge Specification

z [m]	N	ϕ [°]
0 - 1,6	5	23,55
1,6 - 5,9	7	24,94
5,9 - 9	13	28,80

Questi risultati si trovano abbastanza in accordo con quelli della relazione.

De Mello.

Questo metodo vale per sabbie, esclusi i primi 2 m dal piano campagna. Benchè sia attendibile solo per valori dell'angolo d'attrito superiori a 38°, è stata presa in considerazione comunque questa formula in quanto citata nella relazione geotecnica.

$$\Phi' = 19 - 0,38 \sigma + 8,73 \log N$$

Tabella 9: Determinazione ϕ' – De Mello

z_i [m]	z_f [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	σ [kN/m ²]	σ [kg/cm ²]	N	ϕ [°]
2,0	5,9	16,94	99,95	1,00	7	19,22
5,9	9,0	16,93	152,37	1,52	13	19,23

Sowers.

Questo metodo vale per sabbie, con profondità inferiori a 4 m per terreni sopra falda ed inferiori a 7 m in falda.

$$\Phi' = 28 + 0,28 N$$

Tabella 10: Determinazione ϕ' – Sowers

z [m]	N	ϕ [°]
0 - 1,6	5	29,37
1,6 - 4	7	29,85

Malcev.

Questo metodo vale per le sabbie, esclusi i primi 2 m dal piano campagna.

$$\Phi' = 20 - 5 \log \sigma + 3,73 \log N$$

Tabella 11: Determinazione ϕ' – Malcev

z_i [m]	z_f [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	σ [kN/m ²]	σ [kg/cm ²]	N	ϕ [°]
2,0	5,9	16,94	99,95	1,00	7	23,07
5,9	9,0	16,93	152,37	1,52	13	23,22

I valori risultano più bassi di quelli di riferimento.

Peck – Hanson & Thornburn.

Questo metodo è valido per le sabbie, con profondità inferiori a 5 m per terreni sopra falda e inferiori a 8 m per terreni in falda.

$$\Phi' = 27,2 + 0,28 N_{SPT}$$

Tabella 12: Determinazione ϕ' – Peck Hanson & Thornburn

z [m]	N	ϕ [°]
0 - 1,6	5	28,57
1,6 - 5,9	7	29,05
5,9 - 8	13	30,75

Meyerhof.

Questo metodo è valido per le sabbie, con profondità inferiori a 3 m per terreni sopra falda e inferiori a 5 m per terreni in falda.

$$\Phi' = 23,7 + 0,57 N_{SPT} - 0,006 N_{SPT}^2$$

Tabella 13: Determinazione φ' – Meyerhof

z [m]	N	ϕ [°]
0 - 1,6	5	26,34
1,6 - 5	7	27,20

Hatanaka & Uchida.

Questo metodo sfrutta la correlazione tra N_{SPT} ed il parametro N_1 per andare a determinare l'angolo d'attrito; N_1 rappresenta la resistenza penetrometrica normalizzata rispetto alla pressione efficace di 1 kg/cm² ed valutata con la formula di Liao & Whitman.

$$N_1 = N_{SPT} \sqrt{\left(\frac{1}{\sigma'_{v0}}\right)}$$

$$\Phi' = 20 N_1 + 20$$

Tabella 14: Determinazione φ' – Hatanaka & Uchida

Hw [m]	γ_w [kN/m ³]	α_{TERR} [°]	cos α
5	10	10	0,98

z_i [m]	z_f [m]	γ_{ter} [kN/m ³]	σ [KN/m ²]	u [KN/m ²]	σ' [KN/m ²]	σ' [kg/cm ²]	N	N1	ϕ [°]
0	1,6	16,91	27,06	0,00	27,06	0,27	5	9	33,69
1,6	5,9	16,94	99,95	8,86	91,08	0,91	7	7	31,75
5,9	9,0	16,93	152,37	39,39	112,98	1,13	13	12	35,46

Schmertmann.

Questo metodo è valido per le sabbie e generalmente sovrastima il risultato.

$$\Phi' = 28 + 0,14 Dr$$

Tabella 15: Determinazione φ' – Schmertmann

z [m]	Dr	ϕ [°]
0 - 1,6	0,25	28,04
1,6 - 5,9	0,30	28,04
5,9 - 8	0,35	28,05

I valori trovati sono riassunti nella seguente tabella e confrontati con quelli della relazione geotecnica.

Tabella 16: Confronti tra φ'

zi [m]	ROAD BRIDGE SP.	DE MELLO	SOWERS	MALCEV	PECK-HANSON & THORNBURN	MEYER HOF	HATANA KA & UCHIDA	SCHMERTMAN N	RELAZIONE
0,00									
1,60	23,55		29,37		28,57	26,34	33,69	28,04	23,41
1,60									
5,90	24,94	19,22	29,85	23,07	29,05	27,20	31,75	28,04	24,83
5,90									
9,00	28,80	19,23		23,22	30,75		35,46	28,05	26,66

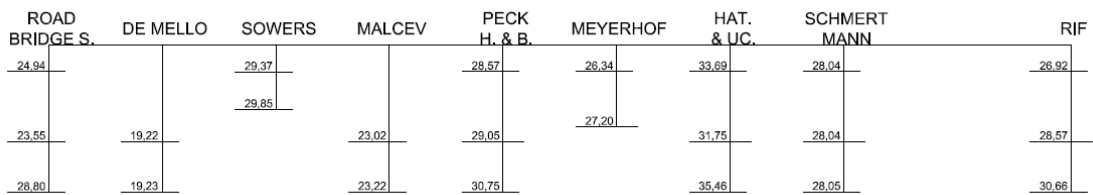


Figura 20: Determinazione di ψ'

7.1.5 Determinazione del modulo elastico E

Ci sono vari metodi per determinare il modulo di Young; noi applichiamo i più utilizzati e quelli citati nella relazione geotecnica.

Metodo di Schmertmann.

Questo metodo vale per le sabbie e non considera il contributo dell' acqua.

$$E [kg/cm^2] = 2 B N_{SPT}$$

B è una costante variabile con la litologia:

- B = 4 Sabbie fini
- B = 6 Sabbie medie
- B = 10 Sabbie grossolane

Tabella 17: Determinazione E – Schmertmann

z [m]	N	B	E [kg/cm ²]	E [kN/m ²]
0 – 1,6	5	4	39,00	3900
1,6 – 5,9	7	4	52,73	5273
5,9 – 8	13	4	101,56	10156

Metodo di Stroud.

$$E [MPa] = \alpha N_{SPT}$$

$$\alpha = - 0,00107 N_{SPT}^2 + 0,136 N_{SPT} + 1,503$$

Tabella 18: Determinazione E – Stroud

z [m]	N	A	E [MPa]	E [kN/m ²]
0 - 1,6	5	2,19	10,68	10683
1,6 - 5,9	7	2,45	16,12	16120
5,9 - 8	13	3,40	43,18	43185

I valori trovati sono riassunti nella seguente tabella e confrontati con quelli della relazione geotecnica.

Tabella 19: Confronti tra E

z [m]	SCHMERTMANN	STROUD	RELAZIONE
0 - 1,6	3900	10683	9741
1,6 - 5,9	5273	16120	15612
5,9 - 8	10156	43185	23321

I valori emersi dalla relazione di Schmertmann risultano troppo bassi rispetto a quelli di riferimento, probabilmente per il fatto che si è trascurato il contributo dell' acqua ed i valori tengono conto delle sole pressioni totali, mentre la formula di Stoud ha restituito valori compatibili..

L' assenza di carotature non permette di avere un quadro completo ed affidabile della situazione geotecnica del sito, ma in mancanza di altro siamo costretti a prendere i dati a nostra disposizione come punto di partenza per i calcoli successivi.

7.2 Modello di scivolamento monodimensionale

Benchè la conoide non sia posta su un terreno tanto pendente da rendere probabile uno scivolamento della stessa, si è ritenuta comunque necessaria una verifica di stabilità mediante un modello di scivolamento monodimensionale, basato sul metodo dell' equilibrio limite.

La semplificazione ad un modello monodimensionale per lo studio di un problema tridimensionale implica numerose approssimazioni, ma può venir utilizzato in quanto lo spessore di terreno studiato (9 m) è irrisorio rispetto alle dimensioni degli edifici sovrastanti.

Si considera un concio di terreno avente una lunghezza la cui proiezione sull'asse orizzontale misura 1 m e si considerano le forze agenti su di esso.

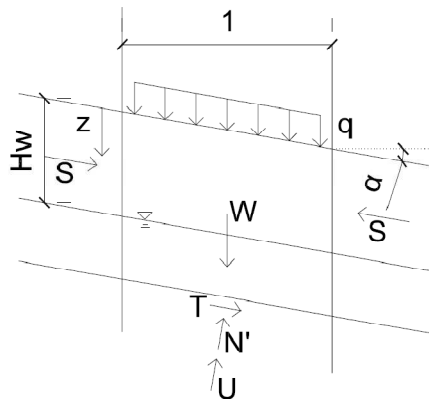


Figura 21: Modello per lo scivolamento monodimensionale

Il fattore di sicurezza si ottiene con il seguente rapporto:

$$F_{s;spof} = T_{LIM} / T \geq 1,3$$

Il limite sopra cui si è sicuri di non avere scivolamento è

$$F_{s;spof} \geq 1,3$$

mentre se

$$1 \leq F_{s;spof} < 1,3$$

Andranno effettuate ulteriori verifiche.

Per trovare i valori di T e T_{LIM} è necessario risolvere il seguente sistema:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum F_N = 0 \\ \sum F_T = 0 \\ T_{LIM} = N' \operatorname{tg} \varphi' + \frac{c}{\cos \alpha} \end{array} \right.$$

Se al sistema si sostituiscono i valori del caso in esame si ottiene:

$$\left\{ \begin{array}{l} U + N' = W \cos \alpha + q \cos \alpha \\ T = (W + q) \operatorname{sen} \alpha \\ T_{LIM} = N' \operatorname{tg} \varphi' + \frac{c}{\cos \alpha} \end{array} \right.$$

Le spinte laterali S non entrano nel sistema in quanto si elidono poichè uguali e contrarie.

$$W = \gamma z$$

$$U = \frac{u}{\cos \alpha} = \gamma_w (z - H_w) \cos \alpha$$

L'equazione della T_{LIM} subirà delle variazioni a seconda che si faccia la verifica a lungo termine o a breve termine.

$$\text{L.T.} \quad T_{LIM} = N' \operatorname{tg} \varphi' + \frac{c'}{\cos \alpha}$$

$$\text{B.T.} \quad T_{LIM} = \frac{Cu}{\cos \alpha}$$

c' rappresenta la coesione drenata, mentre Cu quella non drenata; nelle verifiche a breve termine l'angolo d' attrito φ' è posto nullo ed il γ utilizzato è γ_{sat} .

Partendo dalla stratigrafia di riferimento, sono state effettuate le verifiche facendo variare il livello della falda tra il piano campagna e -9 m al fine di quantificare gli effetti delle oscillazioni di falda.

Quello che ci si aspetta è di ottenere dei fattori di sicurezza che aumentano con l'affondamento.

Abbiamo eseguito tre verifiche con tre diverse situazioni di carico: carico nullo, carico della palestra esistente, carico della scuola che stiamo progettando.

Caso 1: Carico nullo.

Tabella 20: Dati

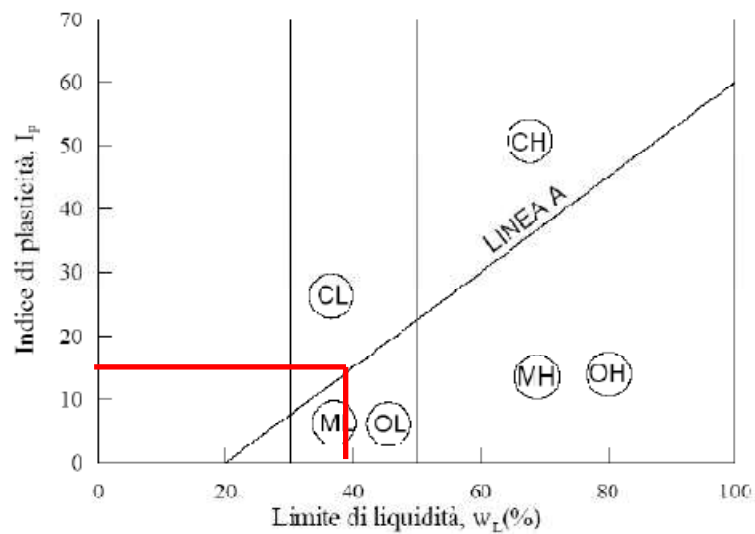
q [kN/m ²]	γw [kN/m ³]	c'	α [°]	cos α	sen α
0	10	0	10	0,98	0,17

c' è dato nullo dalla relazione geotecnica.

Il termine di coesione non drenata, non fornito dalla relazione geotecnica, è stato calcolato con una formula empirica basata sui limiti di Atterberg.

$$C_u = (0,037 + 0,11 IP) OCR^m \sigma'_v$$

IP: Indice di plasticità, determinato tramite la carta di plasticità di Casagrande.



I_p < 10, w_L < 25: limi organici di bassa compressibilità ed argille inorganiche di bassa plasticità (zona tratteggiata)

CH: argille inorganiche di alta plasticità

CL: argille inorganiche di media plasticità

MH e OH: limi inorganici di alta compressibilità ed argille organiche

ML e OL: limi inorganici di media compressibilità e limi organici

Figura 22: Carta di plasticità di Casagrande

OCR: Grado di consolidazione; noi ipotizziamo che il terreno sia normalconsolidato, non avendo dati di riferimento.

m: Coefficiente correttivo, costante

σ'_v: Pressione efficace

$$\begin{aligned} \sigma'_v &= \sigma_v - u \\ \sigma_v &= \gamma z \end{aligned}$$

Di seguito sono riportati i grafici che sintetizzano l'andamento del fattore di sicurezza col variare della falda, a breve ed a lungo termine, mentre in appendice si possono ritrovare le tabelle con i relativi calcoli.

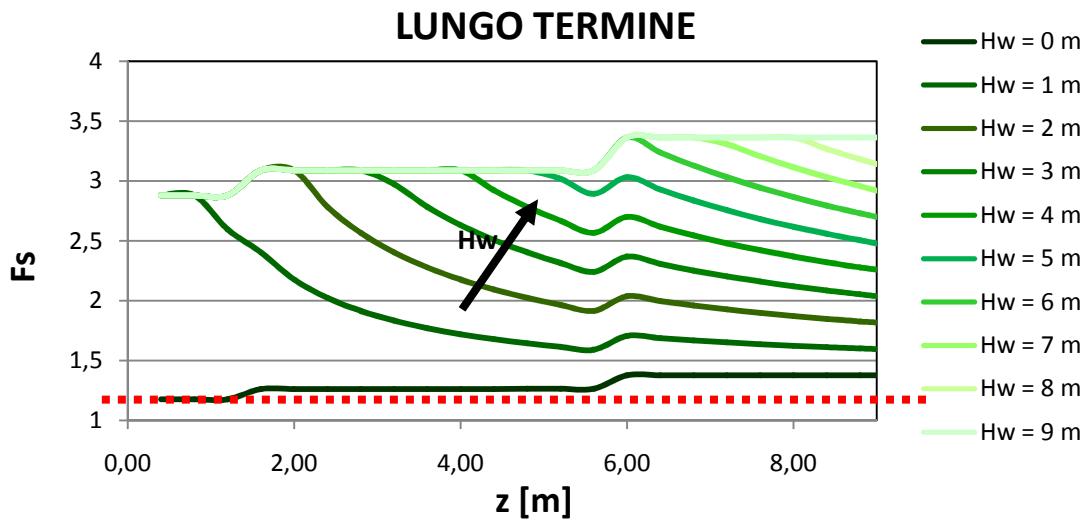


Grafico 1: Andamento del fattore di sicurezza a lungo termine

Le curve rappresentano il variare del fattore di sicurezza a lungo termine col variare della profondità della falda; la retta rossa rappresenta il campo sopra cui il terreno è verificato allo scivolamento. Il brusco cambio di pendenza tra i 5 ed i 6 m di profondità è dovuto alla variazione del peso proprio del terreno a quota 5,9 m.

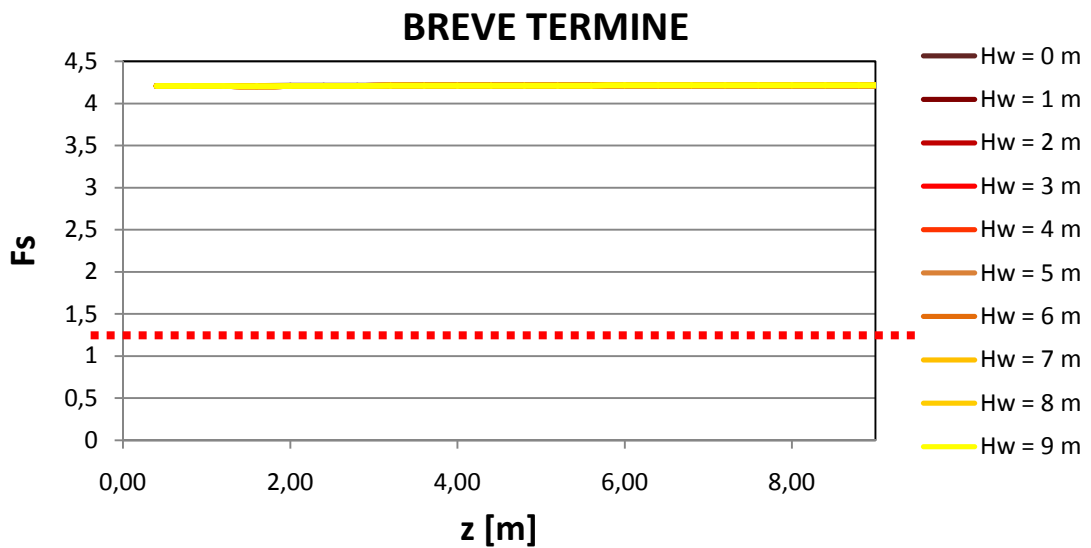


Grafico 2: Andamento del fattore di sicurezza a breve termine

Il fattore di sicurezza costante in quanto i carichi sono nulli.

Caso 2: Carico della palestra esistente.

Per calcolare il carico distribuito sul terreno q dato dal peso della palestra esistente ci siamo avvalsi delle piante strutturali forniteci dal Comune di Cenate Sopra, dalle quali abbiamo ricavato i pesi propri ed i sovraccarichi.

Per ottenere il carico uniformemente distribuito si deve prendere il carico puntuale al piede del pilastro e lo si deve dividere per l' area di proiezione sul piano orizzontale del plinto di fondazione; per determinare il carico al piede va considerata una combinazione di carico allo stato limite di esercizio ed in particolare si utilizza la combinazione quasi permanente, in quanto i valori con cui vanno confrontati i fattori di sicurezza sono già alti e se si considerasse la combinazione di carico allo stato limite ultimo si andrebbe eccessivamente a favore di sicurezza.

La struttura è costituita da travi e pilastri in cemento armato ed il solaio del piano terra è costituito da lastre predalles e getto collaborante, mentre la copertura è formata da travetti in cemento armato, come indicato nelle piante strutturali di seguito allegate.

Vedi Allegato: TAVOLA 63 – Pianta strutturali della palestra comunale esistente 1
Vedi Allegato: TAVOLA 64 – Pianta strutturali della palestra comunale esistente 2

Tabella 42: Peso proprio del solaio del piano terra

	s [m]	Y [kN/m ³]	P [kN/m ²]
cls	0,09	25	2,25
pane	0,16	0,4	0,06
PT			2,31

Tabella 43: Peso proprio del solaio di copertura

	s [m]	Y [kN/m ³]	P [kN/m ²]
cls	0,17	25	4,25
COPERTURA			4,25
	i [m]		4,33
	l [m]	0,3	0,29

Dove i rappresenta l'interasse tra i travetti; il peso distribuito viene diviso per l'interasse tra i travetti e quindi moltiplicato per la larghezza degli stessi, in modo da ottenere l'effettivo peso distribuito avendo considerato che i travetti sono puntuali.

Tabella 44: Combinazione di carico quasi permanente (S.L.E.)

	G ₁	γ _{G1}	G ₂	γ _{G2}	Q _{k1}	γ _{Q1}	Q _{k2}	γ _{Q2}	ψ ₀₂	P [kN/m ²]
soletta PT	2,31	1,3	1,50	1,5	5,00	1,5		1,5	0,7	12,76
copertura	0,29	1,3	1,20	1,5	1,60	1,5	1,34	1,5	0,70	5,99

G₁: Pesi propri strutturali

G₂: Pesi propri non strutturali: Sovraccarico permanente preso dalle piante strutturali

γ_i: Coefficienti parziali per le azioni, tabulati nelle N.T.C. 2008

ψ_i: Coefficienti di combinazione, tabulati nel N.T.C. 2008

Q_{k1}: Sovraccarico 1: Sovraccarico accidentale preso dalle piante strutturali

Q_{k2}: Sovraccarico 2: Carico da neve, determinato come sotto, secondo le N.T.C. 2008:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t \quad (3.3.7)$$

dove:

q_s è il carico neve sulla copertura;

μ_i è il coefficiente di forma della copertura, fornito al successivo § 3.4.5;

q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [kN/m²], fornito al successivo § 3.4.2 per un periodo di ritorno di 50 anni;

C_E è il coefficiente di esposizione di cui al § 3.4.3;

C_t è il coefficiente termico di cui al § 3.4.4.

Si ipotizza che il carico agisca in direzione verticale e lo si riferisce alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

Tabella 45: Carico da neve

	α [°]	μ _i	as [m]	q _{sk}	C _E	C _t	q _s [kN/m ²]
copertura est	9	0,8	330	2,94	1	1	1,34

Sono stati calcolati i carichi al piede del pilastro centrato numero 35 e del pilastro di bordo numero 43; per le verifiche è stato considerato solo il carico maggiore, quindi quello gravante sul pilastro 43.

Tabella 46: Carico al piede del pilastro con la combinazione quasi permanente (S.L.E.)

PILASTRO	A[m ²]	P _{PT} [kN/m ²]	P _{COP} [kN/m ²]	N [kN]
43	16,05	7,71	4,04	189
35	13,34	7,71	4,04	157

Dato che nelle piante strutturali non è indicata l' altezza del plinto di fondazione, abbiamo ipotizzato un' altezza di 1 m, successivamente verificata. Per il dimensionamento del plinto è stata usata la combinazione di carico fondamentale allo stato limite ultimo.

Tabella 47: Combinazione di carico fondamentale (S.L.U.)

	G ₁	γ _{G1}	G ₂	γ _{G2}	Q _{K1}	γ _{Q1}	Q _{K2}	γ _{Q2}	ψ ₀₂	P [kN/m ²]
soletta PT	2,31	1,3	1,50	1,5	5,00	1,5		1,5	0,7	12,76
copertura	0,98	1,3	1,20	1,5	1,60	1,5	1,34	1,5	0,7	6,88

Di seguito sono riportate le verifiche effettuate sul plinto, eseguite con le stesse modalità descritte nel capitolo 6.1.5 relativo alle strutture della scuola elementare.

Tabella 48: Dati geometrici del plinto e calcolo della pressione agente

a [m]	b [m]	a' [m]	b' [m]	d _a = d _b [m]	N _k kN	N _{plinto} [kN]	P [kN]	σ _g [kN/m ²]	σ _g [MPa]
4,33	1,4	0,7	0,3	1	315	152	467	77	0,077

Tabella 49: Dati relativi al terreno

φ'	γ [kN/m ³]	c'
23	17	0

Come angolo d' attrito φ' e come peso specifico del terreno γ sono stati usati i dati relativi al terreno alla profondità di 1 m, ossia il piano della fondazione.

Tabella 50: Verifica della resistenza del terreno

S _g	γ _g	γ _q	γ _f	γ _φ	tgφ	tgφ/γ _φ	N _g	r _v [kN/m ²]	r _v [MPa]	σ _d [kN/m ²]	σ _d < r _v
0,87	1,00	1,30	1,21	1,25	0,43	0,35	9,75	100	0,100	93	VERO

Tabella 51: Verifica lato acciaio

f _{sd} [kN/m ²]	0,2d _a	b'/4	c _a [m]	l _a [m]	λ _a	2P _a [kN]	γ _f	A _{sa} [m ²]	A _{sa} [cm ²]	n*φX	A _{sa,eff} [m ²]	A _{sa,eff} [cm ²]	P' _a [kN]	P _{rs} [kN]	P _{rs} > N _k
374000	0,2	0,08	0,08	0,98	0,98	264	1,4	0,0005	4,86	6 φ 12	0,0007	6,97	51	582	VERO

Tabella 52: Verifica lato calcestruzzo

f _{cl} [kN/m ²]	1+λ _a ²	(P-P ₀)/P	P _{rc} [kN]	P' _d [kN]	P _{rc} > P' _d
17000	1,97	0,965	7266	368	VERO

Tabella 53: Verifica al punzonamento

f_{ctd} [kN/m ²]	k	k	u	ρ_s	f_{cl}	u_0	P'_r	P''_r	P_0	$N_k - P_0$	min $P_r >$ $N_k - P_0$
1350	0,2	2E-07	11,5	21	17000	2	4E+06	6920	10,92	304,33	VERO

P'_r [kN]	P''_r [kN]	P_0 [kN]	$N_k - P_0$ [kN]	min $P_r >$ $N_k - P_0$
4E+06	6920	10,92	304,33	VERO

A questo punto è possibile effettuare le verifiche allo scivolamento, con i carichi sopra individuati: il carico al piede del pilastro ammonta a 467 kN, il quale andrà successivamente diviso per l' area del plinto; il carico distribuito trovato è pari a 61 kN/m².

Tabella 54: Dati

q [kN/m ²]	γ_w [kN/m ³]	c'	α [°]	cos α	sen α
61	10	0	10	0,98	0,17

I risultati dell' andamento del fattore di sicurezza sono riassunti nei grafici seguenti, mentre le tabelle con i calcoli si trovano in Appendice.

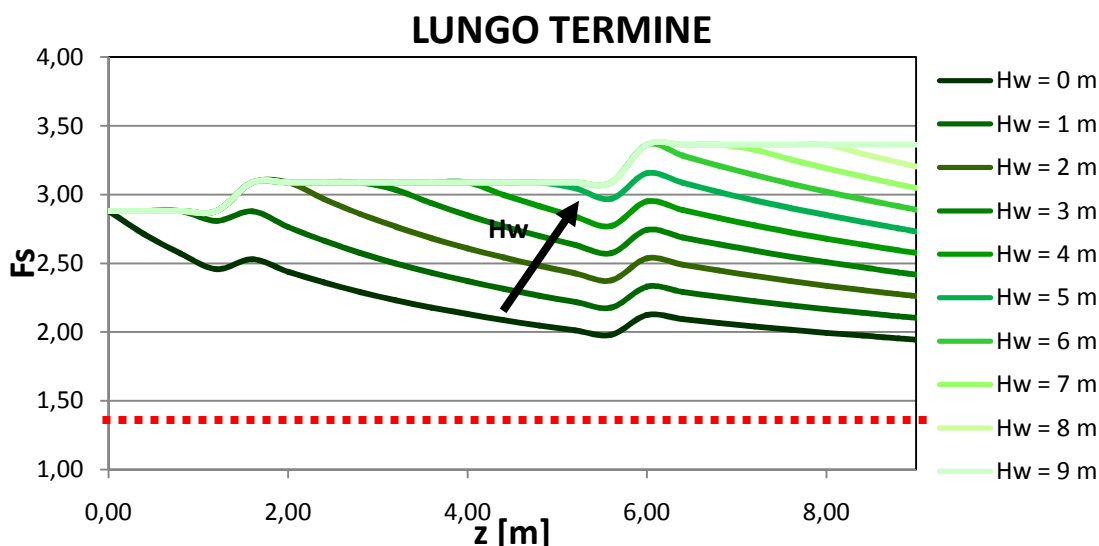


Grafico 3: Andamento del fattore di sicurezza a lungo termine

Le curve rappresentano il variare del fattore di sicurezza a lungo termine col variare della profondità della falda. Il brusco cambio di pendenza tra i 5 ed i 6 m di profondità è dovuto alla variazione del peso proprio del terreno a quota 5,9 m. Le verifiche risultano soddisfatte per ogni quota di posizionamento della linea di falda.

BREVE TERMINE

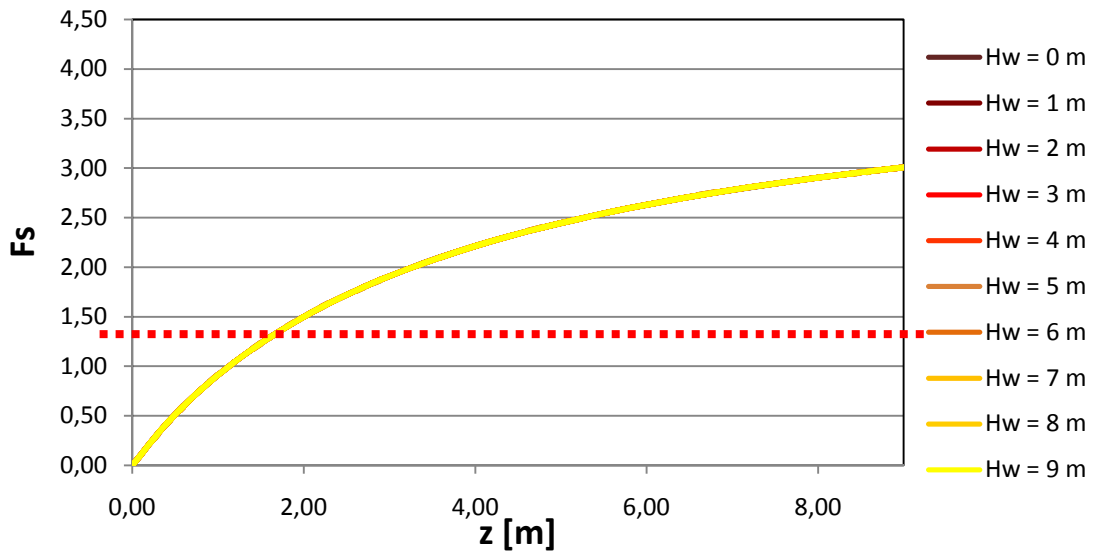


Grafico 4: Andamento del fattore di sicurezza a breve termine

Le curve rappresentano il variare del fattore di sicurezza a breve termine col variare della profondità della falda; la retta rossa rappresenta il campo sopra cui i risultati sono verificati. I valori non risultano verificati con un fattore di sicurezza di 1,3 a breve termine nei primi centimetri della fondazione e quindi sarebbero necessari interventi al fine di controllare l'innalzamento eccessivo della falda o la formazione di una falda sospesa, fenomeno che potrebbe verificarsi in caso di eventi meteorici particolarmente intensi che andrebbero a saturare il terreno negli strati più superficiali e potrebbero formare una falda ad una quota prossima al piano campagna, con la conseguenza dello scivolamento verso valle degli strati superiori di terreno, come rappresentato in Figura 20.

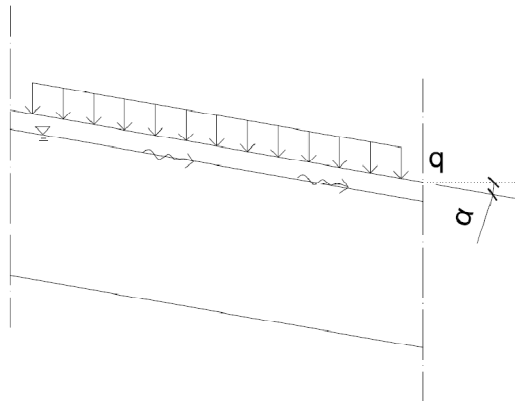


Figura 23: Falda sospesa

Dal confronto tra i Grafici 1 e 2 inerenti alla situazione con sovraccarico q nullo ed i Grafici 3 e 4 relativi al sovraccarico impresso dalla palestra esistente emerge che il fattore di sicurezza aumenta all'aumentare di q ; questo fenomeno è spiegabile in quanto il valore di N' dipende da q ed aumenta all'aumentare di quest'ultimo maggiormente del valore di T , dipendente anch'esso da q ma con una quota parte inferiore a causa dell'inclinazione α del terreno.

Caso 3: Carico della scuola di nuova costruzione.

Per calcolare il carico distribuito sul terreno q dal peso della scuola elementare che abbiamo progettato abbiamo utilizzato i calcoli strutturali espliciti al capitolo 6.1.5..

Per ottenere il carico uniformemente distribuito si deve prendere il carico puntuale al piede del pilastro e lo si deve dividere per l' area di proiezione sul piano orizzontale del plinto di fondazione; per determinare il carico al piede va considerata una combinazione di carico allo stato limite di esercizio ed in particolare si utilizza la combinazione quasi permanente.

Dato che consideriamo il carico agente sull'ala contenente le aule didattiche, la struttura è costituita da travi e pilastri in acciaio, il solaio del piano primo è in lamiera grecata e getto collaborante e la copertura è composta da arcarecci su cui è poggiato un assito in legno e lamiera metallici.

Tabella 55: Combinazione di carico quasi permanente (S.L.E.)

	G	Q _{K1}	ψ_{21}	Q _{K2}	ψ_{22}	P [kN/m ²]
soletta P1	1,75	3	0,6		0,6	3,55
sbalzo P1	2,22	3	0,6		0,6	4,02
copertura FV	0,53	1,34	0,6		0,6	1,33
copertura verde inclinata	1,76	0,04	0,6		0,6	1,78
copertura ghiaia	2,28	1,34	0,6		0,6	3,08
serre	0,81	0,50	0,6	1,34	0,6	1,91

Tabella 56: Carico al piede del pilastro con la combinazione quasi permanente (S.L.E.)

P	A ₁ [m ²]	P ₁ [kN/m ²]	A ₂ [m ²]	SBALZO [kN/m ²]	A ₃ [m ²]	COP GHIAIA [kN/m ²]	A ₄ [m ²]	COP FV [kN/m ²]	A ₅ [m ²]	COP VERDE INCL [kN/m ²]	TOTALE [kN]
C1	35,76	3,55			20,89	3,08	14,38	1,33			210
C2	64,05	3,55			20,35	3,08	27,58	1,33	12,02	1,78	348
D1	14,24	3,55	11,02	4,02			24,4	1,33			82
D2	27,64	3,55	21,16	4,02			48,75	1,33			162

A questo punto è possibile effettuare le verifiche allo scivolamento, con i carichi sopra individuati.

Tabella 57: Dati

q [kN/m ²]	γ_w [kN/m ³]	c'	α [°]	cos α	sen α
71	10	0	10	0,98	0,17

Anche in questo caso sono stati eseguiti i calcoli facendo variare la falda tra il piano campagna e 9 m di profondità i cui risultati sono rappresentati nei Grafici 5 e 6; per le tabelle di calcolo si rimanda all' appendice.

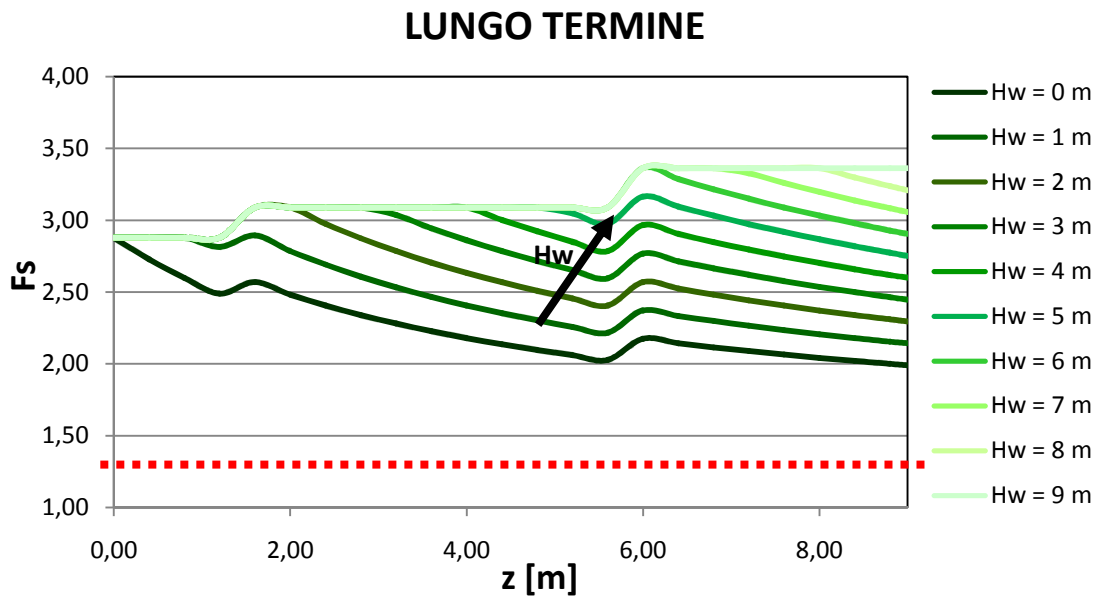


Grafico 5: Andamento del fattore di sicurezza a lungo termine

Le curve rappresentano il variare del fattore di sicurezza a lungo termine col variare della profondità della falda. Il brusco cambio di pendenza tra i 5 ed i 6 m di profondità è dovuto alla variazione del peso proprio del terreno a quota 5,9 m. Tutti i valori risultano verificati.

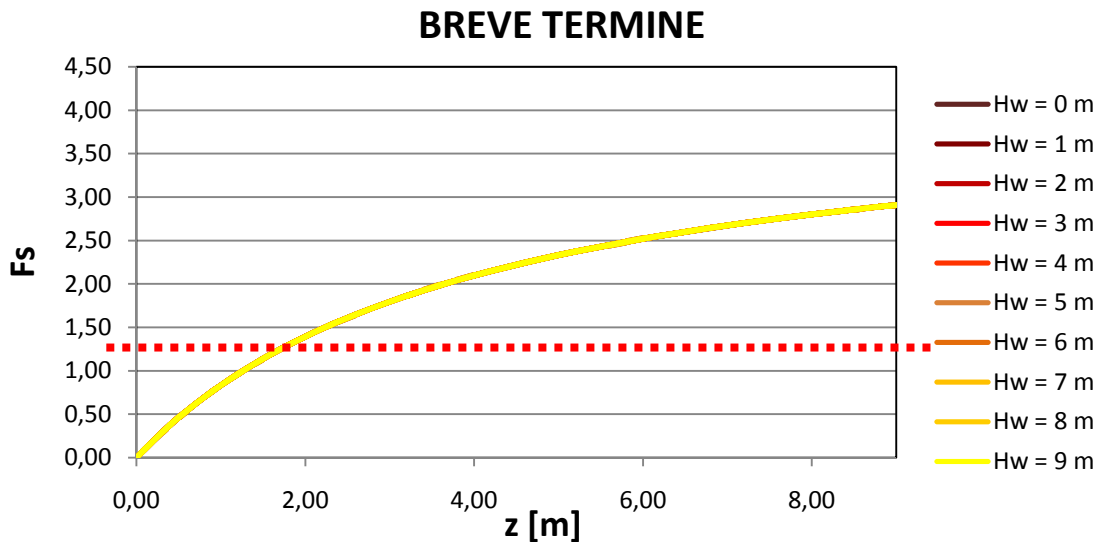


Grafico 6: Andamento del fattore di sicurezza a breve termine

Le curve rappresentano il variare del fattore di sicurezza a breve termine col variare della profondità della falda; la retta rossa rappresenta il campo sopra cui il terreno è verificato allo scivolamento. Come spiegato per la palestra, un fattore di sicurezza inferiore a 1,3 non costituisce un problema perché la formula con cui è calcolata la coesione C_u non è attendibile per i primi strati.

Le verifiche dei fattori di sicurezza derivanti dalle tre condizioni di carico sono riassunti nella tabella seguente:

Tabella 58: Confronto tra $F_{s,sciv}$

CASO	L.T.	B.T.
$q = 0 \text{ kN/m}^2$	$F_{s,sciv} > 1,3$ per $H_w \geq 1 \text{ m}$	$F_{s,sciv} > 1,3 \vee H_w$
$q = q \text{ palestra} = 61 \text{ kN/m}^2$	$F_{s,sciv} > 1,3 \vee H_w$	$F_{s,sciv} > 1,3$ per $z \geq 1,6 \text{ m} \vee H_w$
$q = q \text{ scuola} = 71 \text{ kN/m}^2$	$F_{s,sciv} > 1,3 \vee H_w$	$F_{s,sciv} > 1,3$ per $z \geq 1,6 \text{ m} \vee H_w$

Come già precedentemente commentato, un $F_{s,sciv} < 1,3$ a breve termine per i primi strati di terreno potrebbe indurre un lento scivolamento che si assesterebbe all'abbassarsi della linea di falda oppure la formazione di una falda sospesa con conseguente scivolamento delle porzioni di terreno sovrastanti; per cui andranno adottati degli interventi al fine di evitare questi fenomeni.

7.3 Calcolo dei cedimenti

Verificato il terreno allo scivolamento, si può procedere trattando le fondazioni più specificamente, ed in particolare andando ad assicurarsi che i cedimenti siano inferiori a quelli ammissibili:

- $u_{amm} = 25 \text{ mm}$ per fondazioni su terreni sabbiosi;
- $u_{amm} = 40 \text{ mm}$ per fondazioni su argille.

Sono stati utilizzati due metodi, per avere maggiori certezze circa i valori trovati.

Caso 1: Carico della palestra esistente.

Metodo 1: Burland & Burbidge

Questo metodo stima il cedimento sulla base di prove penetrometriche dinamiche ed è il risultato di oltre 200 casi di studio dei cedimenti di fondazioni su terreni a grana grossa.

L'ipotesi di considerare terreni a grana grossa non è del tutto compatibile con il terreno presente nel nostro sito, quindi i valori ottenuti saranno sottostimati rispetto ai cedimenti reali della struttura.

Il primo passaggio da effettuare è ricavare la profondità d'influenza z_i , mediante il grafico seguente, nel caso come il nostro in cui il numero di colpi N_{STP} cresce con l'aumentare della profondità.

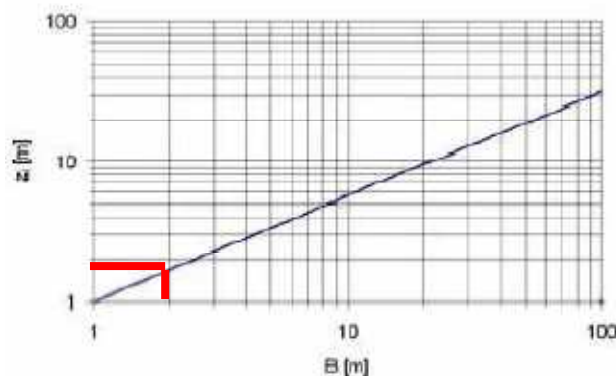


Figura 24: Grafico per la determinazione di z_i

La profondità d'influenza z_i è necessaria per calcolare il numero medio di colpi N_{SPT} su z_i .

$$\underline{N} = \frac{\int_0^{z_i} N_{SPT} dz}{z_i}$$

Se il valore di N dovesse risultare maggiore di 15, si dovrà applicare il seguente termine correttivo

$$N = 15 + 0,5 (N - 15)$$

Questo valore andrà poi inserito nel calcolo dell'indice di compressibilità I_c .

$$I_c = \frac{1,7}{N^{1,4}}$$

Tabella 59: Calcolo di N ed I_c

z_i [m]	Δz [m]	N_{SPT}	N	Ncorr	I_c
2	0,6	5	1,50	8,25	0,09
	4,3	7	15,05	15,03	0,04
	3,1	13	20,15	17,58	0,03

Per calcolare il cedimento atteso bisogna inserire i dati trovati nella formula sotto.

$$\underline{s} = \sigma'_{v0} B^{0,7} \frac{I_c}{3} + (q - \sigma_{v0}) B^{0,7} I_c \text{ [mm]}$$

Quotaparte di ricarico Quotaparte di carico vergine

Dato che abbiamo ragionevolmente ipotizzato un terreno normalconsolidato, il termine che considera la quota parte di ricarico si annulla.

Tabella 60: Calcolo dei cedimenti

Δz [m]	\check{s} [mm]
0,6	4,47
4,3	1,93
3,1	1,55

Ai valori ottenuti vanno apportate delle correzioni tramite dei coefficienti che tengano conto del tempo.

Fattore di ritardo: $t > 3$ anni $f_t = (1 + R_3 + R \log \frac{t}{3})$

Le costanti R e R_3 sono tabulate e valgono rispettivamente 0,2 e 0,3 per carichi permanenti. Il cedimento finale atteso al tempo t è indicato con la lettera s ed è valutato come sotto.

$$\underline{s} = s \cdot f_s \cdot f_H \cdot f_t$$

I coefficienti f_s e f_H nel caso in esame hanno valore unitario, in quanto indicano rispettivamente un fattore di forma della fondazione ed un fattore di influenza del carico.

Tabella 61: Calcolo dei cedimenti totali

R_3	R	t	f_t	s [mm]
0,3	0,2	37	1,52	12,07

I cedimenti che ha subito l' edificio dalla sua costruzione fino ad oggi (40 anni) ammontano a circa 12 m.

Metodo 2: Schmertmann

Questo metodo è stato creato sulla base di prove di carico in piccola scala ed analisi numeriche agli elementi finiti; per ottenere i cedimenti è necessario disporre dei risultati di prove penetrometriche statiche CPT (Cone Penetration Test) che prevedono la penetrazione nel terreno di una punta conica di dimensioni e forma standardizzate. Dal momento in cui noi non disponiamo di queste prove, i valori che otterremo saranno utili solo al fine di stimare l' ordine di grandezza atteso per il cedimento.

Il principio su cui si basa questo procedimento è di dividere il terreno in n strati e associare ad ognuno di essi una deformazione, che moltiplicata per lo spessore dello strato consente di trovare i cedimenti.

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta q}{E} I_z$$

Il modulo elastico considerato è quello che è stato trovato nel capitolo 7.1.5 con le formule di Schmertmann.

Δq rappresenta il carico netto in superficie e viene calcolato come

$$\Delta q = q - \sigma'_{v0}$$

I_z è il coefficiente di influenza funzione della profondità z e per una fondazione nastriforme ha questo andamento:

- $I_z = 0,2$ al piano di posa
- $I_z = I_{z;MAX}$ ad una profondità B dal piano di posa
- $I_z = 0$ ad una profondità di $4B$ dal piano di posa

$$I_{z;MAX} = 0,5 + 0,1 \sqrt{\frac{\Delta q'}{\sigma'_{v'}}}$$

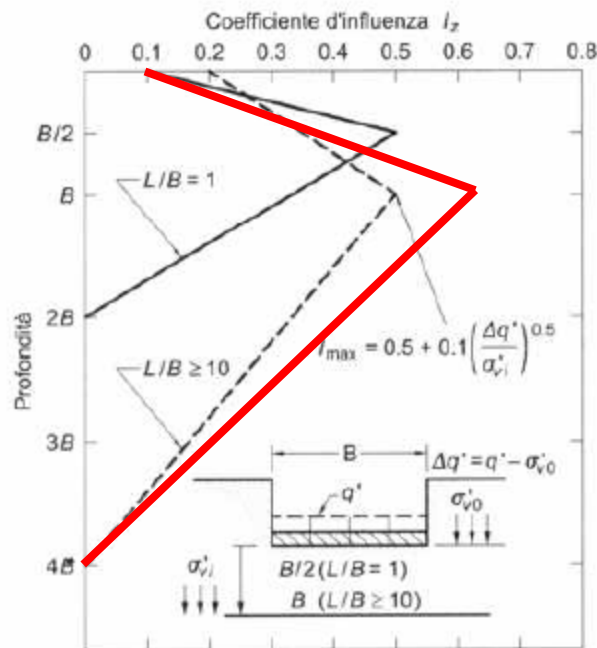


Figura 25: Grafico dell' andamento di I_z in funzione della profondità

Anche questo metodo inserisce dei fattori correttivi.

$$C_1 = 1 - 0,5 \left(\frac{\sigma'_{v0}}{\Delta q} \right) \geq 0,5$$

$$C_2 = 1 + 0,2 \log \left(\frac{t}{0,1} \right)$$

I cedimenti totali vanno quindi calcolati nel modo seguente:

$$s = C_1 \cdot C_2 \cdot \Delta q \cdot \sum_{i=1}^N \left(\frac{I_z}{E} \right) \Delta z_i$$

Di seguito vengono riportate le tabelle con i calcoli.

Tabella 62: Dati

q [kN]	H _w [m]	Y _w [kN/m ³]	α _{TERR} [°]	cos α	B [m]	h _{FONDAZ} [m]	t [anni]
61	5	10	10	0,98	1,2	1	40

Tabella 63: Calcolo dei coefficienti correttivi

Y _{medio} [kN/m ³]	σ' _{v0} [kN/m ²]	Δ q	σ' _{vi} [kN/m ²]	I _{zMAX}	C1	C2
16,93	16,93	44,38	27,09	0,63	0,8093	1,52

Tabella 64: Calcolo dei cedimenti

z _i [m]	z _f [m]	Δ z [m]	Y _{ter} [kN/m ³]	I _z	E [kN/m ²]	ε _z	ε _z * Δ z _i
1,00	1,40	0,40	16,91	0,20	3900	0,0023	0,0009
1,40	1,80	0,40	16,91	0,30	3900	0,0034	0,0014
1,80	2,20	0,40	16,94	0,63	5273	0,0053	0,0021
2,20	2,60	0,40	16,94	0,60	5273	0,0051	0,0020
2,60	3,00	0,40	16,94	0,50	5273	0,0042	0,0017
3,00	3,40	0,40	16,94	0,40	5273	0,0034	0,0013
3,40	3,80	0,40	16,94	0,30	5273	0,0025	0,0010
3,80	4,20	0,40	16,94	0,20	5273	0,0017	0,0007
4,20	4,60	0,40	16,94	0,10	5273	0,0008	0,0003
4,60	5,00	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
5,00	5,40	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
5,40	5,80	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
5,80	6,20	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
6,20	6,60	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
6,60	7,00	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
7,00	7,40	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
7,40	7,80	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
7,80	8,20	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
8,20	8,60	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
8,60	9,00	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
						Σ	0,0115
						s [m]	0,0141

I cedimenti che ha subito l' edificio dalla sua costruzione fino ad oggi (40 anni) ammontano a 1,41 cm.

Tabella 65: Confronto tra i cedimenti ottenuti con i due metodi

	BURLAND & BURBIDGE	SCHMERTMANN
s [cm]	1,21	1,41

Secondo queste formule, dalla sua costruzione, la palestra ha subito dei cedimenti nell' ordine del centimetro.

Caso 2: Carico della scuola che stiamo progettando.

In questo si procederà sia al calcolo dei cedimenti istantanei che a quelli attesi al termine della vita utile dell' edificio, ossia 50 anni.

Pilastro C2

Metodo 1: Burland & Burbidge

Cedimenti istantanei

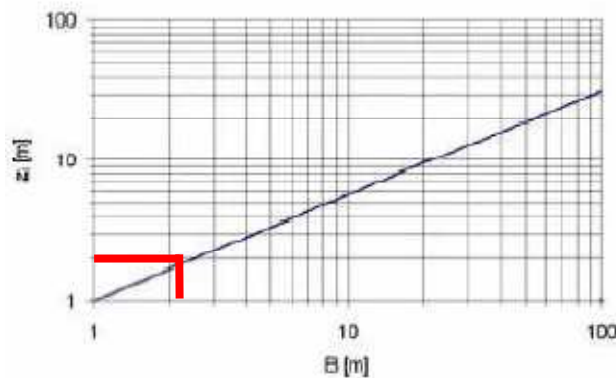


Figura 26: Grafico per la determinazione di z_i

Tabella 66: Calcolo dei cedimenti

z_i [m]	Δz [m]	N_{SPT}	N	N_{corr}	I_c
2,2	1,6	5	3,64	8,3	0,09
	4,3	7	13,68	9,65	0,07
	3,1	13	18,32	9,05	0,08

Tabella 67: Calcolo dei cedimenti totali

Δz [m]	ξ [mm]	s [mm]
1,6	8,01	21,59
4,3	6,49	
3,1	7,09	

Il cedimento totale è stato calcolato semplicemente come la somma dei cedimenti sugli strati, essendo i fattori correttivi tutti unitari.

La risposta istantanea che ci si aspetta dal terreno a causa del sovraccarico offerto dalla nuova costruzione è un cedimento di circa 21,5 mm.

Cedimenti attesi tra 50 anni

I cedimenti calcolati su ogni strato sono gli stessi riportati in Tabella 105 per i cedimenti istantanei, ma il cedimento totale sarà semplicemente la somma dei cedimenti sugli strati, essendo i fattori correttivi tutti unitari.

Tabella 68: Calcolo dei cedimenti totali

R3	R	t	ft	s [mm]
0,3	0,2	47	1,54	23,46

Al termine della vita utile della scuola elementare i cedimenti attesi sono di 23,5 mm circa.

Metodo 2: Schmertmann

Cedimenti istantanei

I_z è il coefficiente di influenza funzione della profondità z e per una fondazione quadrata o circolare ha questo andamento:

$I_z = 0$ al piano di posa

$I_z = I_{z,MAX}$ ad una profondità di $0,5B$ dal piano di posa

$I_z = 0$ ad una profondità di $2B$ dal piano di posa

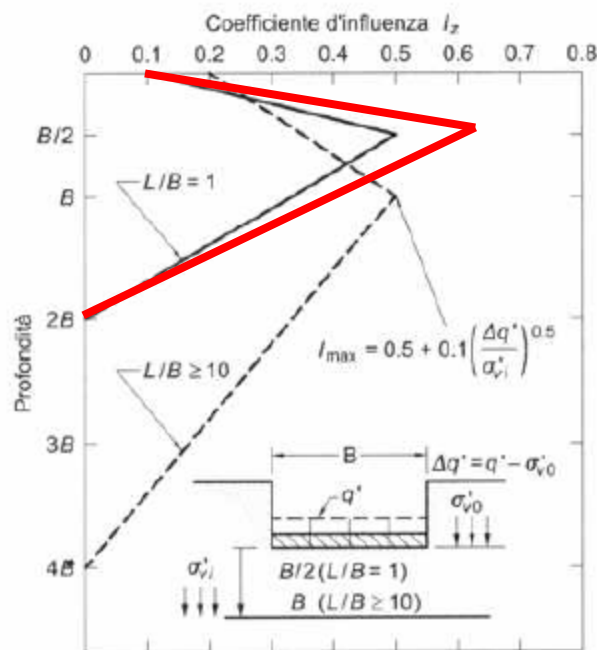


Figura 27: Grafico dell'andamento di I_z in funzione della profondità

Tabella 69: Dati

q [kN/m ²]	H _w [m]	Y _w [kN/m ³]	α _{TERR} [°]	cos α	B [m]	h _{FOND} [m]	t
71	5	10	10	0,98	2,5	1,2	0

Tabella 70: Calcolo dei coefficienti correttivi

Y _{medio} [kN/m ³]	σ'_{v0} [kN/m ²]	Δq	σ'_{v,i} [kN/m ²]	I _{z,MAX}	C1
16,93	20,32	48,00	41,48	0,61	0,7884

Tabella 71: Calcolo dei cedimenti

z_i [m]	z_f [m]	Δz [m]	γ_{ter} [kN/m ³]	I_z	E [kN/m ²]	ϵ_z	$\epsilon_z * \Delta z_i$
1,20	1,60	0,40	16,91	0,10	3900	0,0012	0,0005
1,60	2,00	0,40	16,91	0,61	3900	0,0075	0,0030
2,00	2,40	0,40	16,94	0,40	5273	0,0036	0,0015
2,40	2,80	0,40	16,94	0,30	5273	0,0027	0,0011
2,80	3,20	0,40	16,94	0,20	5273	0,0018	0,0007
3,20	3,60	0,40	16,94	0,10	5273	0,0009	0,0004
3,60	4,00	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
4,00	4,40	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
4,40	4,80	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
4,80	5,20	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
5,20	5,60	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
5,60	6,00	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
6,00	6,40	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
6,40	6,80	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
6,80	7,20	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
7,20	7,60	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
7,60	8,00	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
8,00	8,40	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
8,40	8,80	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
8,80	9,00	0,20	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
						Σ	0,0071
						s [m]	0,0056

Cedimenti attesi tra 50 anni

Tabella 72: Dati

q [kN/m ²]	H_w [m]	γ_w [kN/m ³]	α_{TERR} [°]	$\cos \alpha$	B [m]	h_{FOND} [m]	t
71	5	10	10	0,98	2,5	1,2	50

Tabella 73: Calcolo dei coefficienti correttivi

t	γ_{medio} [kN/m ³]	σ'_{v0} [kN/m ²]	Δq	σ'_{vi} [kN/m ²]	$I_{z_{MAX}}$	$C1$	$C2$
50	16,93	20,32	48,00	41,48	0,61	0,7884	1,54

Tabella 74: Calcolo dei cedimenti

zi [m]	zf [m]	Δ z [m]	Yter [kN/m ³]	lz	E [kN/m ²]	εz	εz * Δ zi
1,20	1,60	0,40	16,91	0,10	3900	0,0012	0,0005
1,60	2,00	0,40	16,91	0,61	3900	0,0075	0,0030
2,00	2,40	0,40	16,94	0,40	5273	0,0036	0,0015
2,40	2,80	0,40	16,94	0,30	5273	0,0027	0,0011
2,80	3,20	0,40	16,94	0,20	5273	0,0018	0,0007
3,20	3,60	0,40	16,94	0,10	5273	0,0009	0,0004
3,60	4,00	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
4,00	4,40	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
4,40	4,80	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
4,80	5,20	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
5,20	5,60	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
5,60	6,00	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
6,00	6,40	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
6,40	6,80	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
6,80	7,20	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
7,20	7,60	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
7,60	8,00	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
8,00	8,40	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
8,40	8,80	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
8,80	9,00	0,20	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
						Σ	0,0071
						s [m]	0,0086

Tabella 75: Confronto tra i cedimenti ottenuti con i due metodi

	BURLAND & BURBIDGE	SCHMERTMANN
s [cm] t = 0	2,16	0,56
s [cm] t = 50	2,35	0,86

Dato che i valori di cedimento ottenuti rappresentano i valori limite, i cedimenti reali saranno compresi tra questi.

Setto 5

Per il calcolo del sovraccarico distribuito si è ricorsi alla solita formula

$$N = \frac{P_{DIST}}{A_{PLINTO}}$$

Per calcolare il peso distribuito sono stati sommati i valori di carico concentrato al piede del setto e di peso proprio dello stesso, come calcolato in Tabella 76.

Tabella 76: Calcolo del carico al piede del pilastro

A_{PI} [m ²]	P_{PI} [kN/m ²]	A_{PT} [m ²]	P_{PT} [kN/m ²]	A_{P1} [m ²]	P_{P1} [kN/m ²]	A_{COP} [m ²]	P_{COP} [kN/m ²]	N_{ak} [kN]
25,05	7,35	77,35	7,35	78,2	7,35	79,82	1,33	1433

Tabella 77: Calcolo del peso proprio del setto e del carico totale

a [m]	b [m]	h [m]	N [kN]	N_{TOT} [kN]
14	1,2	0,8	336	1769

Metodo 1: Burland & Burbidge
Cedimenti istantanei

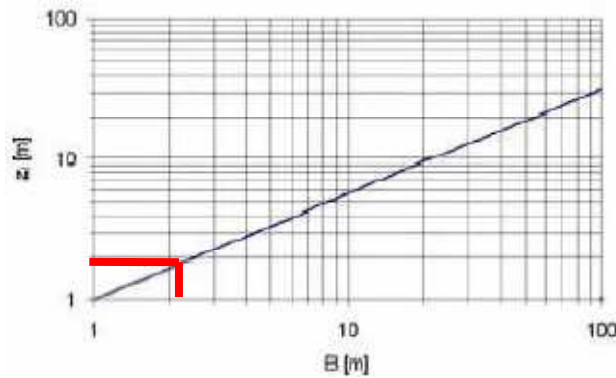


Figura 28: Grafico per la determinazione di z_i

Tabella 78: Calcolo dei cedimenti

z_i [m]	Δz [m]	N_{SPT}	\underline{N}	N_{corr}	IC	\check{s} [mm]
0,9	0,8	5	4,44	9,72	0,07	7,34
	4,3	7	33,44	24,22	0,02	2,04
	3,1	13	44,78	29,89	0,01	1,52

Tabella 79: Calcolo dei cedimenti totali

R3	R	t	f_s	s [mm]
0,3	0,2	47	1,50	16,33

Si è aggiunto un nuovo coefficiente correttivo, ossia il fattore di forma f_s , da applicare nel caso in cui la lunghezza della fondazione sia molto maggiore della larghezza.

$$f_s = \left(\frac{1,25 \frac{L}{B}}{\frac{L}{B} + 0,25} \right)^2$$

La risposta istantanea che ci si aspetta dal terreno a causa del sovraccarico offerto dalla nuova costruzione è un cedimento di circa 16 mm.

Cedimenti attesi tra 50 anni

I cedimenti calcolati su ogni strato sono gli stessi riportati in Tabella 105 per i cedimenti istantanei, ma il cedimento totale sarà semplicemente la somma dei cedimenti sugli strati, essendo i fattori correttivi tutti unitari.

Tabella 80: Calcolo dei cedimenti totali

R3	R	t	ft	fs	s [mm]
0,3	0,2	47	1,54	1,50	25,14

Al termine della vita utile della scuola elementare i cedimenti attesi sono di 23,5 mm circa.

Metodo 2: Schmertmann

Cedimenti istantanei

I_z è il coefficiente di influenza funzione della profondità z e per una fondazione nastriforme ha questo andamento:

$I_z = 0,2$ al piano di posa

$I_z = I_{z;MAX}$ ad una profondità B dal piano di posa

$I_z = 0$ ad una profondità di $4B$ dal piano di posa

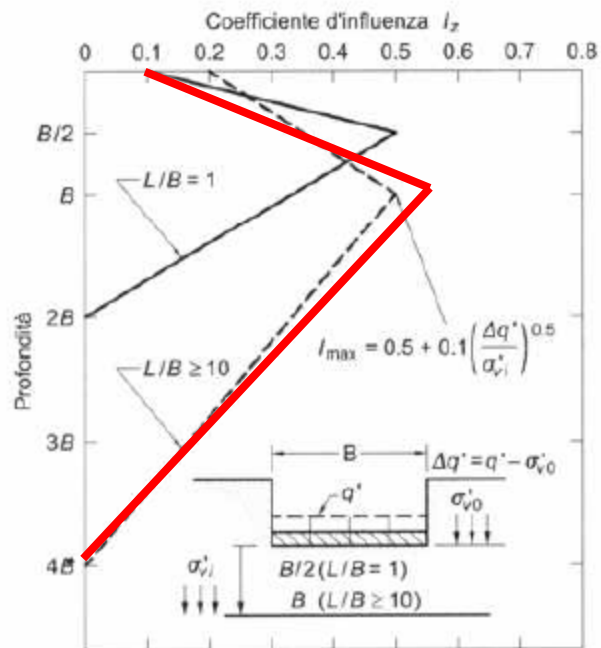


Figura 29: Grafico dell'andamento di I_z in funzione della profondità

Tabella 81: Dati

q [kN/m ²]	Hw [m]	γ_w [kN/m ³]	α_{TERR} [°]	cos α	B [m]	α_{CARICO} [°]	tan α	h_{FONDAZ} [m]
105	5	10	10	0,98	14	30	0,58	0,8

Tabella 82: Calcolo dei coefficienti correttivi

t	γ_{medio} [kN/m ³]	σ'_{v0} [kN/m ²]	Δq	σ'_{vi} [kN/m ²]	I_{zMAX}	C1
0	16,93	13,54	91,75	132,05	0,58	0,9262

Tabella 83: Calcolo dei cedimenti

z_i [m]	z_f [m]	Δz [m]	γ_{ter} [kN/m ³]	l_z	E [kN/m ²]	ϵ_z	$\epsilon_z * \Delta z_i$
0,80	1,20	0,40	16,91	0,10	3900	0,0024	0,0009
1,20	1,60	0,40	16,91	0,30	3900	0,0071	0,0028
1,60	2,00	0,40	16,94	0,58	5273	0,0102	0,0041
2,00	2,40	0,40	16,94	0,35	5273	0,0061	0,0024
2,40	2,80	0,40	16,94	0,40	5273	0,0070	0,0028
2,80	3,20	0,40	16,94	0,10	5273	0,0017	0,0007
3,20	3,60	0,40	16,94	0,20	5273	0,0035	0,0014
3,60	4,00	0,40	16,94	0,10	5273	0,0017	0,0007
4,00	4,40	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
4,40	4,80	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
4,80	5,20	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
5,20	5,60	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
5,60	6,00	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
6,00	6,40	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
6,40	6,80	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
6,80	7,20	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
7,20	7,60	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
7,60	8,00	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
8,00	8,40	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
8,40	9,00	0,60	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
						Σ	0,0158
						s [m]	0,0147

Cedimenti attesi tra 50 anni

Tabella 84: Calcolo dei coefficienti correttivi

t	γ_{medio} [kN/m ³]	σ'_{v0} [kN/m ²]	Δq	σ'_{vi} [kN/m ²]	l_{zMAX}	C1	C2
50	16,93	13,54	91,75	132,05	0,58	0,9262	1,54

Tabella 85: Calcolo dei cedimenti

zi [m]	zf [m]	Δz [m]	γ_{ter} [kN/m ³]	lz	E [kN/m ²]	ϵ_z	$\epsilon_z * \Delta z_i$
0,80	1,20	0,40	16,91	0,10	3900	0,0024	0,0009
1,20	1,60	0,40	16,91	0,30	3900	0,0071	0,0028
1,60	2,00	0,40	16,94	0,58	5273	0,0102	0,0041
2,00	2,40	0,40	16,94	0,35	5273	0,0061	0,0024
2,40	2,80	0,40	16,94	0,40	5273	0,0070	0,0028
2,80	3,20	0,40	16,94	0,10	5273	0,0017	0,0007
3,20	3,60	0,40	16,94	0,20	5273	0,0035	0,0014
3,60	4,00	0,40	16,94	0,10	5273	0,0017	0,0007
4,00	4,40	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
4,40	4,80	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
4,80	5,20	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
5,20	5,60	0,40	16,94	0,00	5273	0,0000	0,0000
5,60	6,00	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
6,00	6,40	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
6,40	6,80	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
6,80	7,20	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
7,20	7,60	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
7,60	8,00	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
8,00	8,40	0,40	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
8,40	9,00	0,60	16,93	0,00	10156	0,0000	0,0000
						Σ	0,0158
						s [m]	0,0226

Tabella 86: Confronto tra i cedimenti ottenuti con i due metodi

	BURLAND & BURBIDGE	SCHMERTMANN
s [cm] t = 0	1,63	1,47
s [cm] t = 50	2,51	2,26

Dal confronto tra i valori di cedimento ottenuti si possono determinare i valori dei cedimenti differenziali che la struttura dovrà sopportare.

Tabella 87: Cedimenti differenziali

	PILASTRO C2		SETTO 5	
	BURLAND & BURBIDGE	SCHMERTMANN	BURLAND & BURBIDGE	SCHMERTMANN
t = 0	2,16	0,56	1,63	1,47
t = 50	2,35	0,86	2,51	2,26

I cedimenti differenziali attesi si possono ipotizzare nell' ordine del centimetro.

7.4 Verifica allo sprofondamento delle fondazioni superficiali

La verifica allo sprofondamento va eseguita calcolando il carico massimo ammissibile dal terreno q_{LIM} e le forze verticali agenti; la verifica da svolgere è la seguente:

$$F_s = \frac{q_{LIM} \cdot B^*}{\sum FV} \geq 3$$

$$B^* = a - 2e$$

$$e = \frac{\sum M_0}{\sum V}$$

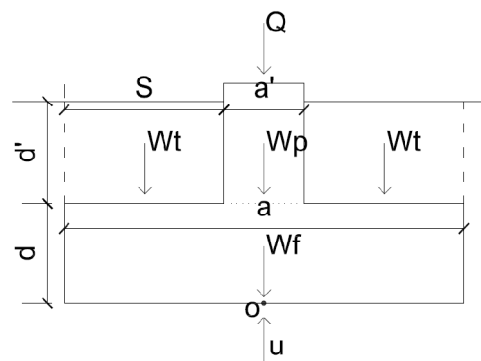


Figura 30: Modello per il calcolo dello sprofondamento del plinto

I valori da inserire nelle formule sopra sono quelli descritti sotto:

$$\sum V = Q + W_p + W_f + W_t - uB$$

$$\sum M_0 = W_t \left(\frac{a}{2} + \frac{s}{2} \right)$$

$$W_f = \gamma_{CLS} \cdot a \cdot d$$

$$W_p = \gamma_{CLS} \cdot a' \cdot d'$$

$$W_t = \gamma_{TER} \cdot a \cdot d'$$

$$u = \gamma_w \cdot (d + d') \cdot a$$

Per il calcolo di q_{lim} a breve termine si utilizza la formula di Prandtl, valida in condizioni non drenate; a lungo termine si utilizza il trinomio di Terzaghi, valido in condizioni drenate.

$$\begin{cases} B.T. & q_{lim} = N_q \cdot p + N_c \cdot Cu \\ L.T. & q_{lim} = \frac{1}{2} B^* \cdot \gamma' \cdot N_\gamma + c' \cdot N_c \cdot d_c + q \cdot N_q \cdot d_q \end{cases}$$

Il carico limite a breve termine presuppone di inserire i seguenti valori:

$$\phi' = 0$$

$$N_q = 1$$

$$N_c = 2 + \pi$$

Nella formula di Terzaghi il primo termine rappresenta il contributo dato dal peso proprio del terreno e dipende dalla dimensione della fondazione, il secondo termine è legato alla

coesione ed il terzo al sovraccarico applicato; i coefficienti N_i sono valori calcolati analiticamente con soluzioni in forma chiusa e che si trovano tabulati avendo noto il valore dell'angolo d' attrito; i valori d_i sono coefficienti che tengono conto della resistenza al taglio alla profondità considerata e sono considerati come sotto:

$$d_q = 1 + 2 \operatorname{tg} \varphi' (1 - \operatorname{sen} \varphi')^2 \frac{H}{B}$$

$$d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \operatorname{tg} \varphi'}$$

Caso 1: Plinto della palestra esistente.
Plinto sotto il pilastro centrato 35.

Tabella 88: Dati

a' [m]	a [m]	s [m]	d [m]	d' [m]	H [m]	N_{ak} [kN]	Y_{ter} [kN/m ³]	Y_{cls} [kN/m ³]	Y_w [kN/m ³]
0,7	4,33	1,82	0,6	0,6	1,2	157	17	25	10

Tabella 89: Calcolo di B*

W_f [kN]	W_p [kN]	W_t [kN]	v [kN]	ΣM_0	ΣV	e [m]	B* [m]
64,95	10,50	43,96	51,96	0,00	224	0,00	4,33

Dato che il plinto è simmetrico e caricato centralmente, B* coincide con B in quanto l' eccentricità è nulla poiché i pesi del terreno sono posti alla stessa distanza dal polo di rotazione O e quindi si elidono.

Tabella 90: Verifica allo sprofondamento a L.T.

ϕ [°]	$\tan \phi'$	N_v	N_c	N_q	c'	p	d_c	d_q	q_{lim} [kN]	$F_{s,sprof}$
29	0,54	5,37	9,07	5,94	0	20,30	1,33	1,27	350	6,76

Tabella 91: Verifica allo sprofondamento a B.T.

ϕ' [°]	N_v	N_c	N_q	Cu	q_{lim} [kN]	ΣV	$F_{s,sprof}$
0	-	5,14	1	66	358	276	5,62

Entrambi i carichi limite risultano sufficientemente alti da rendere un fattore di sicurezza allo sprofondamento maggiore di 3.

Plinto sotto il pilastro di bordo 43.

Tabella 92: Verifica allo sprofondamento a L.T.

ϕ [°]	$\tan \phi'$	N_v	N_c	N_q	c'	p	d_c	d_q	q_{lim} [kN]	$F_{s,sprof}$
29	0,54	5,37	9,07	5,94	0	16,92	1,33	1,27	325	6,71

Tabella 93: Verifica allo sprofondamento a B.T.

ϕ' [°]	N_v	N_c	N_q	Cu	q_{lim} [kN]	ΣV	$F_{s,sprof}$
0	-	5,14	1	66	355	253	6,08

Entrambi i carichi limite risultano sufficientemente alti da rendere un fattore di sicurezza allo sprofondamento maggiore di 3.

Caso 1: Plinto della scuola in progetto.
Plinto sotto il pilastro centrato C2.

Tabella 94: Dati

a' [m]	a [m]	s [m]	d [m]	d' [m]	H [m]	N _{ak} [kN]	Y _{ter} [kN/m ³]	Y _{cls} [kN/m ³]	Y _w [kN/m ³]
0,5	2,5	1	0,6	0,6	1,2	442	17	25	10

Tabella 94: Dati

W _f [kN]	W _p [kN]	W _t [kN]	v [kN]	Σ M ₀	Σ V	e [m]	B* [m]
37,5	7,50	25,38	30,00	0,00	482	0,00	2,50

Dato che il plinto è simmetrico e caricato centralmente, B* coincide con B in quanto l' eccentricità è nulla poiché i pesi del terreno sono posti alla stessa distanza dal polo di rotazione O e quindi si elidono.

Tabella 96: Verifica allo sprofondamento a L.T.

φ [°]	tan φ'	N _v	N _c	N _q	c'	p	d _c	d _q	q _{lim} [kN]	F _{s; sprof}
29	0,54	5,37	9,07	5,94	0	20,30	1,33	1,27	200	1,07

Tabella 97: Verifica allo sprofondamento a B.T.

φ' [°]	N _v	N _c	N _q	Cu	q _{lim} [kN]	Σ V	F _{s; sprof}
0	-	5,14	1	66	358	497	1,80

Entrambi i carichi limite non risultano sufficientemente alti da rendere un fattore di sicurezza allo sprofondamento maggiore di 3, per cui si rende necessaria una riprogettazione delle fondazioni.

Nelle tabelle seguenti sono riportate le dimensioni delle fondazioni tali da rendere verificato lo sprofondamento sotto il carico limite.

Tabella 94: Dati

a' [m]	a [m]	s [m]	d [m]	d' [m]	H [m]	N _{ak} [kN]	Y _{ter} [kN/m ³]	Y _{cls} [kN/m ³]	Y _w [kN/m ³]
0,5	5,3	2	0,8	0,8	1,6	427	17	25	10

Tabella 94: Dati

W_f [kN]	W_p [kN]	W_t [kN]	v [kN]	ΣM_0	ΣV	e [m]	B^* [m]
106	10,00	71,74	84,80	0,00	530	0,00	5,30

Tabella 96: Verifica allo sprofondamento a L.T.

ϕ [°]	$\tan \phi'$	N_γ	N_c	N_q	c'	p	d_c	d_q	q_{lim} [kN]	$F_{s;spof}$
29	0,54	5,37	9,07	5,94	0	27,07	1,33	1,27	303	3,03

Tabella 97: Verifica allo sprofondamento a B.T.

ϕ' [°]	N_γ	N_c	N_q	C_u	q_{lim} [kN]	ΣV	$F_{s;spof}$
0	-	5,14	1	66	365	615	3,15

Dai valori sopra riportati si può dedurre che una fondazione a platea potrebbe risultare sufficiente per la verifica allo sprofondamento della fondazione, senza dover ricorrere all'uso di palificazioni profonde.

Conclusioni

Dalle verifiche svolte sul sito in esame è emerso che ci potrebbe essere un problema di scivolamento degli strati più superficiali della conoide poiché a breve termine e negli strati più superficiali di terreno il fattore di sicurezza, sebbene maggiore di 1, risulta inferiore del valore limite fissato a 1,3. Al fine di precisare l'evoluzione del fattore di sicurezza in queste zone, sarebbero necessarie ulteriori verifiche che non si sono potute svolgere in questa sede in quanto non disponiamo di alcuni dati di partenza fondamentali quali la reale composizione del substrato, valutabile mediante carotaggi.

Al contempo si consiglia di anche di eseguire analisi di stabilità più sofisticate, ad esempio, mediante modello bidimensionale; se anche i risultati così ottenuti dovessero evidenziare fattori di sicurezza inferiori al limite di 1,3, sarebbe opportuno inserire dei sistemi di monitoraggio per il controllo delle pressioni neutre, mediante piezometri, e degli spostamenti, mediante inclinometri. Nel caso tali sistemi evidenziassero eccessivi incrementi di pressioni neutre o un progressivo accumulo di spostamenti, si consiglia di intervenire con opere di messa in sicurezza.

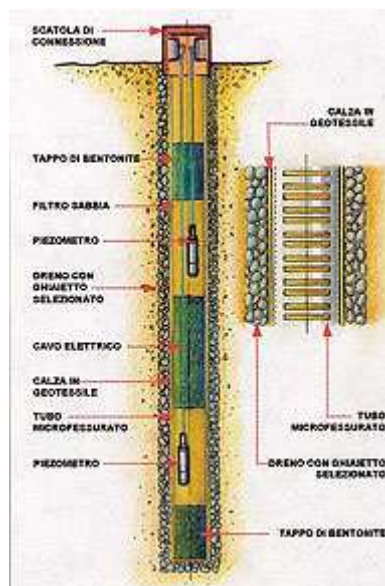


Figura 31: Schema di un piezometro per il controllo dell'oscillazione della falda acquifera

Sistemi di monitoraggio

Il piezometro è un dispositivo che consente di misurare le pressioni neutre in un punto assegnato, e, da queste, di monitorare anche le eventuali oscillazioni del livello di falda. Lo strumento è composto in un tubo verticale di piccolo diametro, sufficientemente grande da evitare il fenomeno della capillarità, collegato alla condotta nella quale si vuole effettuare la misura della quota piezometrica, come schematizzato in Figura 29.



Figura 32: Testa di un tubo piezometrico attrezzato con sensori di livello

L' inclinometro è uno strumento che consente la misurazione degli spostamenti di una massa di terreno. E' costituito da un tubo di gomma o plastica che viene inserito nel terreno, entro il quale vengono periodicamente inserite delle sonde per misurare lo scarto eventuale dall' inclinazione iniziale. A partire dalla misurazione periodica delle inclinazioni del tubo, è possibile risalire alla deformata, e, quindi agli eventuali spostamenti subiti. Lo schema di un inclinometro è visibile in Figura 31.

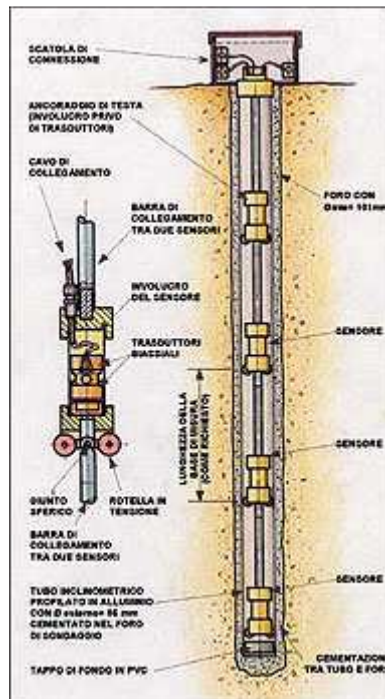


Figura 33: Schema di una sonda inclinometrica fissa biassiale per il controllo dei movimenti profondi



Figura 34: Testa di un tubo iclinometrico, attrezzato con sonde fisse

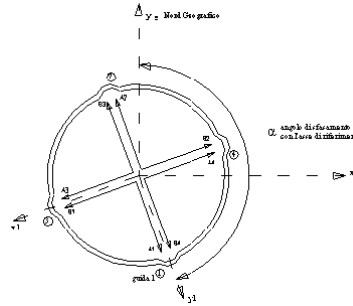


Figura 35: Sezione orizzontale di un tubo inclinometrico

Questi due dispositivi, una volta installati in sito, consentono un monitoraggio periodico delle due variabili da tenere sotto controllo, con una frequenza e per un lasso di tempo deciso dal progettista; in caso non si dovessero registrare né variazioni di falda né spostamenti dopo il periodo stabilito, il pendio può essere considerato stabile e quindi non sarà necessario intervenire.

Nel caso in cui i due parametri monitorati dovessero subire variazioni, si potrebbe intervenire da un lato andando ad abbattere le pressioni neutre, dall'altro lato con opere strutturali di sostegno. L'intervento da prediligere (per vantaggi sia di tipo economico che di limitato disturbo del sottosuolo) sarebbe l'abbattimento delle pressioni neutre mediante interventi idraulici come la realizzazione di trincee drenanti.

La trincea drenante consiste in uno scavo lungo la linea di massima pendenza in grado di smaltire acqua; esso riempito con materiali a grana grossa in grado di drenare l'acqua in eccesso e quindi abbassare la linea di falda. A valle delle trincee andrà disposto un collettore per lo smaltimento delle acque in eccesso. In Figura 34 è rappresentato lo schema di funzionamento.



Figura 36: Schema di funzionamento di trincee drenanti

Nel caso in cui nemmeno questo intervento risultasse sufficiente, sarà necessario effettuare interventi strutturali di sostegno del terreno a monte degli edifici quali ad esempio palificate, che garantiscono un significativo effetto stabilizzante, risultando peraltro, completamente invisibili in quanto interrate.

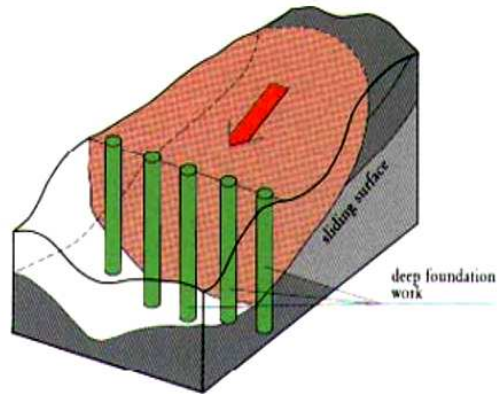


Figura 37: Schema concettuale di una palificata

Per quanto riguarda i cedimenti non si sono presentati problemi, in quanto tutti i valori calcolati sia per i cedimenti assoluti che per quelli differenziali risultano inferiori di quelli ammissibili. In ultima analisi, le fondazioni della palestra esistente si sono dimostrate capaci di rispondere correttamente alle forze agenti, mentre le fondazioni a plinto progettate per la scuola elementare di nuova costruzione non sono risultate idonee e quindi si è provveduto alla conversione della fondazione puntiforme a plinti in una fondazione a graticcio di travi.

Appendice al Capitolo 7 – Analisi Geotecniche

Nella presente Appendice vengono riportate le tabelle con i calcoli relativi al fattore di sicurezza allo scivolamento del terreno.

Caso 1: Carico nullo.

Tabella 98: $H_w = 0$; L.T.

z [m]	γ_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	$\tan \phi'$	T_{LIM} [kN/m]	$F_s; sciv$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,92	0,51	0,00	
0,40	16,91	6,76	3,88	3,94	2,72	1,17	26,92	0,51	1,38	1,18
0,80	16,91	13,53	7,76	7,88	5,44	2,35	26,92	0,51	2,76	1,18
1,20	16,91	20,29	11,64	11,82	8,17	3,52	26,92	0,51	4,15	1,18
1,60	16,94	27,07	15,52	15,76	10,90	4,70	28,57	0,54	5,93	1,26
2,00	16,94	33,84	19,40	19,70	13,63	5,88	28,57	0,54	7,42	1,26
2,40	16,94	40,62	23,28	23,64	16,37	7,05	28,57	0,54	8,91	1,26
2,80	16,94	47,40	27,16	27,57	19,10	8,23	28,57	0,54	10,40	1,26
3,20	16,94	54,17	31,04	31,51	21,84	9,41	28,57	0,54	11,89	1,26
3,60	16,94	60,95	34,91	35,45	24,57	10,58	28,57	0,54	13,38	1,26
4,00	16,94	67,72	38,79	39,39	27,30	11,76	28,57	0,54	14,86	1,26
4,40	16,94	74,50	42,67	43,33	30,04	12,94	28,57	0,54	16,35	1,26
4,80	16,94	81,28	46,55	47,27	32,77	14,11	28,57	0,54	17,84	1,26
5,20	16,94	88,05	50,43	51,21	35,50	15,29	28,57	0,54	19,33	1,26
5,60	16,94	94,83	54,31	55,15	38,24	16,47	28,57	0,54	20,82	1,26
6,00	16,93	101,60	58,19	59,09	40,97	17,64	30,66	0,59	24,29	1,38
6,40	16,93	108,37	62,07	63,03	43,70	18,82	30,66	0,59	25,90	1,38
6,80	16,93	115,14	65,95	66,97	46,43	19,99	30,66	0,59	27,52	1,38
7,20	16,93	121,92	69,83	70,91	49,16	21,17	30,66	0,59	29,14	1,38
7,60	16,93	128,69	73,71	74,85	51,89	22,35	30,66	0,59	30,76	1,38
8,00	16,93	135,46	77,59	78,78	54,62	23,52	30,66	0,59	32,38	1,38
8,40	16,93	142,23	81,47	82,72	57,35	24,70	30,66	0,59	33,99	1,38
8,80	16,93	149,00	85,35	86,66	60,08	25,87	30,66	0,59	35,61	1,38
9,00	16,93	152,39	87,29	88,63	61,44	26,46	30,66	0,59	36,42	1,38

Tabella 99: $H_w = 0$ m; B.T.

z [m]	σ_v [kN/m ²]	σ'_v [kN/m ²]	OCR	m	IP	Cu [kN/m ²]	T_{LIM} [kN/m]	$F_{s,sciv}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	
0,40	6,76	2,88	1	0,5	15	4,87	4,94	4,21
0,80	13,53	5,77	1	0,5	15	9,73	9,88	4,21
1,20	20,29	8,65	1	0,5	15	14,60	14,82	4,21
1,60	27,07	11,55	1	0,5	15	19,49	19,79	4,21
2,00	33,84	14,45	1	0,5	15	24,37	24,75	4,21
2,40	40,62	17,34	1	0,5	15	29,26	29,71	4,21
2,80	47,40	20,24	1	0,5	15	34,15	34,67	4,21
3,20	54,17	23,14	1	0,5	15	39,03	39,63	4,21
3,60	60,95	26,03	1	0,5	15	43,92	44,60	4,21
4,00	67,72	28,93	1	0,5	15	48,81	49,56	4,21
4,40	74,50	31,83	1	0,5	15	53,69	54,52	4,21
4,80	81,28	34,72	1	0,5	15	58,58	59,48	4,21
5,20	88,05	37,62	1	0,5	15	63,46	64,44	4,21
5,60	94,83	40,52	1	0,5	15	68,35	69,41	4,21
6,00	101,60	43,41	1	0,5	15	73,23	74,36	4,21
6,40	108,37	46,30	1	0,5	15	78,11	79,32	4,21
6,80	115,14	49,19	1	0,5	15	82,99	84,27	4,21
7,20	121,92	52,09	1	0,5	15	87,87	89,23	4,21
7,60	128,69	54,98	1	0,5	15	92,75	94,18	4,21
8,00	135,46	57,87	1	0,5	15	97,63	99,14	4,21
8,40	142,23	60,76	1	0,5	15	102,51	104,09	4,21
8,80	149,00	63,66	1	0,5	15	107,39	109,05	4,21
9,00	152,39	65,10	1	0,5	15	109,83	111,52	4,21

Tabella 100: $H_w = 1 \text{ m}$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{\text{LIM};L.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,92	0,51	0,00	
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	6,66	1,17	26,92	0,51	3,38	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	13,32	2,35	26,92	0,51	6,77	2,88
1,20	16,91	20,29	1,94	1,97	18,01	3,52	26,92	0,51	9,15	2,60
1,60	16,94	27,10	5,82	5,91	20,78	4,71	28,57	0,54	11,32	2,40
2,00	16,94	33,88	9,70	9,85	23,52	5,88	28,57	0,54	12,80	2,18
2,40	16,94	40,66	13,58	13,79	26,25	7,06	28,57	0,54	14,29	2,02
2,80	16,94	47,43	17,46	17,73	28,98	8,24	28,57	0,54	15,78	1,92
3,20	16,94	54,21	21,34	21,67	31,72	9,41	28,57	0,54	17,27	1,83
3,60	16,94	60,98	25,22	25,61	34,45	10,59	28,57	0,54	18,76	1,77
4,00	16,94	67,76	29,10	29,54	37,19	11,77	28,57	0,54	20,25	1,72
4,40	16,94	74,54	32,97	33,48	39,92	12,94	28,57	0,54	21,73	1,68
4,80	16,94	81,31	36,85	37,42	42,65	14,12	28,57	0,54	23,22	1,64
5,20	16,94	88,09	40,73	41,36	45,39	15,30	28,57	0,54	24,71	1,62
5,60	16,94	94,86	44,61	45,30	48,12	16,47	28,57	0,54	26,20	1,59
6,00	16,93	101,58	48,49	49,24	50,80	17,64	30,66	0,59	30,11	1,71
6,40	16,93	108,35	52,37	53,18	53,53	18,82	30,66	0,59	31,73	1,69
6,80	16,93	115,12	56,25	57,12	56,26	19,99	30,66	0,59	33,35	1,67
7,20	16,93	121,90	60,13	61,06	58,99	21,17	30,66	0,59	34,97	1,65
7,60	16,93	128,67	64,01	65,00	61,72	22,34	30,66	0,59	36,58	1,64
8,00	16,93	135,44	67,89	68,94	64,45	23,52	30,66	0,59	38,20	1,62
8,40	16,93	142,21	71,77	72,88	67,18	24,69	30,66	0,59	39,82	1,61
8,80	16,93	148,98	75,65	76,82	69,91	25,87	30,66	0,59	41,44	1,60
9,00	16,93	152,37	77,59	78,78	71,27	26,46	30,66	0,59	42,25	1,60

Tabella 101: $H_w = 1$ m; B.T.

z [m]	σ_v [KN/m ²]	σ'_v [KN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	4,21
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	4,21
1,20	20,29	18,35	1	0,5	15	14,60	14,82	4,21
1,60	27,10	21,28	1	0,5	15	19,49	19,79	4,20
2,00	33,88	24,18	1	0,5	15	24,37	24,75	4,21
2,40	40,66	27,08	1	0,5	15	29,26	29,71	4,21
2,80	47,43	29,97	1	0,5	15	34,15	34,67	4,21
3,20	54,21	32,87	1	0,5	15	39,03	39,63	4,21
3,60	60,98	35,77	1	0,5	15	43,92	44,60	4,21
4,00	67,76	38,66	1	0,5	15	48,81	49,56	4,21
4,40	74,54	41,56	1	0,5	15	53,69	54,52	4,21
4,80	81,31	44,46	1	0,5	15	58,58	59,48	4,21
5,20	88,09	47,35	1	0,5	15	63,46	64,44	4,21
5,60	94,86	50,25	1	0,5	15	68,35	69,41	4,21
6,00	101,58	53,09	1	0,5	15	73,23	74,36	4,22
6,40	108,35	55,98	1	0,5	15	78,11	79,32	4,22
6,80	115,12	58,87	1	0,5	15	82,99	84,27	4,22
7,20	121,90	61,77	1	0,5	15	87,87	89,23	4,22
7,60	128,67	64,66	1	0,5	15	92,75	94,18	4,22
8,00	135,44	67,55	1	0,5	15	97,63	99,14	4,22
8,40	142,21	70,44	1	0,5	15	102,51	104,09	4,22
8,80	148,98	73,34	1	0,5	15	107,39	109,05	4,22
9,00	152,37	74,78	1	0,5	15	109,83	111,52	4,22

Tabella 102: $H_w = 2 \text{ m}$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{\text{LIM};\text{L.T.}}$ [kN/m]	$F_{s;\text{sciv};\text{L.T.}}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,92	0,51	0,00	
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	6,66	1,17	26,92	0,51	3,38	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	13,32	2,35	26,92	0,51	6,77	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	19,98	3,52	26,92	0,51	10,15	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	26,69	4,71	28,57	0,54	14,53	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	33,37	5,88	28,57	0,54	18,17	3,09
2,40	16,94	40,66	3,88	3,94	36,10	7,06	28,57	0,54	19,65	2,78
2,80	16,94	47,43	7,76	7,88	38,83	8,24	28,57	0,54	21,14	2,57
3,20	16,94	54,21	11,64	11,82	41,57	9,41	28,57	0,54	22,63	2,40
3,60	16,94	60,98	15,52	15,76	44,30	10,59	28,57	0,54	24,12	2,28
4,00	16,94	67,76	19,40	19,70	47,03	11,77	28,57	0,54	25,61	2,18
4,40	16,94	74,54	23,28	23,64	49,77	12,94	28,57	0,54	27,10	2,09
4,80	16,94	81,31	27,16	27,57	52,50	14,12	28,57	0,54	28,58	2,02
5,20	16,94	88,09	31,04	31,51	55,24	15,30	28,57	0,54	30,07	1,97
5,60	16,94	94,86	34,91	35,45	57,97	16,47	28,57	0,54	31,56	1,92
6,00	16,93	101,58	38,79	39,39	60,64	17,64	30,66	0,59	35,95	2,04
6,40	16,93	108,35	42,67	43,33	63,37	18,82	30,66	0,59	37,57	2,00
6,80	16,93	115,12	46,55	47,27	66,10	19,99	30,66	0,59	39,19	1,96
7,20	16,93	121,90	50,43	51,21	68,83	21,17	30,66	0,59	40,80	1,93
7,60	16,93	128,67	54,31	55,15	71,56	22,34	30,66	0,59	42,42	1,90
8,00	16,93	135,44	58,19	59,09	74,29	23,52	30,66	0,59	44,04	1,87
8,40	16,93	142,21	62,07	63,03	77,02	24,69	30,66	0,59	45,66	1,85
8,80	16,93	148,98	65,95	66,97	79,75	25,87	30,66	0,59	47,28	1,83
9,00	16,93	152,37	67,89	68,94	81,12	26,46	30,66	0,59	48,09	1,82

Tabella 103: $H_w = 2 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [KN/m ²]	σ'_v [KN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	4,21
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	4,21
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	4,21
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	4,20
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	4,21
2,40	40,66	36,78	1	0,5	15	29,26	29,71	4,21
2,80	47,43	39,67	1	0,5	15	34,15	34,67	4,21
3,20	54,21	42,57	1	0,5	15	39,03	39,63	4,21
3,60	60,98	45,47	1	0,5	15	43,92	44,60	4,21
4,00	67,76	48,36	1	0,5	15	48,81	49,56	4,21
4,40	74,54	51,26	1	0,5	15	53,69	54,52	4,21
4,80	81,31	54,16	1	0,5	15	58,58	59,48	4,21
5,20	88,09	57,05	1	0,5	15	63,46	64,44	4,21
5,60	94,86	59,95	1	0,5	15	68,35	69,41	4,21
6,00	101,58	62,79	1	0,5	15	73,23	74,36	4,22
6,40	108,35	65,68	1	0,5	15	78,11	79,32	4,22
6,80	115,12	68,57	1	0,5	15	82,99	84,27	4,22
7,20	121,90	71,46	1	0,5	15	87,87	89,23	4,22
7,60	128,67	74,36	1	0,5	15	92,75	94,18	4,22
8,00	135,44	77,25	1	0,5	15	97,63	99,14	4,22
8,40	142,21	80,14	1	0,5	15	102,51	104,09	4,22
8,80	148,98	83,03	1	0,5	15	107,39	109,05	4,22
9,00	152,37	84,48	1	0,5	15	109,83	111,52	4,22

Tabella 104: $H_w = 3 \text{ m}$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{\text{LIM};\text{L.T.}}$ [kN/m]	$F_{s;\text{sciv};\text{L.T.}}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,92	0,51	0,00	
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	6,66	1,17	26,92	0,51	3,38	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	13,32	2,35	26,92	0,51	6,77	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	19,98	3,52	26,92	0,51	10,15	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	26,69	4,71	28,57	0,54	14,53	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	33,37	5,88	28,57	0,54	18,17	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	40,04	7,06	28,57	0,54	21,80	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	46,71	8,24	28,57	0,54	25,43	3,09
3,20	16,94	54,21	1,94	1,97	51,41	9,41	28,57	0,54	27,99	2,97
3,60	16,94	60,98	5,82	5,91	54,15	10,59	28,57	0,54	29,48	2,78
4,00	16,94	67,76	9,70	9,85	56,88	11,77	28,57	0,54	30,97	2,63
4,40	16,94	74,54	13,58	13,79	59,62	12,94	28,57	0,54	32,46	2,51
4,80	16,94	81,31	17,46	17,73	62,35	14,12	28,57	0,54	33,95	2,40
5,20	16,94	88,09	21,34	21,67	65,08	15,30	28,57	0,54	35,43	2,32
5,60	16,94	94,86	25,22	25,61	67,82	16,47	28,57	0,54	36,92	2,24
6,00	16,93	101,58	29,10	29,54	70,49	17,64	30,66	0,59	41,79	2,37
6,40	16,93	108,35	32,97	33,48	73,22	18,82	30,66	0,59	43,41	2,31
6,80	16,93	115,12	36,85	37,42	75,95	19,99	30,66	0,59	45,02	2,25
7,20	16,93	121,90	40,73	41,36	78,68	21,17	30,66	0,59	46,64	2,20
7,60	16,93	128,67	44,61	45,30	81,41	22,34	30,66	0,59	48,26	2,16
8,00	16,93	135,44	48,49	49,24	84,14	23,52	30,66	0,59	49,88	2,12
8,40	16,93	142,21	52,37	53,18	86,87	24,69	30,66	0,59	51,50	2,09
8,80	16,93	148,98	56,25	57,12	89,60	25,87	30,66	0,59	53,11	2,05
9,00	16,93	152,37	58,19	59,09	90,97	26,46	30,66	0,59	53,92	2,04

Tabella 105: $H_w = 3 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [KN/m ²]	σ'_v [KN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	4,21
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	4,21
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	4,21
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	4,20
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	4,21
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	4,21
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	4,21
3,20	54,21	52,27	1	0,5	15	39,03	39,63	4,21
3,60	60,98	55,16	1	0,5	15	43,92	44,60	4,21
4,00	67,76	58,06	1	0,5	15	48,81	49,56	4,21
4,40	74,54	60,96	1	0,5	15	53,69	54,52	4,21
4,80	81,31	63,85	1	0,5	15	58,58	59,48	4,21
5,20	88,09	66,75	1	0,5	15	63,46	64,44	4,21
5,60	94,86	69,65	1	0,5	15	68,35	69,41	4,21
6,00	101,58	72,48	1	0,5	15	73,23	74,36	4,22
6,40	108,35	75,38	1	0,5	15	78,11	79,32	4,22
6,80	115,12	78,27	1	0,5	15	82,99	84,27	4,22
7,20	121,90	81,16	1	0,5	15	87,87	89,23	4,22
7,60	128,67	84,06	1	0,5	15	92,75	94,18	4,22
8,00	135,44	86,95	1	0,5	15	97,63	99,14	4,22
8,40	142,21	89,84	1	0,5	15	102,51	104,09	4,22
8,80	148,98	92,73	1	0,5	15	107,39	109,05	4,22
9,00	152,37	94,18	1	0,5	15	109,83	111,52	4,22

Tabella 106: $H_w = 4 \text{ m}$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	$\tan \phi'$	$T_{\text{LIM};\text{L.T.}}$ [kN/m]	$F_{s;\text{sciv};\text{L.T.}}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,92	0,51	0,00	
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	6,66	1,17	26,92	0,51	3,38	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	13,32	2,35	26,92	0,51	6,77	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	19,98	3,52	26,92	0,51	10,15	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	26,69	4,71	28,57	0,54	14,53	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	33,37	5,88	28,57	0,54	18,17	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	40,04	7,06	28,57	0,54	21,80	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	46,71	8,24	28,57	0,54	25,43	3,09
3,20	16,94	54,21	0,00	0,00	53,38	9,41	28,57	0,54	29,07	3,09
3,60	16,94	60,98	0,00	0,00	60,06	10,59	28,57	0,54	32,70	3,09
4,00	16,94	67,76	0,00	0,00	66,73	11,77	28,57	0,54	36,33	3,09
4,40	16,94	74,54	3,88	3,94	69,46	12,94	28,57	0,54	37,82	2,92
4,80	16,94	81,31	7,76	7,88	72,20	14,12	28,57	0,54	39,31	2,78
5,20	16,94	88,09	11,64	11,82	74,93	15,30	28,57	0,54	40,80	2,67
5,60	16,94	94,86	15,52	15,76	77,67	16,47	28,57	0,54	42,29	2,57
6,00	16,93	101,58	19,40	19,70	80,34	17,64	30,66	0,59	47,63	2,70
6,40	16,93	108,35	23,28	23,64	83,07	18,82	30,66	0,59	49,24	2,62
6,80	16,93	115,12	27,16	27,57	85,80	19,99	30,66	0,59	50,86	2,54
7,20	16,93	121,90	31,04	31,51	88,53	21,17	30,66	0,59	52,48	2,48
7,60	16,93	128,67	34,91	35,45	91,26	22,34	30,66	0,59	54,10	2,42
8,00	16,93	135,44	38,79	39,39	93,99	23,52	30,66	0,59	55,72	2,37
8,40	16,93	142,21	42,67	43,33	96,72	24,69	30,66	0,59	57,33	2,32
8,80	16,93	148,98	46,55	47,27	99,45	25,87	30,66	0,59	58,95	2,28
9,00	16,93	152,37	48,49	49,24	100,81	26,46	30,66	0,59	59,76	2,26

Tabella 107: $H_w = 4 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [KN/m ²]	σ'_v [KN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{S;Sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	4,21
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	4,21
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	4,21
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	4,20
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	4,21
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	4,21
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	4,21
3,20	54,21	54,21	1	0,5	15	39,03	39,63	4,21
3,60	60,98	60,98	1	0,5	15	43,92	44,60	4,21
4,00	67,76	67,76	1	0,5	15	48,81	49,56	4,21
4,40	74,54	70,66	1	0,5	15	53,69	54,52	4,21
4,80	81,31	73,55	1	0,5	15	58,58	59,48	4,21
5,20	88,09	76,45	1	0,5	15	63,46	64,44	4,21
5,60	94,86	79,35	1	0,5	15	68,35	69,41	4,21
6,00	101,58	82,18	1	0,5	15	73,23	74,36	4,22
6,40	108,35	85,08	1	0,5	15	78,11	79,32	4,22
6,80	115,12	87,97	1	0,5	15	82,99	84,27	4,22
7,20	121,90	90,86	1	0,5	15	87,87	89,23	4,22
7,60	128,67	93,75	1	0,5	15	92,75	94,18	4,22
8,00	135,44	96,65	1	0,5	15	97,63	99,14	4,22
8,40	142,21	99,54	1	0,5	15	102,51	104,09	4,22
8,80	148,98	102,43	1	0,5	15	107,39	109,05	4,22
9,00	152,37	103,88	1	0,5	15	109,83	111,52	4,22

Tabella 108: $H_w = 5 \text{ m}$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{\text{LIM};\text{L.T.}}$ [kN/m]	$F_{s;\text{sciv};\text{L.T.}}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,92	0,51	0,00	
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	6,66	1,17	26,92	0,51	3,38	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	13,32	2,35	26,92	0,51	6,77	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	19,98	3,52	26,92	0,51	10,15	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	26,69	4,71	28,57	0,54	14,53	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	33,37	5,88	28,57	0,54	18,17	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	40,04	7,06	28,57	0,54	21,80	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	46,71	8,24	28,57	0,54	25,43	3,09
3,20	16,94	54,21	0,00	0,00	53,38	9,41	28,57	0,54	29,07	3,09
3,60	16,94	60,98	0,00	0,00	60,06	10,59	28,57	0,54	32,70	3,09
4,00	16,94	67,76	0,00	0,00	66,73	11,77	28,57	0,54	36,33	3,09
4,40	16,94	74,54	0,00	0,00	73,40	12,94	28,57	0,54	39,96	3,09
4,80	16,94	81,31	0,00	0,00	80,08	14,12	28,57	0,54	43,60	3,09
5,20	16,94	88,09	1,94	1,97	84,78	15,30	28,57	0,54	46,16	3,02
5,60	16,94	94,86	5,82	5,91	87,51	16,47	28,57	0,54	47,65	2,89
6,00	16,93	101,58	9,70	9,85	90,19	17,64	30,66	0,59	53,46	3,03
6,40	16,93	108,35	13,58	13,79	92,92	18,82	30,66	0,59	55,08	2,93
6,80	16,93	115,12	17,46	17,73	95,65	19,99	30,66	0,59	56,70	2,84
7,20	16,93	121,90	21,34	21,67	98,38	21,17	30,66	0,59	58,32	2,76
7,60	16,93	128,67	25,22	25,61	101,11	22,34	30,66	0,59	59,94	2,68
8,00	16,93	135,44	29,10	29,54	103,84	23,52	30,66	0,59	61,55	2,62
8,40	16,93	142,21	32,97	33,48	106,57	24,69	30,66	0,59	63,17	2,56
8,80	16,93	148,98	36,85	37,42	109,30	25,87	30,66	0,59	64,79	2,50
9,00	16,93	152,37	38,79	39,39	110,66	26,46	30,66	0,59	65,60	2,48

Tabella 109: $H_w = 5 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [KN/m ²]	σ'_v [KN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{S;Sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	4,21
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	4,21
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	4,21
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	4,20
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	4,21
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	4,21
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	4,21
3,20	54,21	54,21	1	0,5	15	39,03	39,63	4,21
3,60	60,98	60,98	1	0,5	15	43,92	44,60	4,21
4,00	67,76	67,76	1	0,5	15	48,81	49,56	4,21
4,40	74,54	74,54	1	0,5	15	53,69	54,52	4,21
4,80	81,31	81,31	1	0,5	15	58,58	59,48	4,21
5,20	88,09	86,15	1	0,5	15	63,46	64,44	4,21
5,60	94,86	89,04	1	0,5	15	68,35	69,41	4,21
6,00	101,58	91,88	1	0,5	15	73,23	74,36	4,22
6,40	108,35	94,77	1	0,5	15	78,11	79,32	4,22
6,80	115,12	97,67	1	0,5	15	82,99	84,27	4,22
7,20	121,90	100,56	1	0,5	15	87,87	89,23	4,22
7,60	128,67	103,45	1	0,5	15	92,75	94,18	4,22
8,00	135,44	106,34	1	0,5	15	97,63	99,14	4,22
8,40	142,21	109,24	1	0,5	15	102,51	104,09	4,22
8,80	148,98	112,13	1	0,5	15	107,39	109,05	4,22
9,00	152,37	113,58	1	0,5	15	109,83	111,52	4,22

Tabella 110: $H_w = 6 \text{ m}$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	$\tan \phi'$	$T_{\text{LIM};L.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,92	0,51	0,00	
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	6,66	1,17	26,92	0,51	3,38	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	13,32	2,35	26,92	0,51	6,77	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	19,98	3,52	26,92	0,51	10,15	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	26,69	4,71	28,57	0,54	14,53	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	33,37	5,88	28,57	0,54	18,17	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	40,04	7,06	28,57	0,54	21,80	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	46,71	8,24	28,57	0,54	25,43	3,09
3,20	16,94	54,21	0,00	0,00	53,38	9,41	28,57	0,54	29,07	3,09
3,60	16,94	60,98	0,00	0,00	60,06	10,59	28,57	0,54	32,70	3,09
4,00	16,94	67,76	0,00	0,00	66,73	11,77	28,57	0,54	36,33	3,09
4,40	16,94	74,54	0,00	0,00	73,40	12,94	28,57	0,54	39,96	3,09
4,80	16,94	81,31	0,00	0,00	80,08	14,12	28,57	0,54	43,60	3,09
5,20	16,94	88,09	0,00	0,00	86,75	15,30	28,57	0,54	47,23	3,09
5,60	16,94	94,86	0,00	0,00	93,42	16,47	28,57	0,54	50,86	3,09
6,00	16,93	101,58	0,00	0,00	100,04	17,64	30,66	0,59	59,30	3,36
6,40	16,93	108,35	3,88	3,94	102,77	18,82	30,66	0,59	60,92	3,24
6,80	16,93	115,12	7,76	7,88	105,50	19,99	30,66	0,59	62,54	3,13
7,20	16,93	121,90	11,64	11,82	108,23	21,17	30,66	0,59	64,16	3,03
7,60	16,93	128,67	15,52	15,76	110,96	22,34	30,66	0,59	65,77	2,94
8,00	16,93	135,44	19,40	19,70	113,69	23,52	30,66	0,59	67,39	2,87
8,40	16,93	142,21	23,28	23,64	116,42	24,69	30,66	0,59	69,01	2,79
8,80	16,93	148,98	27,16	27,57	119,15	25,87	30,66	0,59	70,63	2,73
9,00	16,93	152,37	29,10	29,54	120,51	26,46	30,66	0,59	71,44	2,70

Tabella 111: $H_w = 6 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [kN/m ²]	σ'_v [kN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	4,21
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	4,21
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	4,21
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	4,20
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	4,21
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	4,21
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	4,21
3,20	54,21	54,21	1	0,5	15	39,03	39,63	4,21
3,60	60,98	60,98	1	0,5	15	43,92	44,60	4,21
4,00	67,76	67,76	1	0,5	15	48,81	49,56	4,21
4,40	74,54	74,54	1	0,5	15	53,69	54,52	4,21
4,80	81,31	81,31	1	0,5	15	58,58	59,48	4,21
5,20	88,09	88,09	1	0,5	15	63,46	64,44	4,21
5,60	94,86	94,86	1	0,5	15	68,35	69,41	4,21
6,00	101,58	101,58	1	0,5	15	73,23	74,36	4,22
6,40	108,35	104,47	1	0,5	15	78,11	79,32	4,22
6,80	115,12	107,37	1	0,5	15	82,99	84,27	4,22
7,20	121,90	110,26	1	0,5	15	87,87	89,23	4,22
7,60	128,67	113,15	1	0,5	15	92,75	94,18	4,22
8,00	135,44	116,04	1	0,5	15	97,63	99,14	4,22
8,40	142,21	118,94	1	0,5	15	102,51	104,09	4,22
8,80	148,98	121,83	1	0,5	15	107,39	109,05	4,22
9,00	152,37	123,27	1	0,5	15	109,83	111,52	4,22

Tabella 112: Hw 7 m; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{LIM;L.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,92	0,51	0,00	
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	6,66	1,17	26,92	0,51	3,38	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	13,32	2,35	26,92	0,51	6,77	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	19,98	3,52	26,92	0,51	10,15	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	26,69	4,71	28,57	0,54	14,53	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	33,37	5,88	28,57	0,54	18,17	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	40,04	7,06	28,57	0,54	21,80	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	46,71	8,24	28,57	0,54	25,43	3,09
3,20	16,94	54,21	0,00	0,00	53,38	9,41	28,57	0,54	29,07	3,09
3,60	16,94	60,98	0,00	0,00	60,06	10,59	28,57	0,54	32,70	3,09
4,00	16,94	67,76	0,00	0,00	66,73	11,77	28,57	0,54	36,33	3,09
4,40	16,94	74,54	0,00	0,00	73,40	12,94	28,57	0,54	39,96	3,09
4,80	16,94	81,31	0,00	0,00	80,08	14,12	28,57	0,54	43,60	3,09
5,20	16,94	88,09	0,00	0,00	86,75	15,30	28,57	0,54	47,23	3,09
5,60	16,94	94,86	0,00	0,00	93,42	16,47	28,57	0,54	50,86	3,09
6,00	16,93	101,58	0,00	0,00	100,04	17,64	30,66	0,59	59,30	3,36
6,40	16,93	108,35	0,00	0,00	106,71	18,82	30,66	0,59	63,25	3,36
6,80	16,93	115,12	0,00	0,00	113,38	19,99	30,66	0,59	67,21	3,36
7,20	16,93	121,90	1,94	1,97	118,07	21,17	30,66	0,59	69,99	3,31
7,60	16,93	128,67	5,82	5,91	120,80	22,34	30,66	0,59	71,61	3,21
8,00	16,93	135,44	9,70	9,85	123,53	23,52	30,66	0,59	73,23	3,11
8,40	16,93	142,21	13,58	13,79	126,26	24,69	30,66	0,59	74,85	3,03
8,80	16,93	148,98	17,46	17,73	128,99	25,87	30,66	0,59	76,47	2,96
9,00	16,93	152,37	19,40	19,70	130,36	26,46	30,66	0,59	77,28	2,92

Tabella 113: $H_w = 7 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [KN/m ²]	σ'_v [KN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	4,21
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	4,21
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	4,21
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	4,20
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	4,21
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	4,21
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	4,21
3,20	54,21	54,21	1	0,5	15	39,03	39,63	4,21
3,60	60,98	60,98	1	0,5	15	43,92	44,60	4,21
4,00	67,76	67,76	1	0,5	15	48,81	49,56	4,21
4,40	74,54	74,54	1	0,5	15	53,69	54,52	4,21
4,80	81,31	81,31	1	0,5	15	58,58	59,48	4,21
5,20	88,09	88,09	1	0,5	15	63,46	64,44	4,21
5,60	94,86	94,86	1	0,5	15	68,35	69,41	4,21
6,00	101,58	101,58	1	0,5	15	73,23	74,36	4,22
6,40	108,35	108,35	1	0,5	15	78,11	79,32	4,22
6,80	115,12	115,12	1	0,5	15	82,99	84,27	4,22
7,20	121,90	119,96	1	0,5	15	87,87	89,23	4,22
7,60	128,67	122,85	1	0,5	15	92,75	94,18	4,22
8,00	135,44	125,74	1	0,5	15	97,63	99,14	4,22
8,40	142,21	128,63	1	0,5	15	102,51	104,09	4,22
8,80	148,98	131,53	1	0,5	15	107,39	109,05	4,22
9,00	152,37	132,97	1	0,5	15	109,83	111,52	4,22

Tabella 114: $H_w = 8 \text{ m}$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{\text{LIM};\text{L.T.}}$ [kN/m]	$F_{\text{S};\text{S};\text{CIV};\text{L.T.}}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,92	0,51	0,00	
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	6,66	1,17	26,92	0,51	3,38	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	13,32	2,35	26,92	0,51	6,77	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	19,98	3,52	26,92	0,51	10,15	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	26,69	4,71	28,57	0,54	14,53	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	33,37	5,88	28,57	0,54	18,17	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	40,04	7,06	28,57	0,54	21,80	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	46,71	8,24	28,57	0,54	25,43	3,09
3,20	16,94	54,21	0,00	0,00	53,38	9,41	28,57	0,54	29,07	3,09
3,60	16,94	60,98	0,00	0,00	60,06	10,59	28,57	0,54	32,70	3,09
4,00	16,94	67,76	0,00	0,00	66,73	11,77	28,57	0,54	36,33	3,09
4,40	16,94	74,54	0,00	0,00	73,40	12,94	28,57	0,54	39,96	3,09
4,80	16,94	81,31	0,00	0,00	80,08	14,12	28,57	0,54	43,60	3,09
5,20	16,94	88,09	0,00	0,00	86,75	15,30	28,57	0,54	47,23	3,09
5,60	16,94	94,86	0,00	0,00	93,42	16,47	28,57	0,54	50,86	3,09
6,00	16,93	101,58	0,00	0,00	100,04	17,64	30,66	0,59	59,30	3,36
6,40	16,93	108,35	0,00	0,00	106,71	18,82	30,66	0,59	63,25	3,36
6,80	16,93	115,12	0,00	0,00	113,38	19,99	30,66	0,59	67,21	3,36
7,20	16,93	121,90	0,00	0,00	120,04	21,17	30,66	0,59	71,16	3,36
7,60	16,93	128,67	0,00	0,00	126,71	22,34	30,66	0,59	75,11	3,36
8,00	16,93	135,44	0,00	0,00	133,38	23,52	30,66	0,59	79,07	3,36
8,40	16,93	142,21	3,88	3,94	136,11	24,69	30,66	0,59	80,69	3,27
8,80	16,93	148,98	7,76	7,88	138,84	25,87	30,66	0,59	82,30	3,18
9,00	16,93	152,37	9,70	9,85	140,21	26,46	30,66	0,59	83,11	3,14

Tabella 115: $H_w = 8 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [KN/m ²]	σ'_v [KN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	4,21
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	4,21
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	4,21
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	4,20
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	4,21
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	4,21
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	4,21
3,20	54,21	54,21	1	0,5	15	39,03	39,63	4,21
3,60	60,98	60,98	1	0,5	15	43,92	44,60	4,21
4,00	67,76	67,76	1	0,5	15	48,81	49,56	4,21
4,40	74,54	74,54	1	0,5	15	53,69	54,52	4,21
4,80	81,31	81,31	1	0,5	15	58,58	59,48	4,21
5,20	88,09	88,09	1	0,5	15	63,46	64,44	4,21
5,60	94,86	94,86	1	0,5	15	68,35	69,41	4,21
6,00	101,58	101,58	1	0,5	15	73,23	74,36	4,22
6,40	108,35	108,35	1	0,5	15	78,11	79,32	4,22
6,80	115,12	115,12	1	0,5	15	82,99	84,27	4,22
7,20	121,90	121,90	1	0,5	15	87,87	89,23	4,22
7,60	128,67	128,67	1	0,5	15	92,75	94,18	4,22
8,00	135,44	135,44	1	0,5	15	97,63	99,14	4,22
8,40	142,21	138,33	1	0,5	15	102,51	104,09	4,22
8,80	148,98	141,23	1	0,5	15	107,39	109,05	4,22
9,00	152,37	142,67	1	0,5	15	109,83	111,52	4,22

Tabella 116: $H_w = 9 \text{ m}$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{\text{LIM};\text{L.T.}}$ [kN/m]	$F_{s;\text{sciv};\text{L.T.}}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,92	0,51	0,00	
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	6,66	1,17	26,92	0,51	3,38	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	13,32	2,35	26,92	0,51	6,77	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	19,98	3,52	26,92	0,51	10,15	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	26,69	4,71	28,57	0,54	14,53	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	33,37	5,88	28,57	0,54	18,17	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	40,04	7,06	28,57	0,54	21,80	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	46,71	8,24	28,57	0,54	25,43	3,09
3,20	16,94	54,21	0,00	0,00	53,38	9,41	28,57	0,54	29,07	3,09
3,60	16,94	60,98	0,00	0,00	60,06	10,59	28,57	0,54	32,70	3,09
4,00	16,94	67,76	0,00	0,00	66,73	11,77	28,57	0,54	36,33	3,09
4,40	16,94	74,54	0,00	0,00	73,40	12,94	28,57	0,54	39,96	3,09
4,80	16,94	81,31	0,00	0,00	80,08	14,12	28,57	0,54	43,60	3,09
5,20	16,94	88,09	0,00	0,00	86,75	15,30	28,57	0,54	47,23	3,09
5,60	16,94	94,86	0,00	0,00	93,42	16,47	28,57	0,54	50,86	3,09
6,00	16,93	101,58	0,00	0,00	100,04	17,64	30,66	0,59	59,30	3,36
6,40	16,93	108,35	0,00	0,00	106,71	18,82	30,66	0,59	63,25	3,36
6,80	16,93	115,12	0,00	0,00	113,38	19,99	30,66	0,59	67,21	3,36
7,20	16,93	121,90	0,00	0,00	120,04	21,17	30,66	0,59	71,16	3,36
7,60	16,93	128,67	0,00	0,00	126,71	22,34	30,66	0,59	75,11	3,36
8,00	16,93	135,44	0,00	0,00	133,38	23,52	30,66	0,59	79,07	3,36
8,40	16,93	142,21	0,00	0,00	140,05	24,69	30,66	0,59	83,02	3,36
8,80	16,93	148,98	0,00	0,00	146,72	25,87	30,66	0,59	86,97	3,36
9,00	16,93	152,37	0,00	0,00	150,06	26,46	30,66	0,59	88,95	3,36

Tabella 117: $H_w = 9 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [KN/m ²]	σ'_v [KN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	4,21
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	4,21
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	4,21
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	4,20
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	4,21
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	4,21
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	4,21
3,20	54,21	54,21	1	0,5	15	39,03	39,63	4,21
3,60	60,98	60,98	1	0,5	15	43,92	44,60	4,21
4,00	67,76	67,76	1	0,5	15	48,81	49,56	4,21
4,40	74,54	74,54	1	0,5	15	53,69	54,52	4,21
4,80	81,31	81,31	1	0,5	15	58,58	59,48	4,21
5,20	88,09	88,09	1	0,5	15	63,46	64,44	4,21
5,60	94,86	94,86	1	0,5	15	68,35	69,41	4,21
6,00	101,58	101,58	1	0,5	15	73,23	74,36	4,22
6,40	108,35	108,35	1	0,5	15	78,11	79,32	4,22
6,80	115,12	115,12	1	0,5	15	82,99	84,27	4,22
7,20	121,90	121,90	1	0,5	15	87,87	89,23	4,22
7,60	128,67	128,67	1	0,5	15	92,75	94,18	4,22
8,00	135,44	135,44	1	0,5	15	97,63	99,14	4,22
8,40	142,21	142,21	1	0,5	15	102,51	104,09	4,22
8,80	148,98	148,98	1	0,5	15	107,39	109,05	4,22
9,00	152,37	152,37	1	0,5	15	109,83	111,52	4,22

Caso 2: Carico della palestra esistente.

Tabella 118: $H_w = 0$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	$\tan \phi'$	$T_{LIM;L.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	60,38	10,65	26,92	0,51	30,66	2,88
0,40	16,91	6,76	3,88	3,94	63,10	11,82	26,92	0,51	32,04	2,71
0,80	16,91	13,53	7,76	7,88	65,82	13,00	26,92	0,51	33,43	2,57
1,20	16,91	20,29	11,64	11,82	68,55	14,17	26,92	0,51	34,81	2,46
1,60	16,94	27,07	15,52	15,76	71,28	15,35	28,57	0,54	38,81	2,53
2,00	16,94	33,84	19,40	19,70	74,01	16,52	28,57	0,54	40,30	2,44
2,40	16,94	40,62	23,28	23,64	76,75	17,70	28,57	0,54	41,79	2,36
2,80	16,94	47,40	27,16	27,57	79,48	18,88	28,57	0,54	43,27	2,29
3,20	16,94	54,17	31,04	31,51	82,22	20,05	28,57	0,54	44,76	2,23
3,60	16,94	60,95	34,91	35,45	84,95	21,23	28,57	0,54	46,25	2,18
4,00	16,94	67,72	38,79	39,39	87,68	22,41	28,57	0,54	47,74	2,13
4,40	16,94	74,50	42,67	43,33	90,42	23,58	28,57	0,54	49,23	2,09
4,80	16,94	81,28	46,55	47,27	93,15	24,76	28,57	0,54	50,72	2,05
5,20	16,94	88,05	50,43	51,21	95,88	25,94	28,57	0,54	52,20	2,01
5,60	16,94	94,83	54,31	55,15	98,62	27,11	28,57	0,54	53,69	1,98
6,00	16,93	101,60	58,19	59,09	101,35	28,29	30,66	0,59	60,08	2,12
6,40	16,93	108,37	62,07	63,03	104,08	29,47	30,66	0,59	61,70	2,09
6,80	16,93	115,14	65,95	66,97	106,81	30,64	30,66	0,59	63,31	2,07
7,20	16,93	121,92	69,83	70,91	109,54	31,82	30,66	0,59	64,93	2,04
7,60	16,93	128,69	73,71	74,85	112,27	32,99	30,66	0,59	66,55	2,02
8,00	16,93	135,46	77,59	78,78	115,00	34,17	30,66	0,59	68,17	2,00
8,40	16,93	142,23	81,47	82,72	117,73	35,35	30,66	0,59	69,79	1,97
8,80	16,93	149,00	85,35	86,66	120,46	36,52	30,66	0,59	71,41	1,96
9,00	16,93	152,39	87,29	88,63	121,82	37,11	30,66	0,59	72,22	1,95

Tabella 119: $H_w = 0$ m; B.T.

z [m]	σ_v [kN/m ²]	σ'_v [kN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	2,88	1	0,5	15	4,87	4,94	0,42
0,80	13,53	5,77	1	0,5	15	9,73	9,88	0,76
1,20	20,29	8,65	1	0,5	15	14,60	14,82	1,05
1,60	27,07	11,55	1	0,5	15	19,49	19,79	1,29
2,00	33,84	14,45	1	0,5	15	24,37	24,75	1,50
2,40	40,62	17,34	1	0,5	15	29,26	29,71	1,68
2,80	47,40	20,24	1	0,5	15	34,15	34,67	1,84
3,20	54,17	23,14	1	0,5	15	39,03	39,63	1,98
3,60	60,95	26,03	1	0,5	15	43,92	44,60	2,10
4,00	67,72	28,93	1	0,5	15	48,81	49,56	2,21
4,40	74,50	31,83	1	0,5	15	53,69	54,52	2,31
4,80	81,28	34,72	1	0,5	15	58,58	59,48	2,40
5,20	88,05	37,62	1	0,5	15	63,46	64,44	2,48
5,60	94,83	40,52	1	0,5	15	68,35	69,41	2,56
6,00	101,60	43,41	1	0,5	15	73,23	74,36	2,63
6,40	108,37	46,30	1	0,5	15	78,11	79,32	2,69
6,80	115,14	49,19	1	0,5	15	82,99	84,27	2,75
7,20	121,92	52,09	1	0,5	15	87,87	89,23	2,80
7,60	128,69	54,98	1	0,5	15	92,75	94,18	2,85
8,00	135,46	57,87	1	0,5	15	97,63	99,14	2,90
8,40	142,23	60,76	1	0,5	15	102,51	104,09	2,95
8,80	149,00	63,66	1	0,5	15	107,39	109,05	2,99
9,00	152,39	65,10	1	0,5	15	109,83	111,52	3,01

Tabella 120: $H_w = 1$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{LIM;L.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	60,38	10,65	26,92	0,51	30,66	2,88
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	67,04	11,82	26,92	0,51	34,04	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	73,70	13,00	26,92	0,51	37,43	2,88
1,20	16,91	20,29	1,94	1,97	78,39	14,17	26,92	0,51	39,81	2,81
1,60	16,94	27,10	5,82	5,91	81,16	15,35	28,57	0,54	44,19	2,88
2,00	16,94	33,88	9,70	9,85	83,90	16,53	28,57	0,54	45,68	2,76
2,40	16,94	40,66	13,58	13,79	86,63	17,71	28,57	0,54	47,17	2,66
2,80	16,94	47,43	17,46	17,73	89,37	18,88	28,57	0,54	48,65	2,58
3,20	16,94	54,21	21,34	21,67	92,10	20,06	28,57	0,54	50,14	2,50
3,60	16,94	60,98	25,22	25,61	94,83	21,24	28,57	0,54	51,63	2,43
4,00	16,94	67,76	29,10	29,54	97,57	22,41	28,57	0,54	53,12	2,37
4,40	16,94	74,54	32,97	33,48	100,30	23,59	28,57	0,54	54,61	2,31
4,80	16,94	81,31	36,85	37,42	103,03	24,77	28,57	0,54	56,10	2,27
5,20	16,94	88,09	40,73	41,36	105,77	25,94	28,57	0,54	57,59	2,22
5,60	16,94	94,86	44,61	45,30	108,50	27,12	28,57	0,54	59,07	2,18
6,00	16,93	101,58	48,49	49,24	111,18	28,29	30,66	0,59	65,90	2,33
6,40	16,93	108,35	52,37	53,18	113,91	29,46	30,66	0,59	67,52	2,29
6,80	16,93	115,12	56,25	57,12	116,64	30,64	30,66	0,59	69,14	2,26
7,20	16,93	121,90	60,13	61,06	119,37	31,81	30,66	0,59	70,76	2,22
7,60	16,93	128,67	64,01	65,00	122,10	32,99	30,66	0,59	72,38	2,19
8,00	16,93	135,44	67,89	68,94	124,83	34,17	30,66	0,59	74,00	2,17
8,40	16,93	142,21	71,77	72,88	127,56	35,34	30,66	0,59	75,61	2,14
8,80	16,93	148,98	75,65	76,82	130,29	36,52	30,66	0,59	77,23	2,11
9,00	16,93	152,37	77,59	78,78	131,65	37,11	30,66	0,59	78,04	2,10

Tabella 121: $H_w = 1 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [KN/m ²]	σ'_v [KN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	0,42
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	0,76
1,20	20,29	18,35	1	0,5	15	14,60	14,82	1,05
1,60	27,10	21,28	1	0,5	15	19,49	19,79	1,29
2,00	33,88	24,18	1	0,5	15	24,37	24,75	1,50
2,40	40,66	27,08	1	0,5	15	29,26	29,71	1,68
2,80	47,43	29,97	1	0,5	15	34,15	34,67	1,84
3,20	54,21	32,87	1	0,5	15	39,03	39,63	1,98
3,60	60,98	35,77	1	0,5	15	43,92	44,60	2,10
4,00	67,76	38,66	1	0,5	15	48,81	49,56	2,21
4,40	74,54	41,56	1	0,5	15	53,69	54,52	2,31
4,80	81,31	44,46	1	0,5	15	58,58	59,48	2,40
5,20	88,09	47,35	1	0,5	15	63,46	64,44	2,48
5,60	94,86	50,25	1	0,5	15	68,35	69,41	2,56
6,00	101,58	53,09	1	0,5	15	73,23	74,36	2,63
6,40	108,35	55,98	1	0,5	15	78,11	79,32	2,69
6,80	115,12	58,87	1	0,5	15	82,99	84,27	2,75
7,20	121,90	61,77	1	0,5	15	87,87	89,23	2,80
7,60	128,67	64,66	1	0,5	15	92,75	94,18	2,85
8,00	135,44	67,55	1	0,5	15	97,63	99,14	2,90
8,40	142,21	70,44	1	0,5	15	102,51	104,09	2,95
8,80	148,98	73,34	1	0,5	15	107,39	109,05	2,99
9,00	152,37	74,78	1	0,5	15	109,83	111,52	3,01

Tabella 122: $H_w = 2$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{LIM;L.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	60,38	10,65	26,92	0,51	30,66	2,88
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	67,04	11,82	26,92	0,51	34,04	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	73,70	13,00	26,92	0,51	37,43	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	80,36	14,17	26,92	0,51	40,81	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	87,07	15,35	28,57	0,54	47,41	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	93,75	16,53	28,57	0,54	51,04	3,09
2,40	16,94	40,66	3,88	3,94	96,48	17,71	28,57	0,54	52,53	2,97
2,80	16,94	47,43	7,76	7,88	99,21	18,88	28,57	0,54	54,02	2,86
3,20	16,94	54,21	11,64	11,82	101,95	20,06	28,57	0,54	55,50	2,77
3,60	16,94	60,98	15,52	15,76	104,68	21,24	28,57	0,54	56,99	2,68
4,00	16,94	67,76	19,40	19,70	107,41	22,41	28,57	0,54	58,48	2,61
4,40	16,94	74,54	23,28	23,64	110,15	23,59	28,57	0,54	59,97	2,54
4,80	16,94	81,31	27,16	27,57	112,88	24,77	28,57	0,54	61,46	2,48
5,20	16,94	88,09	31,04	31,51	115,62	25,94	28,57	0,54	62,95	2,43
5,60	16,94	94,86	34,91	35,45	118,35	27,12	28,57	0,54	64,44	2,38
6,00	16,93	101,58	38,79	39,39	121,02	28,29	30,66	0,59	71,74	2,54
6,40	16,93	108,35	42,67	43,33	123,75	29,46	30,66	0,59	73,36	2,49
6,80	16,93	115,12	46,55	47,27	126,48	30,64	30,66	0,59	74,98	2,45
7,20	16,93	121,90	50,43	51,21	129,21	31,81	30,66	0,59	76,60	2,41
7,60	16,93	128,67	54,31	55,15	131,94	32,99	30,66	0,59	78,22	2,37
8,00	16,93	135,44	58,19	59,09	134,67	34,17	30,66	0,59	79,83	2,34
8,40	16,93	142,21	62,07	63,03	137,40	35,34	30,66	0,59	81,45	2,30
8,80	16,93	148,98	65,95	66,97	140,13	36,52	30,66	0,59	83,07	2,27
9,00	16,93	152,37	67,89	68,94	141,50	37,11	30,66	0,59	83,88	2,26

Tabella 123: $H_w = 2 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [kN/m ²]	σ'_v [kN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	0,42
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	0,76
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	1,05
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	1,29
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	1,50
2,40	40,66	36,78	1	0,5	15	29,26	29,71	1,68
2,80	47,43	39,67	1	0,5	15	34,15	34,67	1,84
3,20	54,21	42,57	1	0,5	15	39,03	39,63	1,98
3,60	60,98	45,47	1	0,5	15	43,92	44,60	2,10
4,00	67,76	48,36	1	0,5	15	48,81	49,56	2,21
4,40	74,54	51,26	1	0,5	15	53,69	54,52	2,31
4,80	81,31	54,16	1	0,5	15	58,58	59,48	2,40
5,20	88,09	57,05	1	0,5	15	63,46	64,44	2,48
5,60	94,86	59,95	1	0,5	15	68,35	69,41	2,56
6,00	101,58	62,79	1	0,5	15	73,23	74,36	2,63
6,40	108,35	65,68	1	0,5	15	78,11	79,32	2,69
6,80	115,12	68,57	1	0,5	15	82,99	84,27	2,75
7,20	121,90	71,46	1	0,5	15	87,87	89,23	2,80
7,60	128,67	74,36	1	0,5	15	92,75	94,18	2,85
8,00	135,44	77,25	1	0,5	15	97,63	99,14	2,90
8,40	142,21	80,14	1	0,5	15	102,51	104,09	2,95
8,80	148,98	83,03	1	0,5	15	107,39	109,05	2,99
9,00	152,37	84,48	1	0,5	15	109,83	111,52	3,01

Tabella 124: $H_w = 3$; L.T.

z [m]	γ_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{\text{LIM};L.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	60,38	10,65	26,92	0,51	30,66	2,88
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	67,04	11,82	26,92	0,51	34,04	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	73,70	13,00	26,92	0,51	37,43	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	80,36	14,17	26,92	0,51	40,81	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	87,07	15,35	28,57	0,54	47,41	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	93,75	16,53	28,57	0,54	51,04	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	100,42	17,71	28,57	0,54	54,67	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	107,09	18,88	28,57	0,54	58,31	3,09
3,20	16,94	54,21	1,94	1,97	111,80	20,06	28,57	0,54	60,87	3,03
3,60	16,94	60,98	5,82	5,91	114,53	21,24	28,57	0,54	62,36	2,94
4,00	16,94	67,76	9,70	9,85	117,26	22,41	28,57	0,54	63,84	2,85
4,40	16,94	74,54	13,58	13,79	120,00	23,59	28,57	0,54	65,33	2,77
4,80	16,94	81,31	17,46	17,73	122,73	24,77	28,57	0,54	66,82	2,70
5,20	16,94	88,09	21,34	21,67	125,46	25,94	28,57	0,54	68,31	2,63
5,60	16,94	94,86	25,22	25,61	128,20	27,12	28,57	0,54	69,80	2,57
6,00	16,93	101,58	29,10	29,54	130,87	28,29	30,66	0,59	77,58	2,74
6,40	16,93	108,35	32,97	33,48	133,60	29,46	30,66	0,59	79,20	2,69
6,80	16,93	115,12	36,85	37,42	136,33	30,64	30,66	0,59	80,82	2,64
7,20	16,93	121,90	40,73	41,36	139,06	31,81	30,66	0,59	82,43	2,59
7,60	16,93	128,67	44,61	45,30	141,79	32,99	30,66	0,59	84,05	2,55
8,00	16,93	135,44	48,49	49,24	144,52	34,17	30,66	0,59	85,67	2,51
8,40	16,93	142,21	52,37	53,18	147,25	35,34	30,66	0,59	87,29	2,47
8,80	16,93	148,98	56,25	57,12	149,98	36,52	30,66	0,59	88,91	2,43
9,00	16,93	152,37	58,19	59,09	151,35	37,11	30,66	0,59	89,72	2,42

Tabella 125: $H_w = 3 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [KN/m ²]	σ'_v [KN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	0,42
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	0,76
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	1,05
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	1,29
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	1,50
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	1,68
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	1,84
3,20	54,21	52,27	1	0,5	15	39,03	39,63	1,98
3,60	60,98	55,16	1	0,5	15	43,92	44,60	2,10
4,00	67,76	58,06	1	0,5	15	48,81	49,56	2,21
4,40	74,54	60,96	1	0,5	15	53,69	54,52	2,31
4,80	81,31	63,85	1	0,5	15	58,58	59,48	2,40
5,20	88,09	66,75	1	0,5	15	63,46	64,44	2,48
5,60	94,86	69,65	1	0,5	15	68,35	69,41	2,56
6,00	101,58	72,48	1	0,5	15	73,23	74,36	2,63
6,40	108,35	75,38	1	0,5	15	78,11	79,32	2,69
6,80	115,12	78,27	1	0,5	15	82,99	84,27	2,75
7,20	121,90	81,16	1	0,5	15	87,87	89,23	2,80
7,60	128,67	84,06	1	0,5	15	92,75	94,18	2,85
8,00	135,44	86,95	1	0,5	15	97,63	99,14	2,90
8,40	142,21	89,84	1	0,5	15	102,51	104,09	2,95
8,80	148,98	92,73	1	0,5	15	107,39	109,05	2,99
9,00	152,37	94,18	1	0,5	15	109,83	111,52	3,01

Tabella 126: $H_w = 4$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{LIM;L.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	60,38	10,65	26,92	0,51	30,66	2,88
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	67,04	11,82	26,92	0,51	34,04	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	73,70	13,00	26,92	0,51	37,43	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	80,36	14,17	26,92	0,51	40,81	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	87,07	15,35	28,57	0,54	47,41	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	93,75	16,53	28,57	0,54	51,04	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	100,42	17,71	28,57	0,54	54,67	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	107,09	18,88	28,57	0,54	58,31	3,09
3,20	16,94	54,21	0,00	0,00	113,76	20,06	28,57	0,54	61,94	3,09
3,60	16,94	60,98	0,00	0,00	120,44	21,24	28,57	0,54	65,57	3,09
4,00	16,94	67,76	0,00	0,00	127,11	22,41	28,57	0,54	69,21	3,09
4,40	16,94	74,54	3,88	3,94	129,84	23,59	28,57	0,54	70,69	3,00
4,80	16,94	81,31	7,76	7,88	132,58	24,77	28,57	0,54	72,18	2,91
5,20	16,94	88,09	11,64	11,82	135,31	25,94	28,57	0,54	73,67	2,84
5,60	16,94	94,86	15,52	15,76	138,05	27,12	28,57	0,54	75,16	2,77
6,00	16,93	101,58	19,40	19,70	140,72	28,29	30,66	0,59	83,42	2,95
6,40	16,93	108,35	23,28	23,64	143,45	29,46	30,66	0,59	85,04	2,89
6,80	16,93	115,12	27,16	27,57	146,18	30,64	30,66	0,59	86,65	2,83
7,20	16,93	121,90	31,04	31,51	148,91	31,81	30,66	0,59	88,27	2,77
7,60	16,93	128,67	34,91	35,45	151,64	32,99	30,66	0,59	89,89	2,72
8,00	16,93	135,44	38,79	39,39	154,37	34,17	30,66	0,59	91,51	2,68
8,40	16,93	142,21	42,67	43,33	157,10	35,34	30,66	0,59	93,13	2,64
8,80	16,93	148,98	46,55	47,27	159,83	36,52	30,66	0,59	94,75	2,59
9,00	16,93	152,37	48,49	49,24	161,20	37,11	30,66	0,59	95,55	2,58

Tabella 127: $H_w = 4 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [KN/m ²]	σ'_v [KN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	0,42
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	0,76
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	1,05
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	1,29
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	1,50
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	1,68
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	1,84
3,20	54,21	54,21	1	0,5	15	39,03	39,63	1,98
3,60	60,98	60,98	1	0,5	15	43,92	44,60	2,10
4,00	67,76	67,76	1	0,5	15	48,81	49,56	2,21
4,40	74,54	70,66	1	0,5	15	53,69	54,52	2,31
4,80	81,31	73,55	1	0,5	15	58,58	59,48	2,40
5,20	88,09	76,45	1	0,5	15	63,46	64,44	2,48
5,60	94,86	79,35	1	0,5	15	68,35	69,41	2,56
6,00	101,58	82,18	1	0,5	15	73,23	74,36	2,63
6,40	108,35	85,08	1	0,5	15	78,11	79,32	2,69
6,80	115,12	87,97	1	0,5	15	82,99	84,27	2,75
7,20	121,90	90,86	1	0,5	15	87,87	89,23	2,80
7,60	128,67	93,75	1	0,5	15	92,75	94,18	2,85
8,00	135,44	96,65	1	0,5	15	97,63	99,14	2,90
8,40	142,21	99,54	1	0,5	15	102,51	104,09	2,95
8,80	148,98	102,43	1	0,5	15	107,39	109,05	2,99
9,00	152,37	103,88	1	0,5	15	109,83	111,52	3,01

Tabella 128: $H_w = 5$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{LIM;L.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	60,38	10,65	26,92	0,51	30,66	2,88
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	67,04	11,82	26,92	0,51	34,04	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	73,70	13,00	26,92	0,51	37,43	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	80,36	14,17	26,92	0,51	40,81	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	87,07	15,35	28,57	0,54	47,41	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	93,75	16,53	28,57	0,54	51,04	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	100,42	17,71	28,57	0,54	54,67	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	107,09	18,88	28,57	0,54	58,31	3,09
3,20	16,94	54,21	0,00	0,00	113,76	20,06	28,57	0,54	61,94	3,09
3,60	16,94	60,98	0,00	0,00	120,44	21,24	28,57	0,54	65,57	3,09
4,00	16,94	67,76	0,00	0,00	127,11	22,41	28,57	0,54	69,21	3,09
4,40	16,94	74,54	0,00	0,00	133,78	23,59	28,57	0,54	72,84	3,09
4,80	16,94	81,31	0,00	0,00	140,46	24,77	28,57	0,54	76,47	3,09
5,20	16,94	88,09	1,94	1,97	145,16	25,94	28,57	0,54	79,03	3,05
5,60	16,94	94,86	5,82	5,91	147,89	27,12	28,57	0,54	80,52	2,97
6,00	16,93	101,58	9,70	9,85	150,57	28,29	30,66	0,59	89,26	3,16
6,40	16,93	108,35	13,58	13,79	153,30	29,46	30,66	0,59	90,87	3,08
6,80	16,93	115,12	17,46	17,73	156,03	30,64	30,66	0,59	92,49	3,02
7,20	16,93	121,90	21,34	21,67	158,76	31,81	30,66	0,59	94,11	2,96
7,60	16,93	128,67	25,22	25,61	161,49	32,99	30,66	0,59	95,73	2,90
8,00	16,93	135,44	29,10	29,54	164,22	34,17	30,66	0,59	97,35	2,85
8,40	16,93	142,21	32,97	33,48	166,95	35,34	30,66	0,59	98,97	2,80
8,80	16,93	148,98	36,85	37,42	169,68	36,52	30,66	0,59	100,58	2,75
9,00	16,93	152,37	38,79	39,39	171,04	37,11	30,66	0,59	101,39	2,73

Tabella 129: $H_w = 5 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [kN/m ²]	σ'_v [kN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	0,42
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	0,76
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	1,05
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	1,29
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	1,50
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	1,68
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	1,84
3,20	54,21	54,21	1	0,5	15	39,03	39,63	1,98
3,60	60,98	60,98	1	0,5	15	43,92	44,60	2,10
4,00	67,76	67,76	1	0,5	15	48,81	49,56	2,21
4,40	74,54	74,54	1	0,5	15	53,69	54,52	2,31
4,80	81,31	81,31	1	0,5	15	58,58	59,48	2,40
5,20	88,09	86,15	1	0,5	15	63,46	64,44	2,48
5,60	94,86	89,04	1	0,5	15	68,35	69,41	2,56
6,00	101,58	91,88	1	0,5	15	73,23	74,36	2,63
6,40	108,35	94,77	1	0,5	15	78,11	79,32	2,69
6,80	115,12	97,67	1	0,5	15	82,99	84,27	2,75
7,20	121,90	100,56	1	0,5	15	87,87	89,23	2,80
7,60	128,67	103,45	1	0,5	15	92,75	94,18	2,85
8,00	135,44	106,34	1	0,5	15	97,63	99,14	2,90
8,40	142,21	109,24	1	0,5	15	102,51	104,09	2,95
8,80	148,98	112,13	1	0,5	15	107,39	109,05	2,99
9,00	152,37	113,58	1	0,5	15	109,83	111,52	3,01

Tabella 130: $H_w = 6$; L.T.

z [m]	γ_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{\text{LIM};L.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	60,38	10,65	26,92	0,51	30,66	2,88
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	67,04	11,82	26,92	0,51	34,04	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	73,70	13,00	26,92	0,51	37,43	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	80,36	14,17	26,92	0,51	40,81	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	87,07	15,35	28,57	0,54	47,41	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	93,75	16,53	28,57	0,54	51,04	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	100,42	17,71	28,57	0,54	54,67	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	107,09	18,88	28,57	0,54	58,31	3,09
3,20	16,94	54,21	0,00	0,00	113,76	20,06	28,57	0,54	61,94	3,09
3,60	16,94	60,98	0,00	0,00	120,44	21,24	28,57	0,54	65,57	3,09
4,00	16,94	67,76	0,00	0,00	127,11	22,41	28,57	0,54	69,21	3,09
4,40	16,94	74,54	0,00	0,00	133,78	23,59	28,57	0,54	72,84	3,09
4,80	16,94	81,31	0,00	0,00	140,46	24,77	28,57	0,54	76,47	3,09
5,20	16,94	88,09	0,00	0,00	147,13	25,94	28,57	0,54	80,10	3,09
5,60	16,94	94,86	0,00	0,00	153,80	27,12	28,57	0,54	83,74	3,09
6,00	16,93	101,58	0,00	0,00	160,42	28,29	30,66	0,59	95,09	3,36
6,40	16,93	108,35	3,88	3,94	163,15	29,46	30,66	0,59	96,71	3,28
6,80	16,93	115,12	7,76	7,88	165,88	30,64	30,66	0,59	98,33	3,21
7,20	16,93	121,90	11,64	11,82	168,61	31,81	30,66	0,59	99,95	3,14
7,60	16,93	128,67	15,52	15,76	171,34	32,99	30,66	0,59	101,57	3,08
8,00	16,93	135,44	19,40	19,70	174,07	34,17	30,66	0,59	103,18	3,02
8,40	16,93	142,21	23,28	23,64	176,80	35,34	30,66	0,59	104,80	2,97
8,80	16,93	148,98	27,16	27,57	179,53	36,52	30,66	0,59	106,42	2,91
9,00	16,93	152,37	29,10	29,54	180,89	37,11	30,66	0,59	107,23	2,89

Tabella 131: $H_w = 6 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [kN/m ²]	σ'_v [kN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	0,42
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	0,76
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	1,05
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	1,29
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	1,50
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	1,68
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	1,84
3,20	54,21	54,21	1	0,5	15	39,03	39,63	1,98
3,60	60,98	60,98	1	0,5	15	43,92	44,60	2,10
4,00	67,76	67,76	1	0,5	15	48,81	49,56	2,21
4,40	74,54	74,54	1	0,5	15	53,69	54,52	2,31
4,80	81,31	81,31	1	0,5	15	58,58	59,48	2,40
5,20	88,09	88,09	1	0,5	15	63,46	64,44	2,48
5,60	94,86	94,86	1	0,5	15	68,35	69,41	2,56
6,00	101,58	101,58	1	0,5	15	73,23	74,36	2,63
6,40	108,35	104,47	1	0,5	15	78,11	79,32	2,69
6,80	115,12	107,37	1	0,5	15	82,99	84,27	2,75
7,20	121,90	110,26	1	0,5	15	87,87	89,23	2,80
7,60	128,67	113,15	1	0,5	15	92,75	94,18	2,85
8,00	135,44	116,04	1	0,5	15	97,63	99,14	2,90
8,40	142,21	118,94	1	0,5	15	102,51	104,09	2,95
8,80	148,98	121,83	1	0,5	15	107,39	109,05	2,99
9,00	152,37	123,27	1	0,5	15	109,83	111,52	3,01

Tabella 132: $H_w = 7$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	$\tan \phi'$	$T_{\text{LIM};L.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	60,38	10,65	26,92	0,51	30,66	2,88
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	67,04	11,82	26,92	0,51	34,04	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	73,70	13,00	26,92	0,51	37,43	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	80,36	14,17	26,92	0,51	40,81	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	87,07	15,35	28,57	0,54	47,41	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	93,75	16,53	28,57	0,54	51,04	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	100,42	17,71	28,57	0,54	54,67	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	107,09	18,88	28,57	0,54	58,31	3,09
3,20	16,94	54,21	0,00	0,00	113,76	20,06	28,57	0,54	61,94	3,09
3,60	16,94	60,98	0,00	0,00	120,44	21,24	28,57	0,54	65,57	3,09
4,00	16,94	67,76	0,00	0,00	127,11	22,41	28,57	0,54	69,21	3,09
4,40	16,94	74,54	0,00	0,00	133,78	23,59	28,57	0,54	72,84	3,09
4,80	16,94	81,31	0,00	0,00	140,46	24,77	28,57	0,54	76,47	3,09
5,20	16,94	88,09	0,00	0,00	147,13	25,94	28,57	0,54	80,10	3,09
5,60	16,94	94,86	0,00	0,00	153,80	27,12	28,57	0,54	83,74	3,09
6,00	16,93	101,58	0,00	0,00	160,42	28,29	30,66	0,59	95,09	3,36
6,40	16,93	108,35	0,00	0,00	167,09	29,46	30,66	0,59	99,05	3,36
6,80	16,93	115,12	0,00	0,00	173,76	30,64	30,66	0,59	103,00	3,36
7,20	16,93	121,90	1,94	1,97	178,45	31,81	30,66	0,59	105,79	3,33
7,60	16,93	128,67	5,82	5,91	181,18	32,99	30,66	0,59	107,40	3,26
8,00	16,93	135,44	9,70	9,85	183,91	34,17	30,66	0,59	109,02	3,19
8,40	16,93	142,21	13,58	13,79	186,64	35,34	30,66	0,59	110,64	3,13
8,80	16,93	148,98	17,46	17,73	189,37	36,52	30,66	0,59	112,26	3,07
9,00	16,93	152,37	19,40	19,70	190,74	37,11	30,66	0,59	113,07	3,05

Tabella 133: $H_w = 7 \text{ m}$; B..

z [m]	σ_v [KN/m ²]	σ'_v [KN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	0,42
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	0,76
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	1,05
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	1,29
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	1,50
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	1,68
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	1,84
3,20	54,21	54,21	1	0,5	15	39,03	39,63	1,98
3,60	60,98	60,98	1	0,5	15	43,92	44,60	2,10
4,00	67,76	67,76	1	0,5	15	48,81	49,56	2,21
4,40	74,54	74,54	1	0,5	15	53,69	54,52	2,31
4,80	81,31	81,31	1	0,5	15	58,58	59,48	2,40
5,20	88,09	88,09	1	0,5	15	63,46	64,44	2,48
5,60	94,86	94,86	1	0,5	15	68,35	69,41	2,56
6,00	101,58	101,58	1	0,5	15	73,23	74,36	2,63
6,40	108,35	108,35	1	0,5	15	78,11	79,32	2,69
6,80	115,12	115,12	1	0,5	15	82,99	84,27	2,75
7,20	121,90	119,96	1	0,5	15	87,87	89,23	2,80
7,60	128,67	122,85	1	0,5	15	92,75	94,18	2,85
8,00	135,44	125,74	1	0,5	15	97,63	99,14	2,90
8,40	142,21	128,63	1	0,5	15	102,51	104,09	2,95
8,80	148,98	131,53	1	0,5	15	107,39	109,05	2,99
9,00	152,37	132,97	1	0,5	15	109,83	111,52	3,01

Tabella 134: $H_w = 8$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	$\tan \phi'$	$T_{LIM;L.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	60,38	10,65	26,92	0,51	30,66	2,88
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	67,04	11,82	26,92	0,51	34,04	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	73,70	13,00	26,92	0,51	37,43	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	80,36	14,17	26,92	0,51	40,81	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	87,07	15,35	28,57	0,54	47,41	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	93,75	16,53	28,57	0,54	51,04	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	100,42	17,71	28,57	0,54	54,67	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	107,09	18,88	28,57	0,54	58,31	3,09
3,20	16,94	54,21	0,00	0,00	113,76	20,06	28,57	0,54	61,94	3,09
3,60	16,94	60,98	0,00	0,00	120,44	21,24	28,57	0,54	65,57	3,09
4,00	16,94	67,76	0,00	0,00	127,11	22,41	28,57	0,54	69,21	3,09
4,40	16,94	74,54	0,00	0,00	133,78	23,59	28,57	0,54	72,84	3,09
4,80	16,94	81,31	0,00	0,00	140,46	24,77	28,57	0,54	76,47	3,09
5,20	16,94	88,09	0,00	0,00	147,13	25,94	28,57	0,54	80,10	3,09
5,60	16,94	94,86	0,00	0,00	153,80	27,12	28,57	0,54	83,74	3,09
6,00	16,93	101,58	0,00	0,00	160,42	28,29	30,66	0,59	95,09	3,36
6,40	16,93	108,35	0,00	0,00	167,09	29,46	30,66	0,59	99,05	3,36
6,80	16,93	115,12	0,00	0,00	173,76	30,64	30,66	0,59	103,00	3,36
7,20	16,93	121,90	0,00	0,00	180,42	31,81	30,66	0,59	106,95	3,36
7,60	16,93	128,67	0,00	0,00	187,09	32,99	30,66	0,59	110,91	3,36
8,00	16,93	135,44	0,00	0,00	193,76	34,17	30,66	0,59	114,86	3,36
8,40	16,93	142,21	3,88	3,94	196,49	35,34	30,66	0,59	116,48	3,30
8,80	16,93	148,98	7,76	7,88	199,22	36,52	30,66	0,59	118,10	3,23
9,00	16,93	152,37	9,70	9,85	200,59	37,11	30,66	0,59	118,91	3,20

Tabella 135: $H_w = 8 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [KN/m ²]	σ'_v [KN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	0,42
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	0,76
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	1,05
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	1,29
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	1,50
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	1,68
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	1,84
3,20	54,21	54,21	1	0,5	15	39,03	39,63	1,98
3,60	60,98	60,98	1	0,5	15	43,92	44,60	2,10
4,00	67,76	67,76	1	0,5	15	48,81	49,56	2,21
4,40	74,54	74,54	1	0,5	15	53,69	54,52	2,31
4,80	81,31	81,31	1	0,5	15	58,58	59,48	2,40
5,20	88,09	88,09	1	0,5	15	63,46	64,44	2,48
5,60	94,86	94,86	1	0,5	15	68,35	69,41	2,56
6,00	101,58	101,58	1	0,5	15	73,23	74,36	2,63
6,40	108,35	108,35	1	0,5	15	78,11	79,32	2,69
6,80	115,12	115,12	1	0,5	15	82,99	84,27	2,75
7,20	121,90	121,90	1	0,5	15	87,87	89,23	2,80
7,60	128,67	128,67	1	0,5	15	92,75	94,18	2,85
8,00	135,44	135,44	1	0,5	15	97,63	99,14	2,90
8,40	142,21	138,33	1	0,5	15	102,51	104,09	2,95
8,80	148,98	141,23	1	0,5	15	107,39	109,05	2,99
9,00	152,37	142,67	1	0,5	15	109,83	111,52	3,01

Tabella 136: $H_w = 9$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{LIM;L.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	60,38	10,65	26,92	0,51	30,66	2,88
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	67,04	11,82	26,92	0,51	34,04	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	73,70	13,00	26,92	0,51	37,43	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	80,36	14,17	26,92	0,51	40,81	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	87,07	15,35	28,57	0,54	47,41	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	93,75	16,53	28,57	0,54	51,04	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	100,42	17,71	28,57	0,54	54,67	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	107,09	18,88	28,57	0,54	58,31	3,09
3,20	16,94	54,21	0,00	0,00	113,76	20,06	28,57	0,54	61,94	3,09
3,60	16,94	60,98	0,00	0,00	120,44	21,24	28,57	0,54	65,57	3,09
4,00	16,94	67,76	0,00	0,00	127,11	22,41	28,57	0,54	69,21	3,09
4,40	16,94	74,54	0,00	0,00	133,78	23,59	28,57	0,54	72,84	3,09
4,80	16,94	81,31	0,00	0,00	140,46	24,77	28,57	0,54	76,47	3,09
5,20	16,94	88,09	0,00	0,00	147,13	25,94	28,57	0,54	80,10	3,09
5,60	16,94	94,86	0,00	0,00	153,80	27,12	28,57	0,54	83,74	3,09
6,00	16,93	101,58	0,00	0,00	160,42	28,29	30,66	0,59	95,09	3,36
6,40	16,93	108,35	0,00	0,00	167,09	29,46	30,66	0,59	99,05	3,36
6,80	16,93	115,12	0,00	0,00	173,76	30,64	30,66	0,59	103,00	3,36
7,20	16,93	121,90	0,00	0,00	180,42	31,81	30,66	0,59	106,95	3,36
7,60	16,93	128,67	0,00	0,00	187,09	32,99	30,66	0,59	110,91	3,36
8,00	16,93	135,44	0,00	0,00	193,76	34,17	30,66	0,59	114,86	3,36
8,40	16,93	142,21	0,00	0,00	200,43	35,34	30,66	0,59	118,81	3,36
8,80	16,93	148,98	0,00	0,00	207,10	36,52	30,66	0,59	122,77	3,36
9,00	16,93	152,37	0,00	0,00	210,44	37,11	30,66	0,59	124,74	3,36

Tabella 137: $H_w = 9 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [KN/m ²]	σ'_v [KN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	0,42
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	0,76
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	1,05
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	1,29
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	1,50
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	1,68
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	1,84
3,20	54,21	54,21	1	0,5	15	39,03	39,63	1,98
3,60	60,98	60,98	1	0,5	15	43,92	44,60	2,10
4,00	67,76	67,76	1	0,5	15	48,81	49,56	2,21
4,40	74,54	74,54	1	0,5	15	53,69	54,52	2,31
4,80	81,31	81,31	1	0,5	15	58,58	59,48	2,40
5,20	88,09	88,09	1	0,5	15	63,46	64,44	2,48
5,60	94,86	94,86	1	0,5	15	68,35	69,41	2,56
6,00	101,58	101,58	1	0,5	15	73,23	74,36	2,63
6,40	108,35	108,35	1	0,5	15	78,11	79,32	2,69
6,80	115,12	115,12	1	0,5	15	82,99	84,27	2,75
7,20	121,90	121,90	1	0,5	15	87,87	89,23	2,80
7,60	128,67	128,67	1	0,5	15	92,75	94,18	2,85
8,00	135,44	135,44	1	0,5	15	97,63	99,14	2,90
8,40	142,21	142,21	1	0,5	15	102,51	104,09	2,95
8,80	148,98	148,98	1	0,5	15	107,39	109,05	2,99
9,00	152,37	152,37	1	0,5	15	109,83	111,52	3,01

Caso 3: Carico della scuola di nuova costruzione.

Tavella 138: $H_w = 0$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{LIM;L.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	67,28	11,86	26,92	0,51	34,16	2,88
0,40	16,91	6,76	3,88	3,94	70,00	13,04	26,92	0,51	35,55	2,73
0,80	16,91	13,53	7,76	7,88	72,72	14,21	26,92	0,51	36,93	2,60
1,20	16,91	20,29	11,64	11,82	75,45	15,39	26,92	0,51	38,31	2,49
1,60	16,94	27,07	15,52	15,76	78,18	16,56	28,57	0,54	42,56	2,57
2,00	16,94	33,84	19,40	19,70	80,91	17,74	28,57	0,54	44,05	2,48
2,40	16,94	40,62	23,28	23,64	83,65	18,92	28,57	0,54	45,54	2,41
2,80	16,94	47,40	27,16	27,57	86,38	20,09	28,57	0,54	47,03	2,34
3,20	16,94	54,17	31,04	31,51	89,11	21,27	28,57	0,54	48,52	2,28
3,60	16,94	60,95	34,91	35,45	91,85	22,45	28,57	0,54	50,01	2,23
4,00	16,94	67,72	38,79	39,39	94,58	23,62	28,57	0,54	51,49	2,18
4,40	16,94	74,50	42,67	43,33	97,32	24,80	28,57	0,54	52,98	2,14
4,80	16,94	81,28	46,55	47,27	100,05	25,98	28,57	0,54	54,47	2,10
5,20	16,94	88,05	50,43	51,21	102,78	27,15	28,57	0,54	55,96	2,06
5,60	16,94	94,83	54,31	55,15	105,52	28,33	28,57	0,54	57,45	2,03
6,00	16,93	101,60	58,19	59,09	108,25	29,51	30,66	0,59	64,17	2,17
6,40	16,93	108,37	62,07	63,03	110,98	30,68	30,66	0,59	65,79	2,14
6,80	16,93	115,14	65,95	66,97	113,71	31,86	30,66	0,59	67,40	2,12
7,20	16,93	121,92	69,83	70,91	116,44	33,03	30,66	0,59	69,02	2,09
7,60	16,93	128,69	73,71	74,85	119,17	34,21	30,66	0,59	70,64	2,06
8,00	16,93	135,46	77,59	78,78	121,90	35,39	30,66	0,59	72,26	2,04
8,40	16,93	142,23	81,47	82,72	124,63	36,56	30,66	0,59	73,88	2,02
8,80	16,93	149,00	85,35	86,66	127,36	37,74	30,66	0,59	75,50	2,00
9,00	16,93	152,39	87,29	88,63	128,72	38,33	30,66	0,59	76,30	1,99

Tabella 139: $H_w = 0$ m; B.T.

z [m]	σ_v [KN/m ²]	σ'_v [KN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [KN/m]	$F_{s;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	2,88	1	0,5	15	4,87	4,94	0,38
0,80	13,53	5,77	1	0,5	15	9,73	9,88	0,70
1,20	20,29	8,65	1	0,5	15	14,60	14,82	0,96
1,60	27,07	11,55	1	0,5	15	19,49	19,79	1,19
2,00	33,84	14,45	1	0,5	15	24,37	24,75	1,40
2,40	40,62	17,34	1	0,5	15	29,26	29,71	1,57
2,80	47,40	20,24	1	0,5	15	34,15	34,67	1,73
3,20	54,17	23,14	1	0,5	15	39,03	39,63	1,86
3,60	60,95	26,03	1	0,5	15	43,92	44,60	1,99
4,00	67,72	28,93	1	0,5	15	48,81	49,56	2,10
4,40	74,50	31,83	1	0,5	15	53,69	54,52	2,20
4,80	81,28	34,72	1	0,5	15	58,58	59,48	2,29
5,20	88,05	37,62	1	0,5	15	63,46	64,44	2,37
5,60	94,83	40,52	1	0,5	15	68,35	69,41	2,45
6,00	101,60	43,41	1	0,5	15	73,23	74,36	2,52
6,40	108,37	46,30	1	0,5	15	78,11	79,32	2,59
6,80	115,14	49,19	1	0,5	15	82,99	84,27	2,65
7,20	121,92	52,09	1	0,5	15	87,87	89,23	2,70
7,60	128,69	54,98	1	0,5	15	92,75	94,18	2,75
8,00	135,46	57,87	1	0,5	15	97,63	99,14	2,80
8,40	142,23	60,76	1	0,5	15	102,51	104,09	2,85
8,80	149,00	63,66	1	0,5	15	107,39	109,05	2,89
9,00	152,39	65,10	1	0,5	15	109,83	111,52	2,91

Tabella 140: $H_w = 1$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{LIM;L.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	67,28	11,86	26,92	0,51	34,16	2,88
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	73,94	13,04	26,92	0,51	37,55	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	80,60	14,21	26,92	0,51	40,93	2,88
1,20	16,91	20,29	1,94	1,97	85,29	15,39	26,92	0,51	43,31	2,81
1,60	16,94	27,10	5,82	5,91	88,06	16,57	28,57	0,54	47,95	2,89
2,00	16,94	33,88	9,70	9,85	90,80	17,75	28,57	0,54	49,43	2,79
2,40	16,94	40,66	13,58	13,79	93,53	18,92	28,57	0,54	50,92	2,69
2,80	16,94	47,43	17,46	17,73	96,26	20,10	28,57	0,54	52,41	2,61
3,20	16,94	54,21	21,34	21,67	99,00	21,28	28,57	0,54	53,90	2,53
3,60	16,94	60,98	25,22	25,61	101,73	22,45	28,57	0,54	55,39	2,47
4,00	16,94	67,76	29,10	29,54	104,47	23,63	28,57	0,54	56,88	2,41
4,40	16,94	74,54	32,97	33,48	107,20	24,81	28,57	0,54	58,36	2,35
4,80	16,94	81,31	36,85	37,42	109,93	25,98	28,57	0,54	59,85	2,30
5,20	16,94	88,09	40,73	41,36	112,67	27,16	28,57	0,54	61,34	2,26
5,60	16,94	94,86	44,61	45,30	115,40	28,34	28,57	0,54	62,83	2,22
6,00	16,93	101,58	48,49	49,24	118,08	29,50	30,66	0,59	69,99	2,37
6,40	16,93	108,35	52,37	53,18	120,81	30,68	30,66	0,59	71,61	2,33
6,80	16,93	115,12	56,25	57,12	123,54	31,85	30,66	0,59	73,23	2,30
7,20	16,93	121,90	60,13	61,06	126,27	33,03	30,66	0,59	74,85	2,27
7,60	16,93	128,67	64,01	65,00	128,99	34,21	30,66	0,59	76,47	2,24
8,00	16,93	135,44	67,89	68,94	131,72	35,38	30,66	0,59	78,09	2,21
8,40	16,93	142,21	71,77	72,88	134,45	36,56	30,66	0,59	79,70	2,18
8,80	16,93	148,98	75,65	76,82	137,18	37,73	30,66	0,59	81,32	2,16
9,00	16,93	152,37	77,59	78,78	138,55	38,32	30,66	0,59	82,13	2,14

Tabella 141: $H_w = 1 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [KN/m ²]	σ'_v [KN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	0,38
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	0,70
1,20	20,29	18,35	1	0,5	15	14,60	14,82	0,96
1,60	27,10	21,28	1	0,5	15	19,49	19,79	1,19
2,00	33,88	24,18	1	0,5	15	24,37	24,75	1,39
2,40	40,66	27,08	1	0,5	15	29,26	29,71	1,57
2,80	47,43	29,97	1	0,5	15	34,15	34,67	1,73
3,20	54,21	32,87	1	0,5	15	39,03	39,63	1,86
3,60	60,98	35,77	1	0,5	15	43,92	44,60	1,99
4,00	67,76	38,66	1	0,5	15	48,81	49,56	2,10
4,40	74,54	41,56	1	0,5	15	53,69	54,52	2,20
4,80	81,31	44,46	1	0,5	15	58,58	59,48	2,29
5,20	88,09	47,35	1	0,5	15	63,46	64,44	2,37
5,60	94,86	50,25	1	0,5	15	68,35	69,41	2,45
6,00	101,58	53,09	1	0,5	15	73,23	74,36	2,52
6,40	108,35	55,98	1	0,5	15	78,11	79,32	2,59
6,80	115,12	58,87	1	0,5	15	82,99	84,27	2,65
7,20	121,90	61,77	1	0,5	15	87,87	89,23	2,70
7,60	128,67	64,66	1	0,5	15	92,75	94,18	2,75
8,00	135,44	67,55	1	0,5	15	97,63	99,14	2,80
8,40	142,21	70,44	1	0,5	15	102,51	104,09	2,85
8,80	148,98	73,34	1	0,5	15	107,39	109,05	2,89
9,00	152,37	74,78	1	0,5	15	109,83	111,52	2,91

Tabella 142: $H_w = 2$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{LIM;L.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	67,28	11,86	26,92	0,51	34,16	2,88
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	73,94	13,04	26,92	0,51	37,55	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	80,60	14,21	26,92	0,51	40,93	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	87,26	15,39	26,92	0,51	44,31	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	93,97	16,57	28,57	0,54	51,16	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	100,64	17,75	28,57	0,54	54,80	3,09
2,40	16,94	40,66	3,88	3,94	103,38	18,92	28,57	0,54	56,28	2,97
2,80	16,94	47,43	7,76	7,88	106,11	20,10	28,57	0,54	57,77	2,87
3,20	16,94	54,21	11,64	11,82	108,85	21,28	28,57	0,54	59,26	2,79
3,60	16,94	60,98	15,52	15,76	111,58	22,45	28,57	0,54	60,75	2,71
4,00	16,94	67,76	19,40	19,70	114,31	23,63	28,57	0,54	62,24	2,63
4,40	16,94	74,54	23,28	23,64	117,05	24,81	28,57	0,54	63,73	2,57
4,80	16,94	81,31	27,16	27,57	119,78	25,98	28,57	0,54	65,21	2,51
5,20	16,94	88,09	31,04	31,51	122,51	27,16	28,57	0,54	66,70	2,46
5,60	16,94	94,86	34,91	35,45	125,25	28,34	28,57	0,54	68,19	2,41
6,00	16,93	101,58	38,79	39,39	127,92	29,50	30,66	0,59	75,83	2,57
6,40	16,93	108,35	42,67	43,33	130,65	30,68	30,66	0,59	77,45	2,52
6,80	16,93	115,12	46,55	47,27	133,38	31,85	30,66	0,59	79,07	2,48
7,20	16,93	121,90	50,43	51,21	136,11	33,03	30,66	0,59	80,69	2,44
7,60	16,93	128,67	54,31	55,15	138,84	34,21	30,66	0,59	82,30	2,41
8,00	16,93	135,44	58,19	59,09	141,57	35,38	30,66	0,59	83,92	2,37
8,40	16,93	142,21	62,07	63,03	144,30	36,56	30,66	0,59	85,54	2,34
8,80	16,93	148,98	65,95	66,97	147,03	37,73	30,66	0,59	87,16	2,31
9,00	16,93	152,37	67,89	68,94	148,40	38,32	30,66	0,59	87,97	2,30

Tabella 143: $H_w = 2 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [kN/m ²]	σ'_v [kN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{S;Sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	0,38
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	0,70
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	0,96
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	1,19
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	1,39
2,40	40,66	36,78	1	0,5	15	29,26	29,71	1,57
2,80	47,43	39,67	1	0,5	15	34,15	34,67	1,73
3,20	54,21	42,57	1	0,5	15	39,03	39,63	1,86
3,60	60,98	45,47	1	0,5	15	43,92	44,60	1,99
4,00	67,76	48,36	1	0,5	15	48,81	49,56	2,10
4,40	74,54	51,26	1	0,5	15	53,69	54,52	2,20
4,80	81,31	54,16	1	0,5	15	58,58	59,48	2,29
5,20	88,09	57,05	1	0,5	15	63,46	64,44	2,37
5,60	94,86	59,95	1	0,5	15	68,35	69,41	2,45
6,00	101,58	62,79	1	0,5	15	73,23	74,36	2,52
6,40	108,35	65,68	1	0,5	15	78,11	79,32	2,59
6,80	115,12	68,57	1	0,5	15	82,99	84,27	2,65
7,20	121,90	71,46	1	0,5	15	87,87	89,23	2,70
7,60	128,67	74,36	1	0,5	15	92,75	94,18	2,75
8,00	135,44	77,25	1	0,5	15	97,63	99,14	2,80
8,40	142,21	80,14	1	0,5	15	102,51	104,09	2,85
8,80	148,98	83,03	1	0,5	15	107,39	109,05	2,89
9,00	152,37	84,48	1	0,5	15	109,83	111,52	2,91

Tabella 144: $H_w = 3$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	$\tan \phi'$	$T_{LIM;L.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	67,28	11,86	26,92	0,51	34,16	2,88
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	73,94	13,04	26,92	0,51	37,55	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	80,60	14,21	26,92	0,51	40,93	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	87,26	15,39	26,92	0,51	44,31	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	93,97	16,57	28,57	0,54	51,16	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	100,64	17,75	28,57	0,54	54,80	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	107,32	18,92	28,57	0,54	58,43	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	113,99	20,10	28,57	0,54	62,06	3,09
3,20	16,94	54,21	1,94	1,97	118,69	21,28	28,57	0,54	64,62	3,04
3,60	16,94	60,98	5,82	5,91	121,43	22,45	28,57	0,54	66,11	2,94
4,00	16,94	67,76	9,70	9,85	124,16	23,63	28,57	0,54	67,60	2,86
4,40	16,94	74,54	13,58	13,79	126,90	24,81	28,57	0,54	69,09	2,79
4,80	16,94	81,31	17,46	17,73	129,63	25,98	28,57	0,54	70,58	2,72
5,20	16,94	88,09	21,34	21,67	132,36	27,16	28,57	0,54	72,06	2,65
5,60	16,94	94,86	25,22	25,61	135,10	28,34	28,57	0,54	73,55	2,60
6,00	16,93	101,58	29,10	29,54	137,77	29,50	30,66	0,59	81,67	2,77
6,40	16,93	108,35	32,97	33,48	140,50	30,68	30,66	0,59	83,29	2,71
6,80	16,93	115,12	36,85	37,42	143,23	31,85	30,66	0,59	84,91	2,67
7,20	16,93	121,90	40,73	41,36	145,96	33,03	30,66	0,59	86,52	2,62
7,60	16,93	128,67	44,61	45,30	148,69	34,21	30,66	0,59	88,14	2,58
8,00	16,93	135,44	48,49	49,24	151,42	35,38	30,66	0,59	89,76	2,54
8,40	16,93	142,21	52,37	53,18	154,15	36,56	30,66	0,59	91,38	2,50
8,80	16,93	148,98	56,25	57,12	156,88	37,73	30,66	0,59	93,00	2,46
9,00	16,93	152,37	58,19	59,09	158,25	38,32	30,66	0,59	93,81	2,45

Tabella 145: $H_w = 3 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [kN/m ²]	σ'_v [kN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	0,38
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	0,70
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	0,96
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	1,19
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	1,39
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	1,57
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	1,73
3,20	54,21	52,27	1	0,5	15	39,03	39,63	1,86
3,60	60,98	55,16	1	0,5	15	43,92	44,60	1,99
4,00	67,76	58,06	1	0,5	15	48,81	49,56	2,10
4,40	74,54	60,96	1	0,5	15	53,69	54,52	2,20
4,80	81,31	63,85	1	0,5	15	58,58	59,48	2,29
5,20	88,09	66,75	1	0,5	15	63,46	64,44	2,37
5,60	94,86	69,65	1	0,5	15	68,35	69,41	2,45
6,00	101,58	72,48	1	0,5	15	73,23	74,36	2,52
6,40	108,35	75,38	1	0,5	15	78,11	79,32	2,59
6,80	115,12	78,27	1	0,5	15	82,99	84,27	2,65
7,20	121,90	81,16	1	0,5	15	87,87	89,23	2,70
7,60	128,67	84,06	1	0,5	15	92,75	94,18	2,75
8,00	135,44	86,95	1	0,5	15	97,63	99,14	2,80
8,40	142,21	89,84	1	0,5	15	102,51	104,09	2,85
8,80	148,98	92,73	1	0,5	15	107,39	109,05	2,89
9,00	152,37	94,18	1	0,5	15	109,83	111,52	2,91

Tabella 146: $H_w = 4$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{LIM;L.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	67,28	11,86	26,92	0,51	34,16	2,88
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	73,94	13,04	26,92	0,51	37,55	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	80,60	14,21	26,92	0,51	40,93	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	87,26	15,39	26,92	0,51	44,31	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	93,97	16,57	28,57	0,54	51,16	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	100,64	17,75	28,57	0,54	54,80	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	107,32	18,92	28,57	0,54	58,43	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	113,99	20,10	28,57	0,54	62,06	3,09
3,20	16,94	54,21	0,00	0,00	120,66	21,28	28,57	0,54	65,70	3,09
3,60	16,94	60,98	0,00	0,00	127,34	22,45	28,57	0,54	69,33	3,09
4,00	16,94	67,76	0,00	0,00	134,01	23,63	28,57	0,54	72,96	3,09
4,40	16,94	74,54	3,88	3,94	136,74	24,81	28,57	0,54	74,45	3,00
4,80	16,94	81,31	7,76	7,88	139,48	25,98	28,57	0,54	75,94	2,92
5,20	16,94	88,09	11,64	11,82	142,21	27,16	28,57	0,54	77,43	2,85
5,60	16,94	94,86	15,52	15,76	144,94	28,34	28,57	0,54	78,91	2,78
6,00	16,93	101,58	19,40	19,70	147,62	29,50	30,66	0,59	87,51	2,97
6,40	16,93	108,35	23,28	23,64	150,35	30,68	30,66	0,59	89,13	2,91
6,80	16,93	115,12	27,16	27,57	153,08	31,85	30,66	0,59	90,74	2,85
7,20	16,93	121,90	31,04	31,51	155,81	33,03	30,66	0,59	92,36	2,80
7,60	16,93	128,67	34,91	35,45	158,54	34,21	30,66	0,59	93,98	2,75
8,00	16,93	135,44	38,79	39,39	161,27	35,38	30,66	0,59	95,60	2,70
8,40	16,93	142,21	42,67	43,33	164,00	36,56	30,66	0,59	97,22	2,66
8,80	16,93	148,98	46,55	47,27	166,73	37,73	30,66	0,59	98,84	2,62
9,00	16,93	152,37	48,49	49,24	168,09	38,32	30,66	0,59	99,64	2,60

Tabella 1427: $H_w = 4 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [KN/m ²]	σ'_v [KN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	0,38
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	0,70
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	0,96
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	1,19
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	1,39
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	1,57
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	1,73
3,20	54,21	54,21	1	0,5	15	39,03	39,63	1,86
3,60	60,98	60,98	1	0,5	15	43,92	44,60	1,99
4,00	67,76	67,76	1	0,5	15	48,81	49,56	2,10
4,40	74,54	70,66	1	0,5	15	53,69	54,52	2,20
4,80	81,31	73,55	1	0,5	15	58,58	59,48	2,29
5,20	88,09	76,45	1	0,5	15	63,46	64,44	2,37
5,60	94,86	79,35	1	0,5	15	68,35	69,41	2,45
6,00	101,58	82,18	1	0,5	15	73,23	74,36	2,52
6,40	108,35	85,08	1	0,5	15	78,11	79,32	2,59
6,80	115,12	87,97	1	0,5	15	82,99	84,27	2,65
7,20	121,90	90,86	1	0,5	15	87,87	89,23	2,70
7,60	128,67	93,75	1	0,5	15	92,75	94,18	2,75
8,00	135,44	96,65	1	0,5	15	97,63	99,14	2,80
8,40	142,21	99,54	1	0,5	15	102,51	104,09	2,85
8,80	148,98	102,43	1	0,5	15	107,39	109,05	2,89
9,00	152,37	103,88	1	0,5	15	109,83	111,52	2,91

Tabella 148: $H_w = 5$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{LIM;L.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	67,28	11,86	26,92	0,51	34,16	2,88
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	73,94	13,04	26,92	0,51	37,55	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	80,60	14,21	26,92	0,51	40,93	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	87,26	15,39	26,92	0,51	44,31	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	93,97	16,57	28,57	0,54	51,16	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	100,64	17,75	28,57	0,54	54,80	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	107,32	18,92	28,57	0,54	58,43	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	113,99	20,10	28,57	0,54	62,06	3,09
3,20	16,94	54,21	0,00	0,00	120,66	21,28	28,57	0,54	65,70	3,09
3,60	16,94	60,98	0,00	0,00	127,34	22,45	28,57	0,54	69,33	3,09
4,00	16,94	67,76	0,00	0,00	134,01	23,63	28,57	0,54	72,96	3,09
4,40	16,94	74,54	0,00	0,00	140,68	24,81	28,57	0,54	76,59	3,09
4,80	16,94	81,31	0,00	0,00	147,36	25,98	28,57	0,54	80,23	3,09
5,20	16,94	88,09	1,94	1,97	152,06	27,16	28,57	0,54	82,79	3,05
5,60	16,94	94,86	5,82	5,91	154,79	28,34	28,57	0,54	84,28	2,97
6,00	16,93	101,58	9,70	9,85	157,47	29,50	30,66	0,59	93,35	3,16
6,40	16,93	108,35	13,58	13,79	160,20	30,68	30,66	0,59	94,96	3,10
6,80	16,93	115,12	17,46	17,73	162,93	31,85	30,66	0,59	96,58	3,03
7,20	16,93	121,90	21,34	21,67	165,66	33,03	30,66	0,59	98,20	2,97
7,60	16,93	128,67	25,22	25,61	168,39	34,21	30,66	0,59	99,82	2,92
8,00	16,93	135,44	29,10	29,54	171,12	35,38	30,66	0,59	101,44	2,87
8,40	16,93	142,21	32,97	33,48	173,85	36,56	30,66	0,59	103,05	2,82
8,80	16,93	148,98	36,85	37,42	176,58	37,73	30,66	0,59	104,67	2,77
9,00	16,93	152,37	38,79	39,39	177,94	38,32	30,66	0,59	105,48	2,75

Tabella 149: $H_w = 5 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [KN/m ²]	σ'_v [KN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	0,38
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	0,70
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	0,96
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	1,19
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	1,39
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	1,57
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	1,73
3,20	54,21	54,21	1	0,5	15	39,03	39,63	1,86
3,60	60,98	60,98	1	0,5	15	43,92	44,60	1,99
4,00	67,76	67,76	1	0,5	15	48,81	49,56	2,10
4,40	74,54	74,54	1	0,5	15	53,69	54,52	2,20
4,80	81,31	81,31	1	0,5	15	58,58	59,48	2,29
5,20	88,09	86,15	1	0,5	15	63,46	64,44	2,37
5,60	94,86	89,04	1	0,5	15	68,35	69,41	2,45
6,00	101,58	91,88	1	0,5	15	73,23	74,36	2,52
6,40	108,35	94,77	1	0,5	15	78,11	79,32	2,59
6,80	115,12	97,67	1	0,5	15	82,99	84,27	2,65
7,20	121,90	100,56	1	0,5	15	87,87	89,23	2,70
7,60	128,67	103,45	1	0,5	15	92,75	94,18	2,75
8,00	135,44	106,34	1	0,5	15	97,63	99,14	2,80
8,40	142,21	109,24	1	0,5	15	102,51	104,09	2,85
8,80	148,98	112,13	1	0,5	15	107,39	109,05	2,89
9,00	152,37	113,58	1	0,5	15	109,83	111,52	2,91

Tabella 150: $H_w = 6$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{LIM;L.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	67,28	11,86	26,92	0,51	34,16	2,88
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	73,94	13,04	26,92	0,51	37,55	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	80,60	14,21	26,92	0,51	40,93	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	87,26	15,39	26,92	0,51	44,31	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	93,97	16,57	28,57	0,54	51,16	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	100,64	17,75	28,57	0,54	54,80	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	107,32	18,92	28,57	0,54	58,43	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	113,99	20,10	28,57	0,54	62,06	3,09
3,20	16,94	54,21	0,00	0,00	120,66	21,28	28,57	0,54	65,70	3,09
3,60	16,94	60,98	0,00	0,00	127,34	22,45	28,57	0,54	69,33	3,09
4,00	16,94	67,76	0,00	0,00	134,01	23,63	28,57	0,54	72,96	3,09
4,40	16,94	74,54	0,00	0,00	140,68	24,81	28,57	0,54	76,59	3,09
4,80	16,94	81,31	0,00	0,00	147,36	25,98	28,57	0,54	80,23	3,09
5,20	16,94	88,09	0,00	0,00	154,03	27,16	28,57	0,54	83,86	3,09
5,60	16,94	94,86	0,00	0,00	160,70	28,34	28,57	0,54	87,49	3,09
6,00	16,93	101,58	0,00	0,00	167,32	29,50	30,66	0,59	99,18	3,36
6,40	16,93	108,35	3,88	3,94	170,05	30,68	30,66	0,59	100,80	3,29
6,80	16,93	115,12	7,76	7,88	172,78	31,85	30,66	0,59	102,42	3,22
7,20	16,93	121,90	11,64	11,82	175,51	33,03	30,66	0,59	104,04	3,15
7,60	16,93	128,67	15,52	15,76	178,24	34,21	30,66	0,59	105,66	3,09
8,00	16,93	135,44	19,40	19,70	180,97	35,38	30,66	0,59	107,27	3,03
8,40	16,93	142,21	23,28	23,64	183,70	36,56	30,66	0,59	108,89	2,98
8,80	16,93	148,98	27,16	27,57	186,43	37,73	30,66	0,59	110,51	2,93
9,00	16,93	152,37	29,10	29,54	187,79	38,32	30,66	0,59	111,32	2,90

Tabella 151: $H_w = 6 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [kN/m ²]	σ'_v [kN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	0,38
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	0,70
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	0,96
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	1,19
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	1,39
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	1,57
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	1,73
3,20	54,21	54,21	1	0,5	15	39,03	39,63	1,86
3,60	60,98	60,98	1	0,5	15	43,92	44,60	1,99
4,00	67,76	67,76	1	0,5	15	48,81	49,56	2,10
4,40	74,54	74,54	1	0,5	15	53,69	54,52	2,20
4,80	81,31	81,31	1	0,5	15	58,58	59,48	2,29
5,20	88,09	88,09	1	0,5	15	63,46	64,44	2,37
5,60	94,86	94,86	1	0,5	15	68,35	69,41	2,45
6,00	101,58	101,58	1	0,5	15	73,23	74,36	2,52
6,40	108,35	104,47	1	0,5	15	78,11	79,32	2,59
6,80	115,12	107,37	1	0,5	15	82,99	84,27	2,65
7,20	121,90	110,26	1	0,5	15	87,87	89,23	2,70
7,60	128,67	113,15	1	0,5	15	92,75	94,18	2,75
8,00	135,44	116,04	1	0,5	15	97,63	99,14	2,80
8,40	142,21	118,94	1	0,5	15	102,51	104,09	2,85
8,80	148,98	121,83	1	0,5	15	107,39	109,05	2,89
9,00	152,37	123,27	1	0,5	15	109,83	111,52	2,91

Tabella 152: $H_w = 7$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{LIM;L.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	67,28	11,86	26,92	0,51	34,16	2,88
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	73,94	13,04	26,92	0,51	37,55	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	80,60	14,21	26,92	0,51	40,93	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	87,26	15,39	26,92	0,51	44,31	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	93,97	16,57	28,57	0,54	51,16	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	100,64	17,75	28,57	0,54	54,80	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	107,32	18,92	28,57	0,54	58,43	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	113,99	20,10	28,57	0,54	62,06	3,09
3,20	16,94	54,21	0,00	0,00	120,66	21,28	28,57	0,54	65,70	3,09
3,60	16,94	60,98	0,00	0,00	127,34	22,45	28,57	0,54	69,33	3,09
4,00	16,94	67,76	0,00	0,00	134,01	23,63	28,57	0,54	72,96	3,09
4,40	16,94	74,54	0,00	0,00	140,68	24,81	28,57	0,54	76,59	3,09
4,80	16,94	81,31	0,00	0,00	147,36	25,98	28,57	0,54	80,23	3,09
5,20	16,94	88,09	0,00	0,00	154,03	27,16	28,57	0,54	83,86	3,09
5,60	16,94	94,86	0,00	0,00	160,70	28,34	28,57	0,54	87,49	3,09
6,00	16,93	101,58	0,00	0,00	167,32	29,50	30,66	0,59	99,18	3,36
6,40	16,93	108,35	0,00	0,00	173,98	30,68	30,66	0,59	103,14	3,36
6,80	16,93	115,12	0,00	0,00	180,65	31,85	30,66	0,59	107,09	3,36
7,20	16,93	121,90	1,94	1,97	185,35	33,03	30,66	0,59	109,88	3,33
7,60	16,93	128,67	5,82	5,91	188,08	34,21	30,66	0,59	111,49	3,26
8,00	16,93	135,44	9,70	9,85	190,81	35,38	30,66	0,59	113,11	3,20
8,40	16,93	142,21	13,58	13,79	193,54	36,56	30,66	0,59	114,73	3,14
8,80	16,93	148,98	17,46	17,73	196,27	37,73	30,66	0,59	116,35	3,08
9,00	16,93	152,37	19,40	19,70	197,64	38,32	30,66	0,59	117,16	3,06

Tabella 153: $H_w = 7 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [kN/m ²]	σ'_v [kN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	0,38
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	0,70
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	0,96
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	1,19
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	1,39
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	1,57
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	1,73
3,20	54,21	54,21	1	0,5	15	39,03	39,63	1,86
3,60	60,98	60,98	1	0,5	15	43,92	44,60	1,99
4,00	67,76	67,76	1	0,5	15	48,81	49,56	2,10
4,40	74,54	74,54	1	0,5	15	53,69	54,52	2,20
4,80	81,31	81,31	1	0,5	15	58,58	59,48	2,29
5,20	88,09	88,09	1	0,5	15	63,46	64,44	2,37
5,60	94,86	94,86	1	0,5	15	68,35	69,41	2,45
6,00	101,58	101,58	1	0,5	15	73,23	74,36	2,52
6,40	108,35	108,35	1	0,5	15	78,11	79,32	2,59
6,80	115,12	115,12	1	0,5	15	82,99	84,27	2,65
7,20	121,90	119,96	1	0,5	15	87,87	89,23	2,70
7,60	128,67	122,85	1	0,5	15	92,75	94,18	2,75
8,00	135,44	125,74	1	0,5	15	97,63	99,14	2,80
8,40	142,21	128,63	1	0,5	15	102,51	104,09	2,85
8,80	148,98	131,53	1	0,5	15	107,39	109,05	2,89
9,00	152,37	132,97	1	0,5	15	109,83	111,52	2,91

Tabella 154: $H_w = 8$; L.T.

z [m]	γ_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{LIM;L.T.}$ [kN/m]	$F_{s;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	67,28	11,86	26,92	0,51	34,16	2,88
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	73,94	13,04	26,92	0,51	37,55	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	80,60	14,21	26,92	0,51	40,93	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	87,26	15,39	26,92	0,51	44,31	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	93,97	16,57	28,57	0,54	51,16	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	100,64	17,75	28,57	0,54	54,80	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	107,32	18,92	28,57	0,54	58,43	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	113,99	20,10	28,57	0,54	62,06	3,09
3,20	16,94	54,21	0,00	0,00	120,66	21,28	28,57	0,54	65,70	3,09
3,60	16,94	60,98	0,00	0,00	127,34	22,45	28,57	0,54	69,33	3,09
4,00	16,94	67,76	0,00	0,00	134,01	23,63	28,57	0,54	72,96	3,09
4,40	16,94	74,54	0,00	0,00	140,68	24,81	28,57	0,54	76,59	3,09
4,80	16,94	81,31	0,00	0,00	147,36	25,98	28,57	0,54	80,23	3,09
5,20	16,94	88,09	0,00	0,00	154,03	27,16	28,57	0,54	83,86	3,09
5,60	16,94	94,86	0,00	0,00	160,70	28,34	28,57	0,54	87,49	3,09
6,00	16,93	101,58	0,00	0,00	167,32	29,50	30,66	0,59	99,18	3,36
6,40	16,93	108,35	0,00	0,00	173,98	30,68	30,66	0,59	103,14	3,36
6,80	16,93	115,12	0,00	0,00	180,65	31,85	30,66	0,59	107,09	3,36
7,20	16,93	121,90	0,00	0,00	187,32	33,03	30,66	0,59	111,04	3,36
7,60	16,93	128,67	0,00	0,00	193,99	34,21	30,66	0,59	115,00	3,36
8,00	16,93	135,44	0,00	0,00	200,66	35,38	30,66	0,59	118,95	3,36
8,40	16,93	142,21	3,88	3,94	203,39	36,56	30,66	0,59	120,57	3,30
8,80	16,93	148,98	7,76	7,88	206,12	37,73	30,66	0,59	122,19	3,24
9,00	16,93	152,37	9,70	9,85	207,49	38,32	30,66	0,59	123,00	3,21

Tabella 155: $H_w = 8 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [kN/m ²]	σ'_v [kN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	0,38
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	0,70
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	0,96
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	1,19
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	1,39
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	1,57
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	1,73
3,20	54,21	54,21	1	0,5	15	39,03	39,63	1,86
3,60	60,98	60,98	1	0,5	15	43,92	44,60	1,99
4,00	67,76	67,76	1	0,5	15	48,81	49,56	2,10
4,40	74,54	74,54	1	0,5	15	53,69	54,52	2,20
4,80	81,31	81,31	1	0,5	15	58,58	59,48	2,29
5,20	88,09	88,09	1	0,5	15	63,46	64,44	2,37
5,60	94,86	94,86	1	0,5	15	68,35	69,41	2,45
6,00	101,58	101,58	1	0,5	15	73,23	74,36	2,52
6,40	108,35	108,35	1	0,5	15	78,11	79,32	2,59
6,80	115,12	115,12	1	0,5	15	82,99	84,27	2,65
7,20	121,90	121,90	1	0,5	15	87,87	89,23	2,70
7,60	128,67	128,67	1	0,5	15	92,75	94,18	2,75
8,00	135,44	135,44	1	0,5	15	97,63	99,14	2,80
8,40	142,21	138,33	1	0,5	15	102,51	104,09	2,85
8,80	148,98	141,23	1	0,5	15	107,39	109,05	2,89
9,00	152,37	142,67	1	0,5	15	109,83	111,52	2,91

Tabella 156: $H_w = 9$; L.T.

z [m]	Y_{ter} [kN/m ³]	W [kN/m]	u [kN/m ²]	U [kN/m]	N' [kN/m]	T [kN/m]	ϕ' [°]	tan ϕ'	$T_{LIM;L.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;L.T.}$
0,00	16,91	0,00	0,00	0,00	67,28	11,86	26,92	0,51	34,16	2,88
0,40	16,91	6,76	0,00	0,00	73,94	13,04	26,92	0,51	37,55	2,88
0,80	16,91	13,53	0,00	0,00	80,60	14,21	26,92	0,51	40,93	2,88
1,20	16,91	20,29	0,00	0,00	87,26	15,39	26,92	0,51	44,31	2,88
1,60	16,94	27,10	0,00	0,00	93,97	16,57	28,57	0,54	51,16	3,09
2,00	16,94	33,88	0,00	0,00	100,64	17,75	28,57	0,54	54,80	3,09
2,40	16,94	40,66	0,00	0,00	107,32	18,92	28,57	0,54	58,43	3,09
2,80	16,94	47,43	0,00	0,00	113,99	20,10	28,57	0,54	62,06	3,09
3,20	16,94	54,21	0,00	0,00	120,66	21,28	28,57	0,54	65,70	3,09
3,60	16,94	60,98	0,00	0,00	127,34	22,45	28,57	0,54	69,33	3,09
4,00	16,94	67,76	0,00	0,00	134,01	23,63	28,57	0,54	72,96	3,09
4,40	16,94	74,54	0,00	0,00	140,68	24,81	28,57	0,54	76,59	3,09
4,80	16,94	81,31	0,00	0,00	147,36	25,98	28,57	0,54	80,23	3,09
5,20	16,94	88,09	0,00	0,00	154,03	27,16	28,57	0,54	83,86	3,09
5,60	16,94	94,86	0,00	0,00	160,70	28,34	28,57	0,54	87,49	3,09
6,00	16,93	101,58	0,00	0,00	167,32	29,50	30,66	0,59	99,18	3,36
6,40	16,93	108,35	0,00	0,00	173,98	30,68	30,66	0,59	103,14	3,36
6,80	16,93	115,12	0,00	0,00	180,65	31,85	30,66	0,59	107,09	3,36
7,20	16,93	121,90	0,00	0,00	187,32	33,03	30,66	0,59	111,04	3,36
7,60	16,93	128,67	0,00	0,00	193,99	34,21	30,66	0,59	115,00	3,36
8,00	16,93	135,44	0,00	0,00	200,66	35,38	30,66	0,59	118,95	3,36
8,40	16,93	142,21	0,00	0,00	207,33	36,56	30,66	0,59	122,90	3,36
8,80	16,93	148,98	0,00	0,00	214,00	37,73	30,66	0,59	126,86	3,36
9,00	16,93	152,37	0,00	0,00	217,33	38,32	30,66	0,59	128,83	3,36

Tabella 157: $H_w = 9 \text{ m}$; B.T.

z [m]	σ_v [KN/m ²]	σ'_v [KN/m ²]	OCR	m	IP	Cu	$T_{LIM;B.T.}$ [kN/m]	$F_{S;sciv;B.T.}$
0,00	0,00	0,00	1	0,5	15	0,00	0,00	0,00
0,40	6,76	6,76	1	0,5	15	4,87	4,94	0,38
0,80	13,53	13,53	1	0,5	15	9,73	9,88	0,70
1,20	20,29	20,29	1	0,5	15	14,60	14,82	0,96
1,60	27,10	27,10	1	0,5	15	19,49	19,79	1,19
2,00	33,88	33,88	1	0,5	15	24,37	24,75	1,39
2,40	40,66	40,66	1	0,5	15	29,26	29,71	1,57
2,80	47,43	47,43	1	0,5	15	34,15	34,67	1,73
3,20	54,21	54,21	1	0,5	15	39,03	39,63	1,86
3,60	60,98	60,98	1	0,5	15	43,92	44,60	1,99
4,00	67,76	67,76	1	0,5	15	48,81	49,56	2,10
4,40	74,54	74,54	1	0,5	15	53,69	54,52	2,20
4,80	81,31	81,31	1	0,5	15	58,58	59,48	2,29
5,20	88,09	88,09	1	0,5	15	63,46	64,44	2,37
5,60	94,86	94,86	1	0,5	15	68,35	69,41	2,45
6,00	101,58	101,58	1	0,5	15	73,23	74,36	2,52
6,40	108,35	108,35	1	0,5	15	78,11	79,32	2,59
6,80	115,12	115,12	1	0,5	15	82,99	84,27	2,65
7,20	121,90	121,90	1	0,5	15	87,87	89,23	2,70
7,60	128,67	128,67	1	0,5	15	92,75	94,18	2,75
8,00	135,44	135,44	1	0,5	15	97,63	99,14	2,80
8,40	142,21	142,21	1	0,5	15	102,51	104,09	2,85
8,80	148,98	148,98	1	0,5	15	107,39	109,05	2,89
9,00	152,37	152,37	1	0,5	15	109,83	111,52	2,91

Fabbisogno energetico e sistema impiantistico

In questo capitolo si descrivono le modalità con cui sono state affrontate le scelte impiantistiche e si spiega in seguito il dimensionamento dei componenti dell'impianto, la collocazione all'interno dell'edificio e il tipo di sistema di distribuzione. Il sistema impiantistico deve essere altamente efficiente, poiché si tratta di un edificio scolastico e poiché l'obiettivo principale è il raggiungimento della classe energetica A. Punto di partenza è una valutazione preliminare economica ed ambientale di diversi tipi di impianto. Sulla base dei risultati si scelgono le tecnologie che permettono la produzione di energia pulita. Un attento studio dei fabbisogni ha permesso il corretto dimensionamento degli impianti. Sono due le tipologie di impianto studiate: il sistema di riscaldamento, raffrescamento ed eventuale condizionamento dell'edificio e il sistema di trattamento dell'aria, considerando che in una scuola elementare la qualità dell'aria è molto importante.

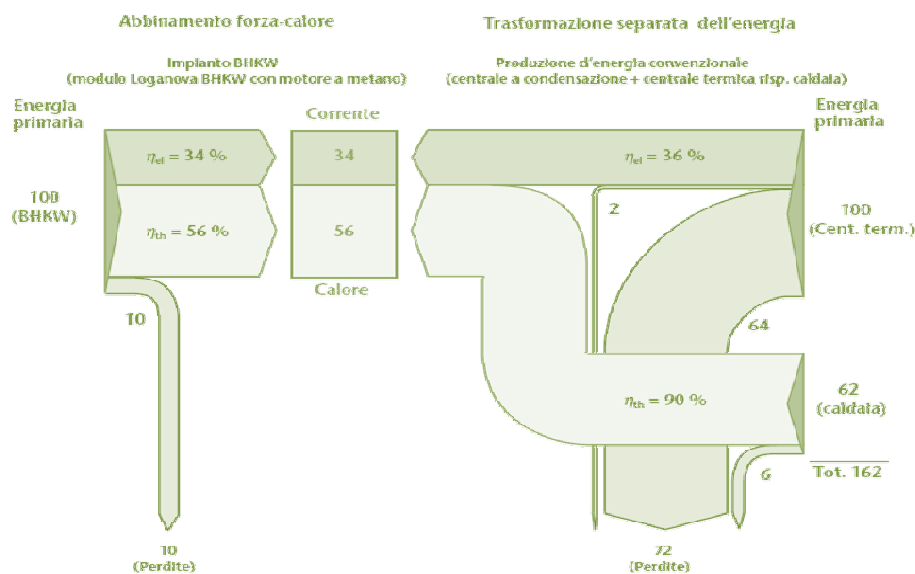


Figura 1: Risparmio energetico della cogenerazione

8.1 La cogenerazione

Con il termine cogenerazione si indica la produzione contemporanea di energia elettrica e termica partendo da un'unica fonte di energia primaria. I sistemi a cogenerazione o CHP (Combined Haet Power) consentono di ottimizzare l'utilizzo di energia primaria riducendo i costi di produzione e le emissioni di inquinanti.

In un sistema tradizionale la produzione di energia elettrica è demandata ad una centrale di produzione da cui si dirama la rete di distribuzione che raggiunge le diverse utenze. L'energia termica invece viene prodotta localmente con una caldaia. In un sistema cogenerativo la produzione di energia elettrica e termica non è più separata, ma congiunta in un unico impianto. Questo è generalmente composto da un motore primo, da un alternatore per la produzione di energia elettrica e da un recuperatore dell'energia termica di scarto, che può provenire dal raffreddamento del motore o dai fumi di scarico. Dal confronto tra i due sistemi emerge che per ottenere le stesse quantità di energia occorre utilizzare, nel caso di produzione separata, 159 unità di energia primaria contro le 100 unità nella produzione in cogenerazione. L'assenza della rete di distribuzione in un impianto a cogenerazione permette di avere una maggiore efficienza e di ridurre notevolmente le perdite.

Nel bilancio energetico del sistema tradizionale si ha una percentuale di perdite prossima a quella dell'energia utile producibile, viceversa in un sistema a cogenerazione le perdite si riducono al 15% e l'energia utile è notevolmente maggiore pur utilizzando una minor quantità di energia primaria.

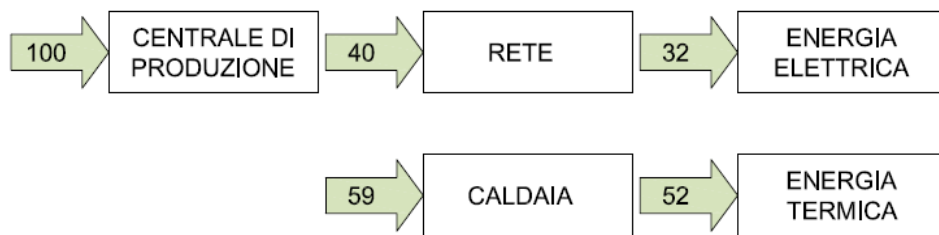


Figura 2: Bilancio energetico sistema tradizionale

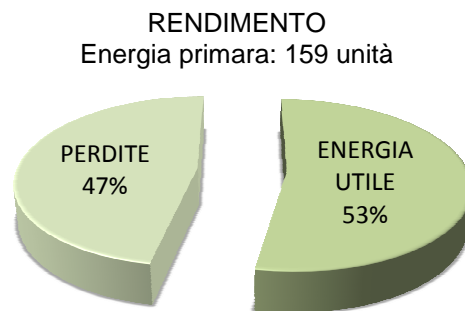


Grafico 1: Rendimento sistema tradizionale

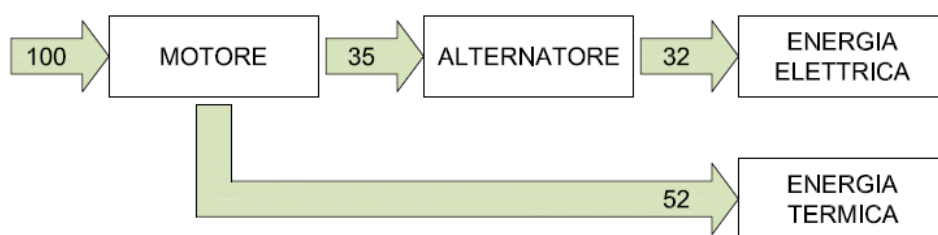


Figura 3: Bilancio energetico sistema cogenerativo

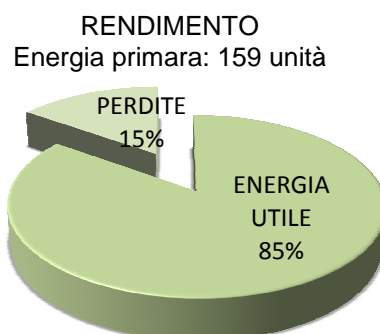


Grafico 2: Rendimento sistema cogenerativo

Per uno sviluppo sostenibile è necessario ridurre l'utilizzo di combustibili fossili, incrementandone l'efficienza di utilizzo o sostituendoli con fonti di energia alternative e rinnovabili. Lo stesso Parlamento Europeo ha riconosciuto nella cogenerazione, ovvero nella produzione combinata di energia elettrica e calore, un mezzo valido per il raggiungimento degli obiettivi del protocollo di Kyoto. Oltre ai tradizionali combustibili fossili e al metano, un motore di cogenerazione può essere alimentato da combustibili alternativi che permettono di limitare le emissioni di sostanze climalteranti. Tra le fonti rinnovabili si può ricorrere all'utilizzo di diverse forme di biomassa: materiali e residui di origine agricola e forestale, scarti dell'industria agroalimentare, rifiuti urbani, reflui di origine zootecnica. Le biomasse si possono considerare fonti di energia rinnovabile purché il loro impiego non sia superiore alla capacità di rinnovamento biologico. L'utilizzo delle biomasse non solo ha effetti positivi sul contenimento delle emissioni di CO₂, ma può rappresentare una soluzione di altri problemi ambientali, come per esempio l'eliminazione dei rifiuti. Le biomasse possono essere utilizzate attraverso la combustione diretta, la trasformazione in combustibili liquidi, la produzione di biogas, la produzione di biomasse lignocellulosiche a partire dal legno. Si può parlare di biomassa legnosa con la combustione di cippato di legna nelle caldaie o con la pirogassificazione del legno per la produzione di biogas. Esistono anche applicazioni con l'utilizzo di biomasse vegetali per l'alimentazione dei motori ad olio vegetale, quali olio di palma e di girasole.

8.2 Valutazione preliminare

La scelta del tipo di impianto è anche basata su dati di tipo economico. Sono stati infatti stimati i costi necessari per la produzione di 100 kWh di energia elettrica e 150 kWh di energia termica in diverse soluzioni impiantistiche.

Soluzione 1: impianto con pompa di calore.

In questo caso l'energia elettrica necessaria al funzionamento dell'edificio viene acquistata dalla rete di distribuzione ad un costo pari a 0,18 €/kWhe. Analogamente accade per l'energia elettrica necessaria al funzionamento della pompa stessa che però ha un costo inferiore poiché non è classificata come energia elettrica ad uso generico, ma specifico per alimentazione di pompa di calore ed è pari a 0,14 €/kWhe. Per determinare l'energia necessaria per la produzione di 150 kWht è sufficiente effettuare il rapporto tra la quantità di energia da produrre e il rendimento medio reale della pompa di calore COP, in questo caso assunto pari a 3,80. Avere un valore di COP pari a 3,8 indica che per ogni kWh d'energia elettrica consumato, la pompa di calore renderà 3,8 kWh di calore. Sommando infine il costo delle energie in gioco si ottiene un totale pari a 23,53 €.

Tabella 1: Valutazione economica soluzione 1

SOLUZIONE 1: POMPA DI CALORE		
Produzione di	100	kWhe
Produzione di	150	kWht
Costo unitario energia elettrica uso generico	0,18	€/kWhe
Costo unitario energia elettrica uso PDC	0,14	€/kWhe
ENERGIA ELETTRICA		
Costo totale energia elettrica	18	€
ENERGIA TERMICA		
COP	4,50	%
COP reale medio	3,80	%
Energia elettrica necessaria	39,47	kWhe
Costo totale energia elettrica	5,53	€
COSTO TOTALE	23,53	€

Si determina inoltre la quantità di emissioni di gas inquinanti per la produzione dell'energia con l'utilizzo delle tecnologie in esame. Si utilizzano gli stessi fattori di conversione forniti per la compilazione dell'inventario di base delle emissioni, in particolare per la produzione di un kWh elettrico si stima un totale di kg di CO₂ emessa pari a 0,531 e per ogni mc di gas bruciato si stima un totale di kg di CO₂ emessa pari a 2. In questo caso si calcola un valore totale pari a 74 kg di CO₂ emessa per la produzione di 100 kWhe e 150 kWht.

Tabella 2: Emissioni CO₂ soluzione 1

kWhe	139
kg CO ₂ prodotta per kWhe	0,531
mc gas bruciato	0
kg CO ₂ prodotta per mc gas bruciato	2
Emissione totale CO₂	74

Soluzione 2: impianto di cogenerazione con autoconsumo.

In questo caso l'energia elettrica e quella termica sono prodotte direttamente dallo stesso impianto e non è necessario alcun acquisto di energia elettrica dalla rete. Si ipotizza che tutta l'energia elettrica prodotta serva per il funzionamento dell'impianto stesso. Si valuta quindi il costo del combustibile utilizzato per la produzione di 100 kWhe e 150 kWht. Noto il potere calorifico inferiore del gas, pari a 9,60 kWh/mc, e il rendimento medio annuo dell'impianto pari a 0,75, si determina il consumo totale dividendo l'energia da produrre, 250 kWh, per il potere calorifico del gas e dividendo di nuovo per il rendimento, ottenendo un valore pari a 37,20 mc di gas consumato. Inoltre se l'impianto viene classificato come impianto di teleriscaldamento una percentuale pari a circa il 75% di combustibile viene defiscalizzata. Il costo totale dunque risulta pari a 20,66 € a cui si deve aggiungere il costo di manutenzione, per un totale complessivo si 22,46 €.

Tabella 3: Valutazione economica soluzione 2

SOLUZIONE 2: COGENERATORE CON AUTOCONSUMO		
Produzione di	100	kWhe
Produzione di	150	kWht
Funzionamento	1	ora
Rendimento medio annuo	0,75	%
Potere calorifico inferiore gas	9,60	kWh/mc
Consumo di gas totale	34,72	mc
Percentuale gas defiscalizzata	75	%
Costo unitario gas tariffa piena	0,73	€/mc
Costo unitario gas defiscalizzato	0,55	€/mc
Costo totale	20,66	€
Costo manutenzione	1,80	€/ora
COSTO TOTALE	22,46	€

Si determinano ora le emissioni prodotte dell'utilizzo di questo impianto per un totale pari a 123 kg di CO₂.

Tabella 4: Emissioni CO₂ soluzione 2

kWhe	100
kg CO ₂ prodotta per kWhe	0,531
mc gas bruciato	34,72
kg CO ₂ prodotta per mc gas bruciato	2
Emissione totale CO₂	123

Soluzione 3: impianto di cogenerazione con vendita alla rete.

La soluzione si differenzia dalla precedente poiché si ipotizza che l'energia elettrica necessaria all'utenza sia acquistata direttamente dalla rete e che l'energia elettrica prodotta dalla cogenerazione venga venduta alla rete stessa. Al costo totale ottenuto dal caso precedente occorre sottrarre il ricavo della vendita: noto il prezzo dell'energia elettrica pari a 0,075 €/kWh, si stima un ricavo totale pari a 7,5 €. Al valore così ottenuto si deve aggiungere il costo dell'energia elettrica acquistata dalla rete, pari a 18 €. Si nota subito come questa soluzione sia poco vantaggiosa, poiché il prezzo di vendita di energia alla rete è molto inferiore rispetto a quello di acquisto.

Tabella 5: Valutazione economica soluzione 3

SOLUZIONE 3: COGENERATORE CON VENDITA		
Produzione di	100	kWh
Produzione di	150	kWh
Funzionamento	1	ora
Rendimento medio annuo	0,75	%
Potere calorifico inferiore gas	9,60	kWh/mc
Consumo di gas totale	34,72	mc
Percentuale gas defiscalizzata	75	%
Costo unitario gas tariffa piena	0,73	€/mc
Costo unitario gas defiscalizzato	0,55	€/mc
Costo totale	20,66	€
Costo manutenzione	1,80	€/ora
Costo energia elettrica fittizio di acquisto	18	€
Energia elettrica venduta alla rete	100	kWh
Prezzo energia elettrica venduta	0,075	€/kWh
Guadagno totale	7,5	€
COSTO TOTALE	32,96	€

Si determinano ora le emissioni prodotte dell'utilizzo di questo impianto per un totale pari a 176 kg di CO₂. Si nota come anche dal punto di vista ambientale questa soluzione sia poco vantaggiosa.

Tabella 6: Emissioni CO₂ soluzione 3

kWh	200
kg CO ₂ prodotta per kWh	0,531
mc gas bruciato	34,72
kg CO ₂ prodotta per mc gas bruciato	2
Emissione totale CO₂	176

Soluzione 4: caldaia a condensazione.

L'ultimo caso esaminato è quello della classica caldaia a condensazione. L'energia elettrica viene acquistata direttamente dalla rete, mentre per la produzione di energia termica si devono stimare i mc di gas consumato a seconda del rendimento della caldaia e quindi i costi di produzione. Si determina un costo totale pari a 29,64 €.

Tabella 7: Valutazione economica soluzione 4

SOLUZIONE 4: CALDAIA		
Produzione di	100	kWhe
Produzione di	150	kWht
Costo unitario energia elettrica uso generico	0,18	€/kWhe
ENERGIA ELETTRICA		
Costo totale energia elettrica	18,00	€
ENERGIA TERMICA		
Rendimento medio annuo caldaia	98,00	%
Potere calorifico inferiore gas	9,60	kWh/mc
Consumo gas metano	15,94	mc
Costo unitario gas tariffa piena	0,73	€/mc
Costo totale energia termica	11,64	€
COSTO TOTALE	29,64	€

Si determinano ora le emissioni prodotte dell'utilizzo di questo impianto per un totale pari a 176 kg di CO₂. Si nota come anche dal punto di vista ambientale questa soluzione sia poco vantaggiosa.

Tabella 8: Emissioni CO₂ soluzione 4

kWhe	100
kg CO ₂ prodotta per kWhe	0,531
mc gas bruciato	15,94
kg CO ₂ prodotta per mc gas bruciato	2
Emissione totale CO₂	85

Conclusioni

Si confrontano ora i risultati ottenuti dalla valutazione preliminare sia dal punto di vista economico che ambientale per poter adottare la soluzione migliore.

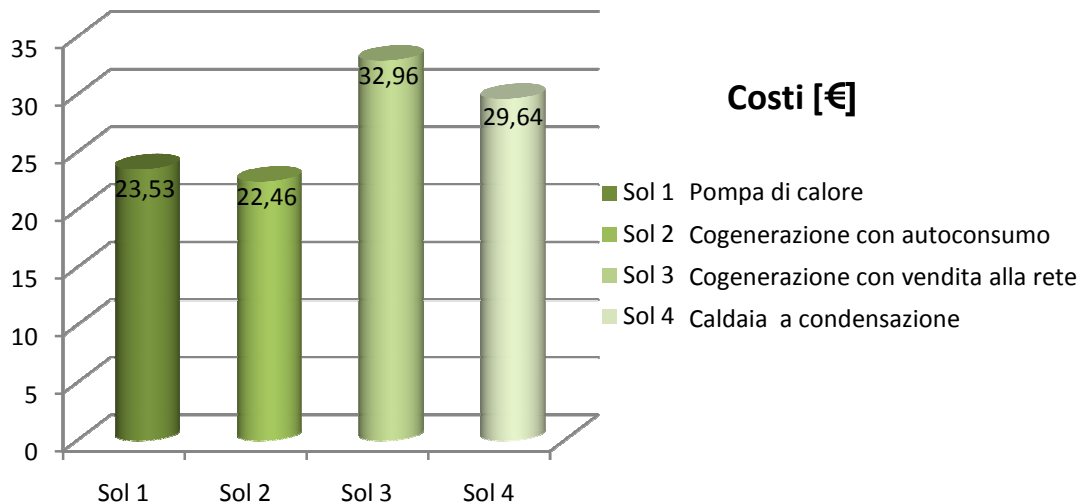


Grafico 3: Stima dei costi

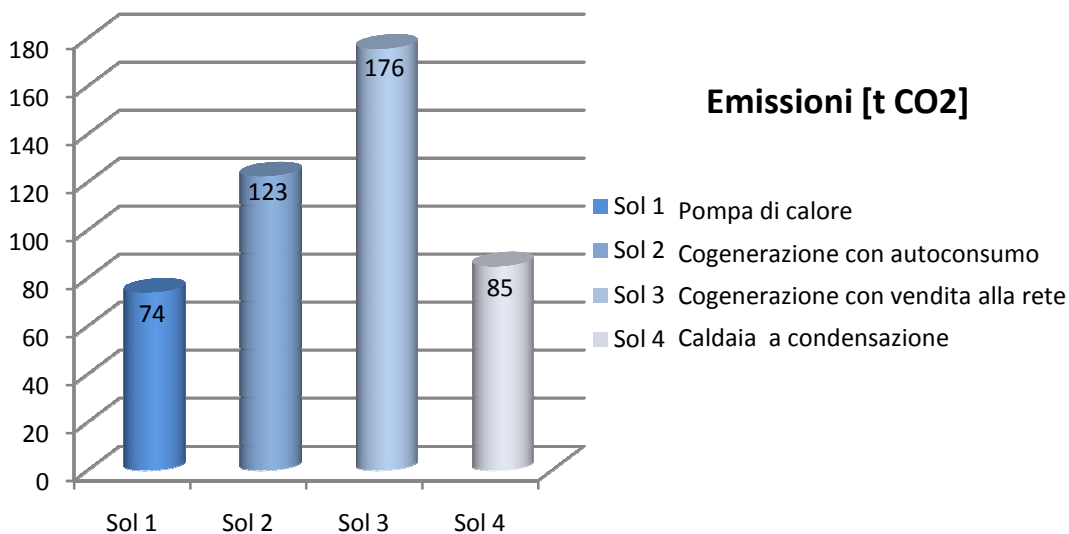


Grafico 4: Stima delle emissioni

Dal confronto dei dati emerge che la terza soluzione è la peggiore sia economicamente che dal punto di vista della sostenibilità. La soluzione meno costa è quella con la cogenerazione con autoconsumo mentre la meno impattante è la pompa di calore. Si è deciso dunque di accoppiare le due tecnologie per avere maggiori vantaggi economici e per ridurre le emissioni di inquinanti. È prevista comunque una caldaia a condensazione ausiliaria per far fronte ai picchi di carico termico. Si sottolinea inoltre che l'impianto di cogenerazione è di piccola taglia, ma vuole essere un esempio significativo di progettazione integrata e sostenibile dai punti di vista sia economico che ambientale.

8.3 La centrale termica

La corretta progettazione di un impianto a cogenerazione necessita di uno studio preliminare di fattibilità: requisiti fondamentali sono elevate potenze termiche ed elettriche, consumi costanti o variabili nel tempo ma nelle stesse proporzioni, una potenza elettrica del cogeneratore superiore del 10% rispetto alla potenza termica delle caldaie ed infine una bassa temperatura del fluido vettore (inferiore a 90°C).

È necessaria una valutazione successiva che tenga conto della destinazione d'uso dell'edificio, del clima della località, del numero di ore di funzionamento dell'impianto e dell'andamento dei carichi elettrici, termici e frigoriferi giornalieri e stagionali.

Nel caso in esame si prevede la progettazione di una centrale termica che serva tutte le utenze del nuovo centro polifunzionale: scuola elementare, palestra comunale, biblioteca comunale, municipio, ambulatorio medico, poste e centro diurno per anziani. La centrale termica sarà composta da un impianto di micro cogenerazione integrato con una pompa di calore, sonde geotermiche, pannelli fotovoltaici e solari termici, per la produzione di energia elettrica e calore. La distribuzione dell'energia avverrà con una rete di teleriscaldamento che raggiunge ogni singolo edificio. Ognuno di questi ospiterà una sottostazione studiata a seconda del tipo di edificio, della sua destinazione d'uso e delle esigenze da soddisfare. Lo schema tipo di una sottostazione potrà contenere impianti radianti per riscaldamento e raffrescamento, un bollitore per la produzione di acqua calda sanitaria, batteria UTA con recuperatore di calore per il trattamento dell'aria e la ventilazione dei locali e dei gruppi frigoriferi o chiller per l'eventuale necessità di condizionamento.

La centrale termica generale sarà composta da un impianto di cogenerazione e una pompa di calore collegata a sonde geotermiche.

Come già accennato la cogenerazione consente di produrre contemporaneamente energia termica ed elettrica con un risparmio sull'utilizzo di energia primaria e quindi con minor emissioni di gas inquinanti, come schematizzato dalla figura seguente.

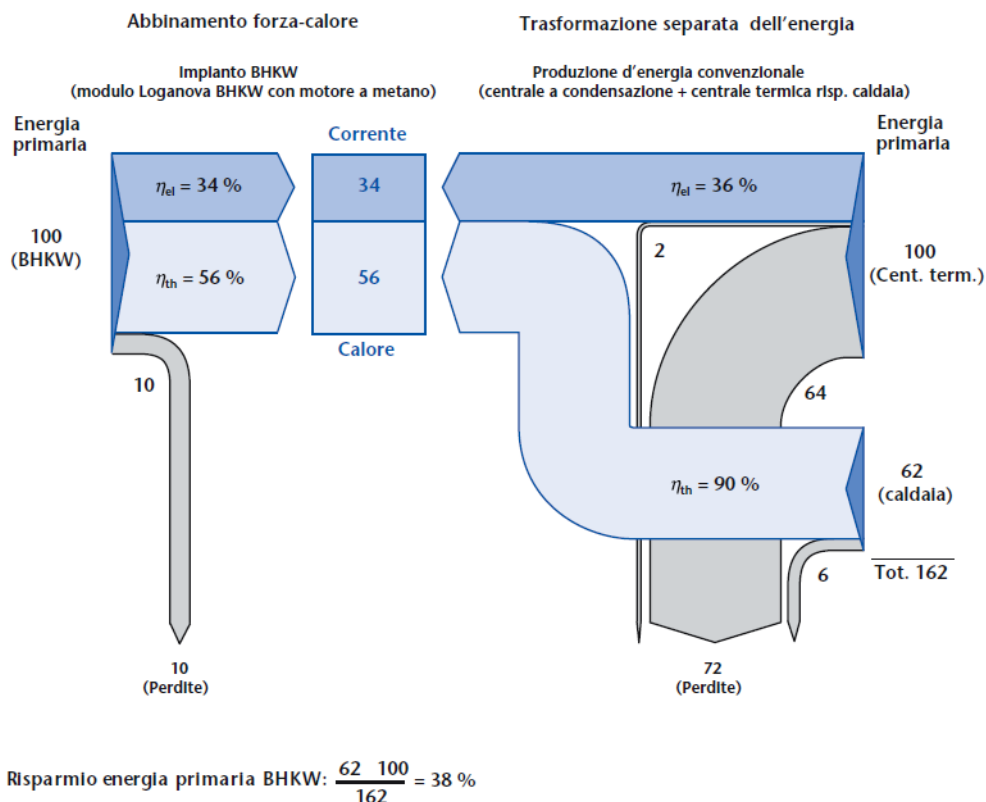


Figura 4: Risparmio energia primaria in un sistema a cogenerazione

Un sistema a cogenerazione è generalmente composto da un motore primo collegato ad un alternatore per la produzione di energia elettrica e da scambiatori di calore per il recupero dell'energia termica. Il motore (macchina operativa) aziona il generatore (macchina motrice). Il generatore produce corrente per l'autoconsumo, in genere essa è direttamente consumata dall'impianto, viceversa la corrente in eccesso può essere immessa in rete. Il calore sviluppato dal funzionamento del motore viene assorbito nel cosiddetto "circuitto di raffreddamento interno" che insieme al calore recuperato dai fumi di scarico viene trasmesso al sistema di riscaldamento, mediante uno scambiatore di calore a piastre.

I vantaggi principali della cogenerazione termoelettrica sono lo sfruttamento dell'energia fino al 90% con perdite minime ridotte al 10% e un risparmio di energia primaria fino al 40% rispetto alla produzione separata.

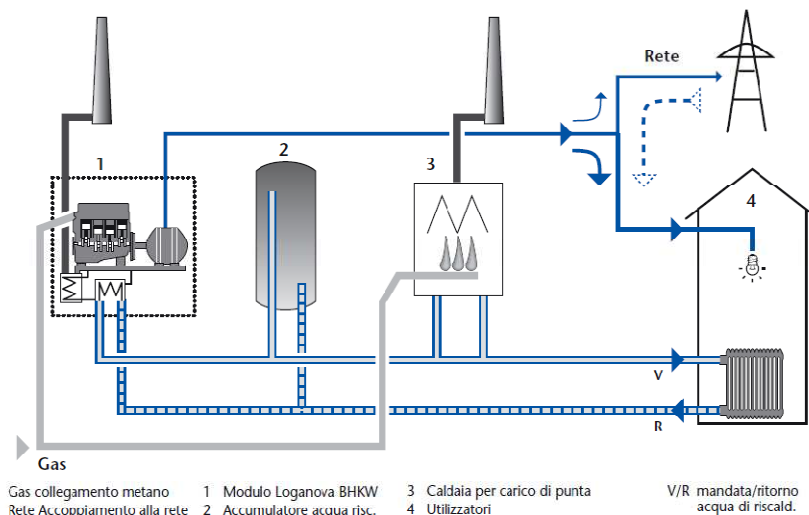


Figura 5: Schema di un impianto di cogenerazione

Per poter dimensionare correttamente un cogeneratore è necessario comprendere i meccanismi di funziono manto e regolazione. Si ipotizzano i due casi estremi dove la regolazione è effettuata o sul carico elettrico o sul carico termico.

Regolazione su carico elettrico

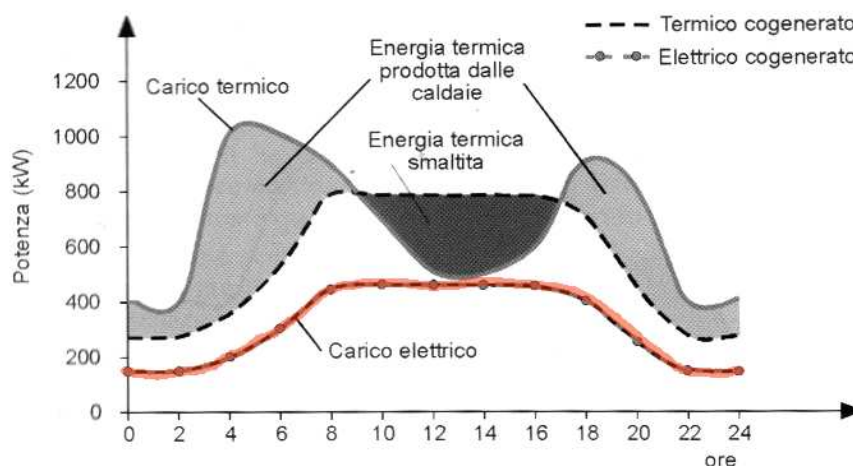


Figura 6: Profilo impianto regolato su carico elettrico

Il grafico mostra l'andamento del carico elettrico di un edificio nell'arco della giornata. Si nota come esso non sia costante, quindi la taglia del cogeneratore dovrà essere tale da riuscire a sopperire i picchi di carico elettrico. Si ipotizza inoltre che l'energia elettrica richiesta sia direttamente prodotta dall'impianto e non acquistata dalla rete. La curva di potenza termica cogenerata coincide dunque con la curva di carico elettrico. Questa situazione comporta l'insorgere di due problematiche: in corrispondenza dei picchi termici sarà indispensabile l'utilizzo di caldaie, mentre in corrispondenza dei minimi carichi termici si avrà un surplus di energia cogenerata che dovrà essere smaltita. Lo smaltimento in atmosfera di troppa energia in eccesso può compromettere la sostenibilità dell'impianto.

Regolazione su carico termico

Per non avere alcuno smaltimento di energia termica in atmosfera, si ipotizza che la curva di potenza termica cogenerata coincida con la curva di carico termico. La taglia del cogeneratore dovrà essere tale da riuscire a sopperire i picchi di carico termico. In questo caso non c'è necessità di smaltire energia termica in eccesso e nemmeno di integrare caldaie all'impianto. Tuttavia in corrispondenza dei picchi termici e dei minimi elettrici si avrà una produzione elevata di energia elettrica cogenerata che dovrà essere venduta alla rete; mentre in corrispondenza dei minimi termici e quindi dei picchi elettrici la produzione di energia elettrica cogenerata non sarà sufficiente e dovrà essere integrata con l'acquisto dalla rete.

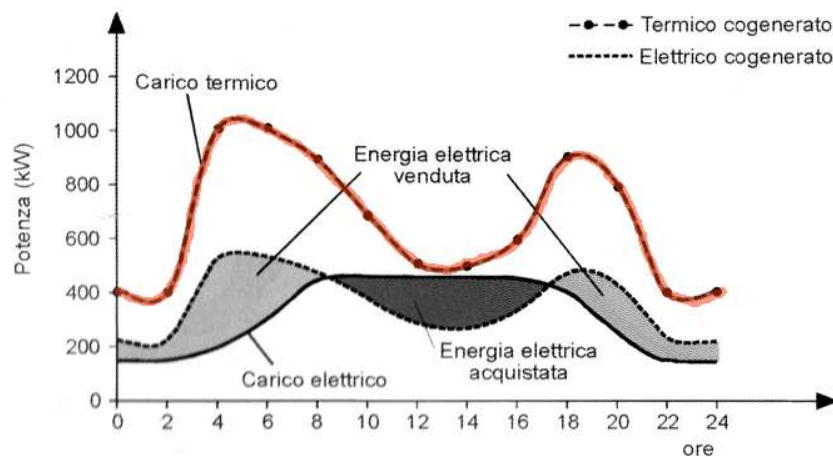


Figura 7: Profilo impianto regolato su carico termico

Funzionamento ottimale

In conclusione si deve evitare di avere un impianto con funzionamento parzializzato e di avere smaltimento di calore eccessivo. Il cogeneratore deve funzionare sempre a pieno carico: l'energia elettrica dovrebbe essere totalmente consumata o venduta alla rete e l'energia termica non dovrebbe essere mai smaltita. È necessario garantire un funzionamento continuo dell'impianto che conti dalle 4000 alle 6000 ore di funzionamento annuo a pieno carico. In genere la potenza del cogeneratore è pari al 20-30% dei carichi termici. Il funzionamento continuo dell'impianto garantisce la massima resa energetica, esso dovrà essere integrato per sopperire ai picchi. Sono necessarie caldaie a condensazione per i picchi termici e il deficit di energia elettrica è colmato con l'acquisto diretto dalla rete.

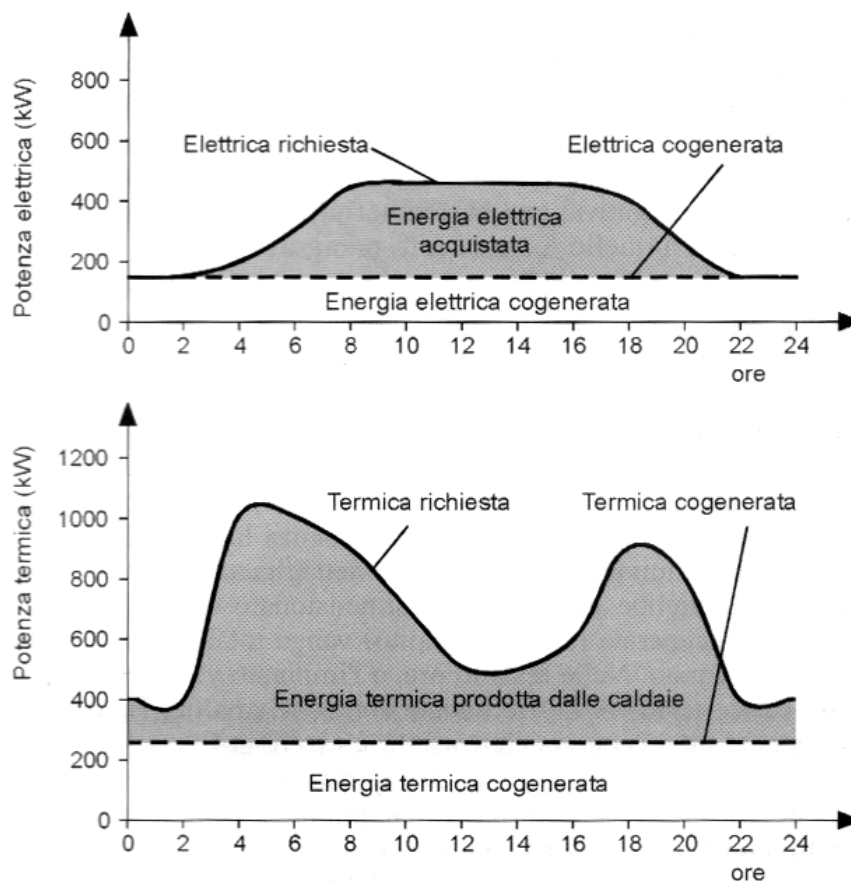


Figura 8: Profili di funzionamento del periodo invernale

L'impianto di cogenerazione è integrato con una caldaia a condensazione e una pompa di calore geotermica.

La pompa di calore è un dispositivo che permette di trasferire calore da un sistema ad una certa temperatura ad un sistema a temperatura superiore. Essa è costituita da un circuito chiuso all'interno del quale circola il liquido refrigerante, che assume lo stato liquido o solido in relazione alle condizioni di temperatura e pressione in cui si trova. Il circuito comprende:

- un evaporatore: il fluido allo stato liquido assorbe calore dall'esterno ed evapora;
- un compressore: condizioni di pressione e temperatura tali da garantire il passaggio di fase da gassoso a liquido;
- un condensatore: il fluido allo stato gassoso cede calore all'esterno e condensa;
- una valvola di espansione: condizioni di pressione e temperatura tali da garantire il passaggio di fase da liquido a gassoso.

Spesso le pompe di calore sono collegate a sonde geotermiche che consentono di sfruttare i meccanismi di scambio termico nel sottosuolo per ridurre la differenza di temperatura tra il fluido in entrata e quello in uscita, con il conseguente risparmio di energia per il funzionamento della pompa.

Il sistema centrale funziona nel modo seguente: il cogeneratore garantisce la produzione di energia elettrica per il funzionamento della centrale e quindi della caldaia a condensazione e della pompa di calore. L'energia elettrica in surplus sarà venduta alla rete. Inoltre il cogeneratore produce l'energia termica necessaria al circuito caldo con fluido vettore a 70°C. Questo è collegato ad una caldaia a condensazione che si attiva solo nel caso in cui la potenza installata non riesca a fornire l'energia termica richiesta. Alla pompa di calore è demandata la produzione di energia termica per il circuito freddo con fluido vettore a 35°C o 13°C a seconda della stagione invernale o estiva. La produzione di energia elettrica, esclusa l'alimentazione impiantistica, è demandata all'impianto fotovoltaico. La distribuzione infine dell'energia avviene mediante una rete di teleriscaldamento che collega la centrale alle sottostazioni di ogni edificio.

*Vedi in allegato TAVOLA 65 - Planimetria: Rete di teleriscaldamento
Vedi in allegato TAVOLA 66 – Schema impiantistico generale*

8.4 Dimensionamento della centrale termica

Per il dimensionamento della centrale è necessario stimare per ogni edificio la potenza termica, la potenza di ventilazione e la potenza per la produzione di acqua calda sanitaria qualora sia necessaria.

Il calcolo delle potenze per la scuola elementare è supportato dall'utilizzo del software Edilclima (vedi paragrafo 1.5). Per gli altri edifici le potenze sono state stimate: la potenza termica si assume pari a quella della scuola elementare considerato che tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno avere un involucro molto performante, al massimo il valore potrà essere leggermente aumentato. La potenza di ventilazione invece si calcola utilizzando i valori di ricambi d'aria espressi in m³/s a persona desunti dalla norma UNI 10339.

Si riportano le tabelle riassuntive con i valori di potenza termica e di ventilazione per ogni edificio.

Tabella 9: Potenze termiche utenze

EDIFICIO	V [m ³]	Pt [W/m ³]	Pt [W]
Scuola elementare	9517	7,7	73281
Palestra Comunale	2172	20	43440
Municipio	1890	12	22680
Biblioteca Comunale	600	12	7200
Ambulatorio Medico	300	12	3600
Poste	390	12	4680
Centro Diurno Anziani	330	12	3960

Tabella 10: Potenze di ventilazione utenze

EDIFICIO	V [m ³]	Utenza Max	m ³ /s a pers	m ³ /h	vol/h	Pv [W]
Scuola elementare	9517	280	-	-	-	41664
Palestra Comunale	2172	50	0,0165	2970	1,37	9302
Municipio	1890	20	0,011	792	0,42	2481
Biblioteca Comunale	600	20	0,006	432	0,72	1353
Ambulatorio Medico	300	20	0,006	432	1,44	1353
Poste	390	10	0,006	216	0,55	677
Centro Diurno Anziani	330	15	0,006	324	0,98	1015

Tabella 11: Potenze totali utenze

EDIFICIO	Pt [W]	Pv [W]	Pg [W]
Scuola elementare	31822	41664	73486
Palestra Comunale	43440	9302	52742
Municipio	22680	2481	25161
Biblioteca Comunale	7200	1353	8553
Ambulatorio Medico	3600	1353	4953
Poste	4680	677	5357
Centro Diurno Anziani	3960	1015	4975

Il calcolo della potenza necessaria per la produzione di acqua calda sanitaria si effettua solo per la scuola elementare e la palestra. Si stimano i consumi considerando ogni apparecchio presente nell'edificio con i relativi consumi. Si considerano i fattori di contemporaneità di utilizzo pari a 0,7 nella scuola elementare e ad 1 nella palestra e si determina la quantità di acqua richiesta nel periodo di punta moltiplicando i consumi totali per il fattore di contemporaneità. Note infine le temperature di utilizzo dell'acqua si determinano la quantità di calore necessaria e il volume d'accumulo. Inoltre poiché è previsto l'utilizzo di pannelli solari termici, il volume utile è pari al doppio del valore calcolato.

La potenza necessaria per la produzione di acqua calda sanitaria è pari al calore orario Q_h , ricordando che $1 \text{ kW} = 860 \text{ kcal/h}$.

Tabella 12: ACS scuola elementare

ACS SCUOLA ELEMENTARE			
APPARECCHIO	Consumo	Numero	Consumo
	l	n	l
Vasca da bagno (170x70)	200	0	0
Vasca da bagno (105x70)	120	0	0
Doccia	60	0	0
Lavabo	15	35	525
Bidet	10	1	10
Lavello	20	3	60
Fattore di contemporaneità	F	0-1	0,8
Acqua richiesta nel periodo di punta	C	1	476
Periodo di punta	tpu	h	0,7
Periodo di preriscaldamento	tpr	h	0,5
Temperatura di utilizzo acqua	tu	°C	45
Temperatura acqua fredda	tf	°C	10
Temperatura di accumulo acqua	ta	°C	50
Calore totale	$Q_t = C \cdot (t_u - t_f)$	kcal/h	16.660
Calore orario	$Q_h = Q_t / (t_{pr} + t_{pu})$	kcal/h	13.883
Calore da accumulare	$Q_a = Q_h \cdot t_{pr}$	kcal/h	6.942
Volume	$V = Q_a / (t_a - t_f)$	LT	174
VOLUME ASSUNTO		LT	200
Serbatoio ACS solare		LT	400
Potenza ACS		kW	16

Tabella 13: ACS palestra comunale

ACS PALESTRA COMUNALE			
APPARECCHIO	Consumo	Numero	Consumo
	l	n	l
Vasca da bagno (170x70)	200	0	0
Vasca da bagno (105x70)	120	0	0
Doccia	60	12	720
Lavabo	15	10	150
Bidet	10	2	20
Lavello	20	0	0
Fattore di contemporaneità	F	0-1	1
Acqua richiesta nel periodo di punta	C	1	890
Periodo di punta	tpu	h	0,5
Periodo di preriscaldamento	tpr	h	0,5
Temperatura di utilizzo acqua	tu	°C	45
Temperatura acqua fredda	tf	°C	10
Temperatura di accumulo acqua	ta	°C	50
Calore totale	$Q_t = C \cdot (t_u - t_f)$	kcal/h	31.150
Calore orario	$Q_h = Q_t / (t_{pr} + t_{pu})$	kcal/h	31.150
Calore da accumulare	$Q_a = Q_h \cdot t_{pr}$	kcal/h	15.575
Volume	$V = Q_a / (t_a - t_f)$	LT	389
VOLUME ASSUNTO		LT	500
Potenza ACS		kW	36

Dopo aver calcolato le potenze totali si determinano le potenze per la bassa e l'alta temperatura. In questo caso si è deciso di utilizzare la pompa di calore per il circuito delle basse temperature e la caldaia a condensazione unita al cogeneratore per il circuito delle alte temperature.

Note le potenze totali si deve considerare il rendimento globale del sistema, pari al prodotto di tre rendimenti:

- Rendimento di regolazione: 0,96
- Rendimento di distribuzione: 0,95
- Rendimento di emissione: 0,97

Le potenze ottenute si devono moltiplicare per il rendimento globale, pari a 0,88 che tiene conto di tutte le perdite del sistema. Note le potenze effettive si devono calcolare quelle contemporanee per evitare di sovradimensionare l'impianto.

Si considerano i seguenti fattori di contemporaneità:

- Contemporaneità Pt: 0,9
- Contemporaneità Pv: 0,75
- Contemporaneità P ACS: 0,75

Infine si deve considerare una percentuale di perdite pari al 20% dovuta alla messa in regime del sistema, che tiene conto delle fasi di accensione e spegnimento dell'impianto. Le potenze contemporanee così ottenute si devono moltiplicare per un coefficiente di sicurezza pari a 1,2.

Poiché le tecnologie utilizzate sono pressoché equivalenti dal punto di vista economico ed ambientale, si è deciso di farle lavorare con la stessa percentuale per quanto riguarda la potenza termiche. La potenza della pompa di calore risulta pari al 50% della potenza termica, mentre la potenza del cogeneratore e della caldaia a condensazione risulta pari al 50% della potenza termica sommato alla potenza di ventilazione e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Tabella 14: Dimensionamento centrale termica

EDIFICIO	Pt [kW]	Pv [kW]	Pg [kW]	P ACS [kW]
Scuola elementare	32	42	73	20
Palestra Comunale	43	9	53	40
Municipio	23	2	25	0
Biblioteca Comunale	7	1	9	0
Ambulatorio Medico	4	1	5	0
Poste	5	1	5	0
Centro Diurno Anziani	4	1	5	0
Potenze totali [kW]	117	58	175	60
Rendimento di regolazione	0,96			
Rendimento di distribuzione	0,95			
Rendimento di emissione	0,97			
Rendimento globale	0,88			
Potenze effettive [kW]	104	51	155	53
Contemporaneità	0,9	0,75	-	0,75
Potenze Contemporanee	93	38	132	40
Coeff sicurezza e messa a regime	1,2			
POMPA DI CALORE	0,5			
CALDAIA+COGENERAZIONE	0,5			
Potenza Bassa Temperatura	56	[kW]		
Potenza Alta Temperatura	150	[kW]		

8.4.1 Il cogeneratore

Per il dimensionamento del cogeneratore è necessario conoscere l'andamento dei carichi elettrici e termici delle diverse utenze. Si deve garantire il funzionamento continuo dell'impianto per almeno 400 ore l'anno. Si ipotizza che l'impianto funzioni 12 ore al giorno nei mesi invernali e 10 ore al giorno nei mesi estivi. Si ipotizza un funzionamento continuo con una percentuale pari al 100%. Si determinano le ore effettive di funzionamento mensili moltiplicando semplicemente il numero di ore giornaliere per il numero dei giorni del mese considerato. Infine si determinano le ore totali di funzionamento annuo che devono risultare maggiori di 4000.

Per quanto riguarda la stima dei carichi termici ed elettrici si ipotizzano delle percentuali di distribuzione dei fabbisogni durante i mesi dell'anno. In questo caso i consumi di gas metano e i consumi elettrici attuali sono noti, grazie agli audit energetici effettuati sul territorio comunale. Ai fini del dimensionamento dell'impianto si considerano dei fabbisogni energetici pari alla metà di quelli attuali, poiché l'intero polo, ad eccezione della palestra comunale, è composto da edifici di nuova costruzione con consumi molto ridotti rispetto alla situazione attuale.

Il fabbisogno termico ed elettrico totale attuale deve essere distribuito secondo diverse percentuali su ogni mese e dimezzato.

Di seguito si riporta il grafico con l'andamento dei fabbisogni termici ed elettrici previsti durante l'anno: mentre i carichi elettrici sono pressoché costanti con dei minimi nella stagione estiva; i carichi termici hanno dei picchi non indifferenti nella stagione invernale.

Andamento annuo fabbisogni energetici

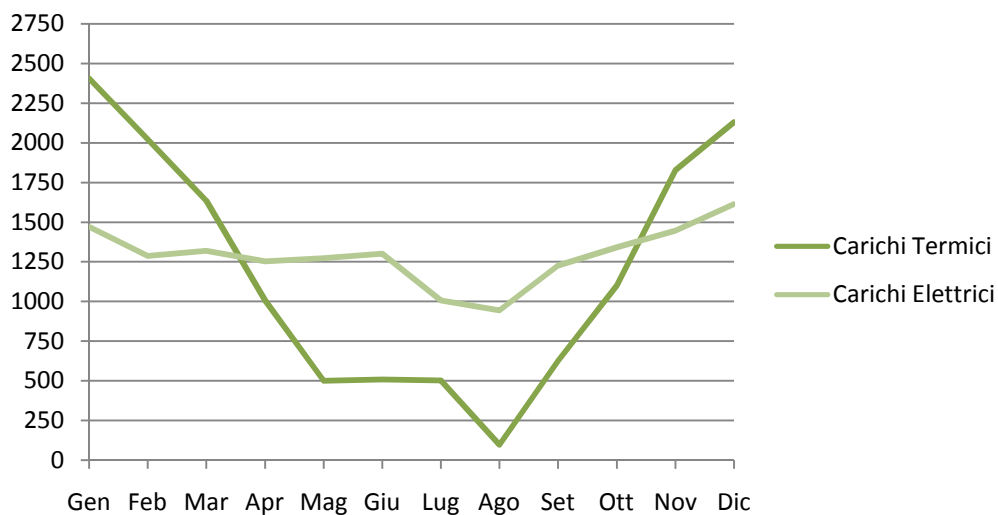


Grafico 5: Andamento annuo dei fabbisogni energetici

Tabella 15: Potenze cogeneratore

DATI FUNZIONAMENTO IMPIANTO RISCALDAMENTO	Totale											
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Giorni / mese	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Giorni spegnimento nel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Giorni di funzionamento	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Ore giorno di funzionamento impianto	12	12	12	10	10	10	10	10	10	12	12	12
Percentuale di reale funzionamento cogeneratore	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Ore funzionamento totali mese cogeneratore	372	336	372	300	310	300	310	310	300	372	360	372
ANDAMENTO ANNUO FABBISOGNI ENERGETICI	Totale											
Distribuzione annuo fabbisogno calore	100%	14,1%	11,4%	7,0%	3,5%	3,5%	3,5%	0,7%	4,3%	7,7%	12,7%	14,8%
Distribuzione annuo fabbisogno elettrico	100%	8,31%	8,52%	8,09%	8,22%	8,41%	6,51%	6,10%	7,92%	8,66%	9,34%	10,42%
Consumi Gas Attuali	mc	4.815	4.048	3.275	2.012	1.000	1.006	193	1.250	2.202	3.659	4.261
Carichi Termici	mc	2.408	2.024	1.638	1.006	500	503	97	625	1.101	1.829	2.131
Ore di utilizzo	hh	372	336	372	300	310	310	310	300	372	360	372
Potenza media TERMICA	kW	62,13	57,83	42,26	32,19	15,48	16,25	2,99	20,00	28,41	48,78	54,99
Consumi Elettrici Attuali	kWh	2.941	2.574	2.639	2.506	2.544	2.603	1.889	2.451	2.682	2.891	3.226
Carichi Elettrici	kWh	1.470	1.287	1.319	1.253	1.272	1.302	944	1.226	1.341	1.446	1.613
Ore di utilizzo	hh	372	336	372	300	310	300	310	300	372	360	372
Potenza media ELETTRICA	kW	3,95	3,83	3,55	4,18	4,10	4,34	3,05	4,09	3,60	4,02	4,34

Noti gli andamenti dei carichi termici ed elettrici e il numero di ore di funzionamento mensili è possibile determinare la potenza media dell'impianto sia mensile che annua, dividendo rispettivamente i carichi per il numero di ore di utilizzo. La taglia del cogeneratore è definita in base ai carichi termici: in questo caso risulta una potenza termica media pari a 34 kWt e una potenza elettrica media pari a 4 kWe. Il cogeneratore scelto è di piccola taglia e ha una potenza termica di 36 kWt e una potenza elettrica di 18 kWe. Si riporta nel grafico seguente l'andamento delle potenze medie termiche ed elettriche confrontate con le potenze effettive del cogeneratore scelto. Per sopperire ai picchi termici sarà necessaria l'integrazione di una caldaia a condensazione, mentre il surplus di energia elettrica prodotta potrà essere venduta alla rete.

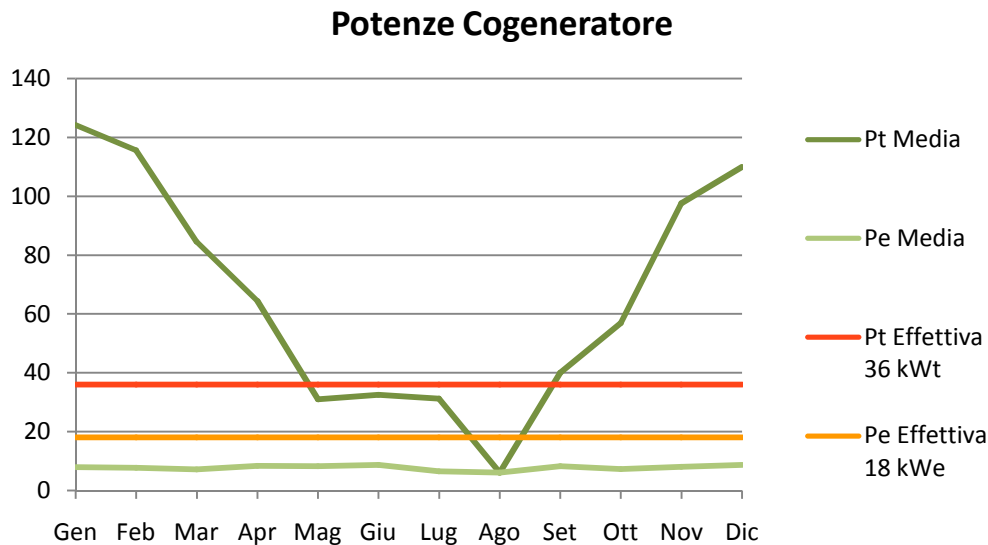


Grafico 6: Potenze del cogeneratore

8.4.2 La caldaia a condensazione

La potenza della caldaia a condensazione è data dalla somma delle potenze di ventilazione, per la produzione di acqua calda sanitaria e del 50% della potenza termica. In questo caso è necessaria una caldaia di potenza di almeno pari a 150 kW. Per l'impianto si è scelta una caldaia con temperature di funzionamento di 70°C e 50°C e quindi una potenza utile pari a 43-170 kW.

8.4.3 La pompa di calore

Alla pompa di calore sono affidate due funzioni: l'alimentazione dei pannelli radianti a pavimento con la rete di teleriscaldamento a bassa temperatura con un range di funzionamento di 30-35°C e il free cooling estivo, ovvero il raffrescamento con l'inversione di ciclo integrato alla presenza di sonde geotermiche. La potenza della pompa di calore è pari al 50% della potenza termica di tutte le utenze, in questo caso pari a 56 kW. La pompa di calore geotermica scelta ha una potenza termica invernale pari a 62,8 kW e una potenza termica estiva pari a 82,9 kW.

8.4.4 Le sonde geotermiche

La geotermia è una fonte di energia rinnovabile che sfrutta il calore che si propaga al di sotto della superficie terrestre. Il flusso geotermico si misura in heat flow unit [hfu] ed è mediamente pari a 1,5 hfu. Con l'aumentare della profondità aumentano le temperature in gioco, si stima mediamente che per ogni 100 m di profondità si ha un aumento di temperature pari a 3°C.

In genere si distingue tra campi ad alta entalpia e a bassa entalpia, dove con entalpia si indica la capacità termica del vettore. La soglia di temperatura che divide i due campi è pari a 100°C: in campi ad alta entalpia le temperature sono elevate e l'energia ricavabile può essere utilizzata per scopi indiretti come la produzione di energia elettrica; in campi a bassa entalpia le temperature sono inferiori e l'energia ricavabile può essere utilizzata per scopi diretti come il riscaldamento urbano, per l'industria e l'agrozootecnica.

Il calore nel sottosuolo si propaga per conduzione, convezione e irraggiamento. Il terreno è un corpo caldo che scambia calore per conduzione con i corpi freddi. Su questo principio si basa il funzionamento di una sonda geotermica. All'interno delle tubazioni a contatto con il terreno scorre un fluido freddo che si riscalda tornando in superficie per poi raffreddarsi e ripetere il ciclo. Si ricorda tuttavia che il sistema da solo non è sufficiente per il riscaldamento dell'intero edificio, poiché la differenza di temperatura generate è molto ridotta, anche a causa delle dispersioni durante la risalita del fluido.

In questo caso le sonde geotermiche sono verticali e sono collegate alla pompa di calore, questa prelevando energia dal fluido ad una temperatura più elevata rispetto a quella atmosferica, aumenta l'intera efficienza del sistema. Inoltre è possibile utilizzare il sistema anche per il raffrescamento: in questo caso si parla di free cooling utilizzando la variazione di temperatura offerta dal solo terreno per ottenere la temperatura richiesta, con un abbattimento dei costi di esercizio prossimo allo zero.

Il metodo più utilizzato ed efficiente consiste nel posare tubi in pozzi o scavi con una profondità non troppo elevata, sufficiente per creare una piccola differenza di temperatura e con portate elevate. Infatti la potenza termica ceduta da un fluido è pari a:

$$P = C_p \cdot Q \cdot \Delta T$$

P = potenza termica scambiata [kcal/h]

C_p = calore specifico fluido [kcal/°C l]

Q = portata [l/h]

ΔT = variazione di temperatura [°C]

La resa di una sonda dipende da diversi fattori: dal tipo di sonda (orizzontale o verticale), dal tipo di terreno (sabbioso, argilloso, in falda) e dalle necessità di utilizzo (riscaldamento, free cooling o refrigerazione).

Tabella 16: Potenza specifica sonde geotermiche

SONDE VERTICALI	
Tipo di terreno	(W/m)
terreno asciutto	20
roccia o terreno umido	50
roccia con alta conducibilità	70
ghiaia, sabbia asciutta	< 20
ghiaia, sabbia satura	55+65
argilla, limo, umido	30+40
roccia calcarea	45+60
arenaria	55+65
granito	55+70
gneiss	60+70

SONDE ORIZZONTALI	
Tipo di terreno	(W/m ²)
suolo sabbioso asciutto	10+15
suolo sabbioso umido	15+20
suolo coesivo asciutto	20+25
suolo coesivo umido	25+30
ghiaia, sabbia satura	30+40
argilla, limo, umido	30+40

In questo caso si ipotizza di avere sonde verticali di lunghezza pari a 100 m in terreno argilloso. Il dimensionamento è effettuato considerando la resa della sonda nella stagione invernale, essendo l'uso principale dell'impianto.

Per il corretto dimensionamento si deve considerare la potenza effettiva trasferita dalle sonde: la pompa di calore per produrre 62,8 kWt di calore da fornire all'edificio necessita di un contributo delle sonde depurato dall'energia elettrica assorbita per il funzionamento della pompa stessa. La potenza termica trasferita dalle sonde geotermiche alla pompa di calore non sarà pari a 62,8 kW, ma è leggermente inferiore, pari a 50 kW.

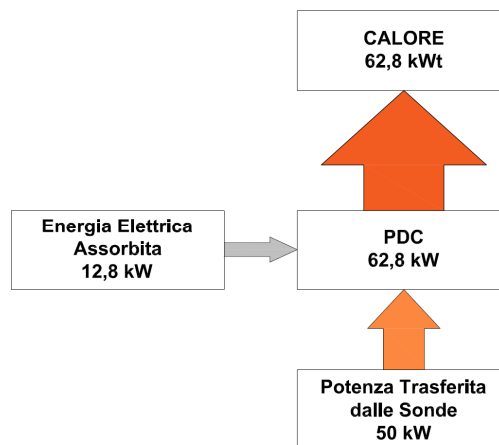


Figura 9: Pompa di calore geotermica

È possibile ottenere il numero di sonde geotermiche dividendo semplicemente la potenza termica trasferita per la resa invernale delle sonde e quindi per la lunghezza delle stesse. Si ottiene così un numero di sonde pari a 10.

Tabella 17: Numero sonde geotermiche

SONDE GEOTERMICHE		
Resa invernale	50	W/m
Resa estiva (free cooling)	20	W/m
Resa estiva (refrigeratore)	40	W/m
Lunghezza sonda	100	m
Ptr	50	kW
Numero sonde	10	

8.4.5 Lo schema impiantistico della centrale termoelettrica

La centrale è composta da una pompa di calore geotermica che alimenta la rete di teleriscaldamento a bassa temperatura e un cogeneratore con caldaia a condensazione che alimentano la rete di teleriscaldamento ad alta temperatura.

La pompa di calore è collegata a 10 sonde geotermiche di lunghezza pari a 100 m e con una potenza specifica pari a 50 W/m. Le sonde lavorano con temperature di 0°C o 3°C a seconda che si tratti del circuito di andata o di ritorno. La pompa di calore ha una potenza termica invernale di 62,8 kW e una potenza estiva di 82,9 kW. Questa è collegata ad un contatore elettrico e termico per verificare il rendimento dell'impianto e per facilitare la fase di monitoraggio prevista dal SEAP. Essa è collegata ad un serbatoio di accumulo che deve avere una capacità specifica di 20 litri per ogni kW di potenza della pompa di calore, quindi con una capacità di 1200 litri. Il serbatoio ha una duplice funzione: la prima è quella di garantire un funzionamento continuo dell'impianto, avere un ricircolo continuo di acqua in temperatura, riducendo il numero di operazioni di accensione e spegnimento e quindi di perdite per la messa in regime dell'impianto. La seconda funzione è quella di ridurre le potenze di picco, smussando l'andamento dei fabbisogni. In uscita dal serbatoio d'accumulo si ha la rete di teleriscaldamento a bassa temperatura per l'alimentazione degli impianti radianti.

Per la rete di distribuzione si utilizzano tubi in acciaio in centrale e tubi in PEX per la rete di riscaldamento. Il diametro delle tubazioni dipende dalla portata e dal tipo di materiale utilizzato. Per i tubi in acciaio il diametro è espresso in pollici [“] mentre per i tubi in PEX è espresso in mm.

Per il calcolo della portata si utilizza la seguente formula:

$$P = C_p \cdot Q \cdot \Delta T$$

P = potenza termica scambiata [kcal/h]

C_p = calore specifico fluido [kcal/°C l]

Q = portata [l/h]

ΔT = variazione di temperatura [°C]

Si ricorda inoltre il fattore di conversione 1 kW = 860 kcal/h; mentre per il dimensionamento delle reti di distribuzione si utilizza il quaderno fornito dalla Caleffi.

Tabella 18: Tubazioni rete bassa temperatura

RETE B.T.	P [kW]	Ta [°C]	Tr [°C]	ΔT [°C]	cs [kcal/°C/l]	Q [l/h]	∅ ["]	∅ [mm]
Tubaz. Sonde Acciaio	50	0	3	3	1	14333	2 1/2	
Tubaz. PDC-Serbatoio Acciaio	62,8	35	30	5	1	10802	2 1/2	
Tubaz. Serbatoio-Rete Acciaio	62,8	35	30	5	1	10802	2 1/2	
Tubaz. Rete PEX	62,8	35	30	5	1	10802		75

Per quanto riguarda le pompe con inverter presenti all'interno del circuito, sono caratterizzate da una certa portata e una certa prevalenza che deve superare le perdite di carico.

Si considera una lunghezza massima della rete di teleriscaldamento pari a 150 m, un valore di perdite concentrate pari al 20% del totale e un valore di perdite diffuse pari a 35 mm c.a./m in centrale e pari a 15 mm c.a./m in rete. Questa differenza è dovuta al fatto che in centrale si hanno brevi distanze e quindi velocità più elevate, diversamente in rete si preferisce avere velocità minori e quindi meno perdite distribuite.

La prevalenza di una pompa è pari alla lunghezza della rete moltiplicata per le perdite di carico diffuse sia per il circuito d'andata che di ritorno (due volte) e incrementate del 20% per le perdite concentrate. Si sommano infine le perdite di centrale o di sottostazione assunte pari a 1,5 m.

$$\text{Prevalenza} = \text{Lunghezza Rete} \times \text{Perdite Diffuse} \times 2 \times \text{Perdite Concentrate [20\%]} \\ + \text{Perdite di centrale o sottostazione}$$

Tabella 19: Pompe rete bassa temperatura

POMPE INVERTER B.T.		
Perdite di carico concentrate	1,2	20%
Perdite di carico distribuite in centrale	35	mm c.a./m
Perdite di carico distribuite in rete	15	mm c.a./m
Lunghezza massima rete	150	m
Perdite di centrale o sottostazione	1500	mm
Pompa P1-P2		
Portata	10802	l/h
Prevalenza	6,9	m
Pompa P7-P8		
Portata	10802	l/h
Prevalenza	6,9	m

Vedi in allegato TAVOLA 67 – Centrale termica: Bassa Temperatura

Il cogeneratore e la caldaia a condensazione alimentano invece il circuito ad alta temperatura, quindi eventuali batterie per il trattamento dell'aria con recuperatori di calore e serbatoi per la produzione di acqua calda sanitaria.

Il cogeneratore scelto ha una potenza di 18 kW_e e 36 kW_t, ha una taglia molto piccola e un funzionamento garantito di almeno 4000 ore all'anno. La caldaia a condensazione ha una potenza di 170 kW e delle dimensioni pari a 915x1790 mm con un'altezza di 1450 mm.

Le reti in uscita dal cogeneratore e dalla caldaia finiscono in un serbatoio d'accumulo con fluido stratificato, ovvero con temperature crescente al suo interno. I due sistemi infatti lavorano con diverse temperature del fluido vettore: i circuiti del cogeneratore hanno temperature di 70°C o 60°C, mentre quelle della caldaia a condensazione di 70°C o 50°C. Per un buon funzionamento del cogeneratore è fondamentale che il liquido non condensi, ma abbia una temperatura in entrata sempre superiore ai 60°C; viceversa la temperatura del fluido in entrata della caldaia deve essere prossima a quella di condensa. È previsto un sistema di regolazione delle portate delle pompe in base alla temperatura di andata e ritorno del fluido per ottimizzare appunto la condensazione e ridurre così i consumi elettrici.

Inoltre per garantire realmente un funzionamento continuo del cogeneratore è previsto un circuito alternativo collegato al serbatoio della rete a basse temperature, per avere la possibilità di sfogo del sistema nel caso in cui l'energia prodotta non sia necessaria per il soddisfacimento dei fabbisogni dell'utenza. In questo modo il cogeneratore continua a funzionare con un ciclo chiuso, indipendentemente dall'utenza.

Per il dimensionamento di tubi e pompe dei circuiti il procedimento utilizzato è analogo a quello descritto per la rete a bassa temperatura e di seguito si riportano i risultati ottenuti.

Tabella 20: Tubazioni rete alta temperatura

RETE A.T.	P [kW]	T _a [°C]	T _r [°C]	ΔT [°C]	cs [kcal/°C/kg]	m [l/h]	∅ ["]	∅ [mm]
Tubaz. Cogeneratore	36	70	60	10	1	3096	2	
Tubaz. Caldaia	105	70	50	20	1	4515	2	
Tubaz. Serbatoio-Rete Acciaio	105	70	50	20	1	4515	2	
Tubaz. Rete PEX	105	70	50	20	1	4515		50

Tabella 21: Pompe rete alta temperatura

POMPE INVERTER A.T.		
Perdite di carico concentrate	1,2	20%
Perdite di carico diffuse in centrale	35	mm c.a./m
Perdite di carico diffuse in rete	15	mm c.a./m
Lunghezza massima rete in centrale	20	m
Lunghezza massima rete	150	m
Perdite di centrale o sottostazione	1500	mm
Pompa P3		
Portata	3096	l/h
Prevalenza	3,2	m
Pompa P4		
Portata	7310	l/h
Prevalenza	3,2	m
Pompa P5-P6		
Portata	7310	l/h
Prevalenza	6,9	m
Pompa P9-P10		
Portata	7310	l/h
Prevalenza	6,9	m

Vedi in allegato TAVOLA 68 – Centrale Termica: Alta Temperatura

8.5 Sottostazione Scuola Elementare

In ogni edificio sarà presente una sottostazione impiantistica con diversi elementi studiati per rispondere alle necessità dell'utenza. In generale potranno essere presenti impianti radianti per il riscaldamento e raffrescamento, un bollitore per la produzione di acqua calda sanitaria ed eventuali gruppi frigoriferi per il condizionamento.

Nella tabella seguente si sono individuate le tipologie di impianto per ogni edificio in relazione alla destinazione d'uso.

Tabella 22: Sottostazioni per utenze

Utenze	Riscaldamento/ Raffrescamento	Condizionamento	Trattamento dell'aria	Produzione ACS
Scuola Elementare	Sì	Sì	Sì	Sì
Palestra Comunale	Sì	No	No	Sì
Municipio	Sì	Sì	Sì	No
Biblioteca Comunale	Sì	No	Sì	No
Ambulatorio Medico	Sì	Sì	No	No
Poste	Sì	No	No	No
Centro Diurno Anziani	Sì	No	No	No

Si analizzerà in dettaglio la sottostazione dell'edificio scuola elementare. Si prevedono diversi sistemi impiantistici in base alle esigenze: le aule didattiche, gli spazi di connettivo e la mensa saranno dotati di pannelli radianti a pavimento per il riscaldamento e il raffrescamento con un sistema di ventilazione forzata per il ricambio d'aria e la deumidificazione della stessa. Per gli spazi riservati ai docenti e al personale scolastico si utilizzeranno pannelli radianti a pavimento per riscaldamento e condizionamento insieme ad un impianto ad aria potenziato per trattamento dell'aria e condizionamento. Infine la sala polivalente sarà dotata di un impianto a tutt'aria per il trattamento della stessa e il riscaldamento invernale e condizionamento estivo.

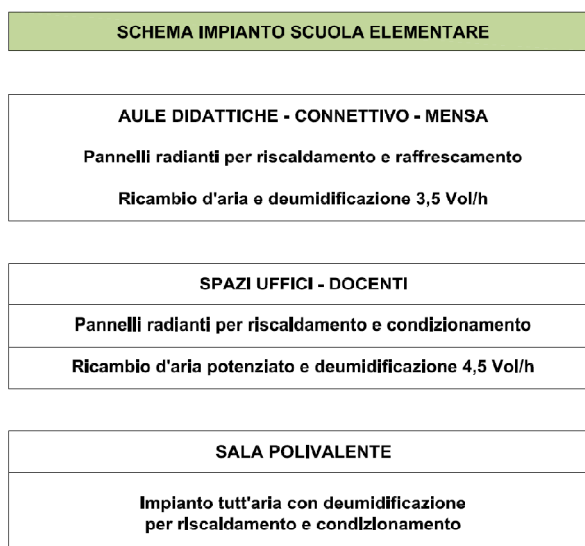


Figura 10: Schema impianto scuola elementare

Per il dimensionamento degli impianti è necessario calcolare la potenza e l'energia sia estiva che invernale. Per questo scopo si utilizzerà il software EdilClima. Note le dispersioni dell'involucro si può determinare la potenza invernale locale per locale per il dimensionamento successivo dell'impianto di riscaldamento, l'energia invernale per la determinazione del sistema a cogenerazione, la potenza estiva per il dimensionamento di eventuali gruppi frigoriferi. Si dovranno stimare inoltre i ricambi d'aria necessari, facendo riferimento alla norma UNI 10339, per il dimensionamento dell'impianto di trattamento dell'aria.

8.5.1 Calcolo delle potenze

Per la scuola elementare il calcolo delle potenze termiche e di ventilazione è supportato dal software EdilClima. Il primo passo è la definizione dell'involucro con i suoi componenti opachi e trasparenti. In questo caso le trasmittanze dei componenti opachi verticali ed orizzontali variano da 0,09 a 0,13 W/m²K mentre per gli elementi vetrati si hanno trasmittanze comprese tra 1,1 e 1,4 W/ m²K.

Successivamente si divide l'edificio per zone impiantistiche in base alle diverse destinazioni d'uso, si definiscono otto zone come riassunto nella seguente tabella.

Tabella 23: Zone impiantistiche

Zona	Destinazione	Tipologia Impianto
1	Mensa	Pannelli Radianti a Pavimento + Trattamento Aria
2	Connettivo	Pannelli Radianti a Pavimento + Trattamento Aria
3	Servizi Mensa	Pannelli Radianti a Pavimento + Trattamento Aria
4	Aula Didattica	Pannelli Radianti a Pavimento + Trattamento Aria
5	Servizi Igienici	Pannelli Radianti a Pavimento + Estrazioni
6	Uffici	Pannelli Radianti a Pavimento + Trattamento Aria Potenziato
7	Laboratori	Pannelli Radianti a Pavimento + Trattamento Aria Potenziato
8	Sala Polivalente	Impianto a Tutt'Aria

Definiti i componenti dell'involucro, la geometria dell'edificio con eventuali ombreggiamenti e l'orientamento, il programma calcola direttamente la potenza termica dell'edificio zona per zona e locale per locale.

Per la potenza di ventilazione invece ci si riferisce alla norma UNI 10339: ad ogni locale si assegnano i ricambi d'aria da normativa, in base alla destinazione d'uso e all'affollamento. Si ipotizza inoltre di avere un recuperatore di calore con un'efficienza pari all'80% e quindi i volumi d'aria effettivamente prelevati dall'esterno che devono essere trattati si riducono al 20% del totale. Inserendo dunque locale per locale i ricambi d'aria espressi in vol/h e l'indice di presenza di persone in condizioni di massimo affollamento espresso in pers/m² è possibile determinare la potenza di ventilazione.

Tabella 24: Ricambi aria scuola elementare

Zona	Locale	Nome	A [m ²]	V [m ³]	Utenza Max	m ³ /s a pers	m ³ /h	vol/h	20%	pers/m ²
LIVELLO 0										
1	1	Mensa	208	749	100	0,01	3600	4,81	0,96	0,48
2	3	Atrio 0	38	136	0	-	-	0,3	0,06	0
3	2	Servizi mensa	96	346	4	0,006	86,4	0,25	0,05	0,04
LIVELLO 1										
4	1	Aula 1	55	165	26	0,006	561,6	3,41	0,68	0,47
4	2	Aula 2	52	156	26	0,006	561,6	3,59	0,72	0,50
4	3	Aula 3	52	156	26	0,006	561,6	3,59	0,72	0,50
4	4	Aula 4	52	156	26	0,006	561,6	3,59	0,72	0,50
4	5	Aula 5	53	160	26	0,006	561,6	3,52	0,70	0,49
5	6	Bagno 1	15	45	0	estraz	estraz	6	1,20	0
5	7	Bagno 2	15	45	0	estraz	estraz	6	1,20	0
5	8	Bagno 3	15	45	0	estraz	estraz	6	1,20	0
6	9	Uff. Preside	21	63	1	0,006	21,6	0,34	0,07	0,05
6	10	Sala Ricev.	28	83	10	0,006	216	2,59	0,52	0,36
6	11	Uff. Docenti	32	95	10	0,006	216	2,28	0,46	0,32
2	12	Ingresso	21	62	10	-	-	1,5	0,30	0,48
6	13	Infermeria	15	44	2	0,006	43,2	0,98	0,20	0,14
6	14	Servizi ATA	18	54	2	0,006	43,2	0,81	0,16	0,11
5	15	Bagni 4	7	21	2	estraz	estraz	6	1,20	0,28
2	16	Atrio 1	355	1064	0	-	-	0,3	0,06	0
LIVELLO 2										
4	17	Aula 6	49	173	26	0,006	561,6	3,25	0,65	0,53
4	18	Aula 7	49	172	26	0,006	561,6	3,27	0,65	0,53
4	19	Aula 8	49	172	26	0,006	561,6	3,27	0,65	0,53
4	20	Aula 9	49	172	26	0,006	561,6	3,27	0,65	0,53
4	21	Aula 10	50	176	26	0,006	561,6	3,20	0,64	0,52
5	22	Bagno 5	15	45	0	estraz	estraz	6	1,20	0
5	23	Bagno 6	16	49	0	estraz	estraz	6	1,20	0
5	24	Bagno 7	16	49	0	estraz	estraz	6	1,20	0,00
7	25	Lab1 Musica	66	230	26	0,007	655,2	2,85	0,57	0,40
7	26	Lab2 PC-Lingue	61	215	26	0,007	655,2	3,05	0,61	0,42
7	27	Lab3 Artistica	65	227	26	0,007	655,2	2,89	0,58	0,40
8	28	Sala Polivalente	152	685	100	0,01	3600	5,26	1,05	0,66
2	29	Atrio 2	405	1825	0	-	-	0,3	0,06	0

Si riportano di seguito le potenze ottenute locale per locale: le potenze termiche si utilizzeranno per il dimensionamento dei pannelli radianti e quelle di ventilazione insieme ai ricambi d'aria necessari per i sistemi di trattamento dell'aria.

Tabella 25: Potenze scuola elementare

Locale	Zona	Nome	A [m ²]	V [m ³]	Pt [W]	Pv [W]	Pg [W]
1	1	MENSA	208	749	4839	6117	10956
1	2	ATRIO 0	38	136	545	69	614
2	2	ATRIO 1	355	1064	3544	543	4087
3	2	INGRESSO	21	62	878	32	910
4	2	ATRIO 2	405	1622	4848	827	5675
1	3	SERVIZI MENSA	96	346	966	147	1113
1	4	AULA 1	55	165	869	979	1848
2	4	AULA 2	52	156	799	931	1730
3	4	AULA 3	52	156	910	931	1841
4	4	AULA 4	52	156	721	931	1652
5	4	AULA 5	53	160	726	950	1676
6	4	AULA 6	49	173	825	819	1644
7	4	AULA 7	49	172	747	814	1561
8	4	AULA 8	49	172	747	814	1561
9	4	AULA 9	49	172	747	814	1561
10	4	AULA 10	50	176	752	832	1584
1	5	BAGNO 1	15	45	263	2275	2538
2	5	BAGNO 2	15	45	263	2275	2538
3	5	BAGNO 3	15	45	263	2275	2538
4	5	BAGNO 4	7	21	27	1091	1118
5	5	BAGNO 5	15	45	309	2275	2584
6	5	BAGNO 6	16	49	350	2494	2844
7	5	BAGNO 7	16	49	318	2499	2817
1	6	UFF PRESIDE	21	63	615	37	652
2	6	SERVIZI ATA	18	54	261	73	334
3	6	INFERMERIA	15	44	254	73	327
4	6	SALA DOCENTI	32	95	490	417	907
5	6	SALA RICEVIMENTO	28	83	706	368	1074
1	7	LAB MUSICA	66	230	465	954	1419
2	7	LAB PC-LINGUE	61	215	533	954	1487
3	7	LAB ARTISTICA	65	227	569	941	1510
1	8	SALA POLIVALENTE	152	685	2939	6113	9052

8.5.2 Lo schema impiantistico della sottostazione

La sottostazione della scuola elementare è collegata alla centrale attraverso la rete di teleriscaldamento. La rete a bassa temperatura alimenta gli impianti radianti a pavimento, mentre la rete ad alta temperatura alimenta gli impianti di trattamento dell'aria e il serbatoio per la produzione di acqua calda sanitaria.

La rete di teleriscaldamento a bassa temperatura termina con un collettore di andata e uno di ritorno dei pannelli radianti con la presenza di un doppio circuito di valvole di sicurezza e pompe con inverter.

Le rete di teleriscaldamento ad alta temperatura è collegata ad un serbatoio di accumulo per la produzione di acqua calda sanitaria combinata con la presenza di solare termico. Il serbatoio è collegato al circuito per la produzione istantanea di acqua calda sanitaria e ai collettori solari termici. Sempre dal serbatoio si dirama il circuito per l'alimentazione delle batterie UTA e dei recuperatori di calore.

8.5.3 Dimensionamento impianti radianti

Il sistema di riscaldamento e raffrescamento dell'edificio è demandato agli impianti radianti a pavimento. Il dimensionamento delle spire è effettuato in base alle potenze termiche determinate per ogni locale. I dati di partenza per la progettazione degli impianti sono le potenze termiche locale per locale [W], la superficie pannellabile [m²], la superficie marginale [m²] e la temperatura interna degli ambienti assunta pari a 20°C.

Si ipotizza un numero di circuiti massimi collegati allo stesso collettore pari a 13. Si fissa inoltre il passo delle spire pari a 16 nella superficie soggiornale e 8 nella superficie marginale, dove per superficie marginale si intende la striscia di pavimentazione di larghezza pari ad 1 m e lunghezza pari al lato della stanza opposto a quello dell'ingresso in ambiente. La superficie restante è detta soggiornale. Per i servizi igienici si è ipotizzato un passo delle spire fitto pari a 8.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva con il numero di collettori risultanti, gli ambienti che servono e la lunghezza dei circuiti. Per avere maggiori dettagli tecnici si rimanda all'appendice 1 con la relazione tecnica RDZ.

Tabella 26: Impianti radianti a pavimento

LIVELLO	COLLETORE	LOCALI	CIRCUITI	PASSO	LUNGHEZZA [m]
0	1	Mensa	13	3x8;10x16	3x82;10x115
	2	Atrio 0	1	1x16	1x116
		Servizi mensa	5	5x16	5x118
1	3	Aula 1	4	1x8;3x16	1x98;3x90
		Aula 2	4	1x8;3x17	1x98;3x91
		Aula 3	4	1x8;3x18	1x98;3x92
	4	Aula 4	4	1x8;3x19	1x98;3x93
		Aula 5	4	1x8;3x20	1x98;3x94
		Bagno 1	2	2x8	2x92
	5	Bagno 2	2	2x8	2x92
		Bagno 3	2	2x8	2x92
	6	Atrio 1	11	11x16	11x115
		Atrio 1	5	5x16	5x115
		Bagno 4	1	1x8	1x86
		Ufficio Preside	2	2x16	2x65
		Servizi ATA	1	1x16	1x110
	7	Infermeria	1	1x16	1x92
		Sala Docenti	2	2x16	2x70
Sala Ricevimento		2	2x16	2x106	
2	8	Aula 6	4	1x8;3x16	1x98;3x90
		Aula 7	4	1x8;3x17	1x98;3x91
		Aula 8	4	1x8;3x18	1x98;3x92
	9	Aula 9	4	1x8;3x19	1x98;3x93
		Aula 10	4	1x8;3x20	1x98;3x94
		Bagno 5	2	2x8	2x92
	10	Bagno 6	2	2x8	2x92
		Bagno 7	3	2x8	2x92
	11	Atrio 2	11	11x16	11x118
		Atrio 3	10	10x16	10x118
	12	Lab Musica	4	1x8; 3x16	1x98; 3x118
		Lab PC-Lingue	4	1x8; 3x16	1x98; 3x108
Lab Artistica		4	1x8; 3x16	1x98; 3x116	

Vedi in allegato TAVOLA 69 – Sottostazione scuola elementare: Bassa Temperatura

8.5.4 Solare termico e fotovoltaico

Per l'impianto solare termico si ipotizza una potenza tale da garantire almeno il 50% di produzione di acqua calda sanitaria. La potenza calcolata precedentemente per la scuola elementare è pari a 20 kW mentre per la palestra è pari a 40 kW. Per soddisfare entrambe le esigenze è necessario un impianto solare di potenza pari a 30 kW.

Per l'impianto fotovoltaico si ipotizza che l'energia elettrica fornita sia almeno pari a quella assorbita dalla pompa di calore. In questo caso si parla di 13,8 kW elettrici assorbiti per il funzionamento della pompa di calore che serve tutte le diverse utenze. Si ipotizza dunque che i pannelli fotovoltaici siano distribuiti su più edifici e che raggiungano una potenza totale di almeno 20 kW. Per la scuola elementare si utilizzano pannelli fotovoltaici in silicio amorfo integrati nella copertura metallica sulla zona dei laboratori. La copertura scelta ha il miglior orientamento in direzione sud e ha un'inclinazione di circa 10° per aumentare il livello di captazione solare. La superficie totale coperta è pari a 44 mq con un numero di pannelli pari a 20, di dimensioni 1000x400 mm e una potenza di 136 W.

Tabella 27: Pannelli fotovoltaici

PANNELLI FOTOVOLTAICI		
Potenza assorbita PDC	13,5	kW
Potenza pannello FV	136	W
Superficie Pannello	2,2	m ²
Numero Pannelli totali	99	
Superficie Coperta LAB 1	12	m ²
Superficie Coperta LAB 2	20	m ²
Superficie Coperta LAB 3	12	m ²
Superficie Coperta TOTALE	44	m ²
Numero Pannelli installati	20	

8.5.5 Dimensionamento unità di trattamento dell'aria

All'interno di una scuola, soprattutto se elementare, il trattamento dell'aria è fondamentale. La progettazione di questo tipo di impianto tiene conto di tre obiettivi principali:

- Avere sistemi a basso consumi energetico
- Avere condizioni di confort all'interno degli ambienti
- Avere un sistema di termoregolazione con sensori di qualità dell'aria

Per questo motivi si è deciso di utilizzare una macchina di trattamento dell'aria particolare. In genere il metodo convenzionale trattamento dell'aria consiste nel sostituire l'aria viziata con quella esterna senza alcun recupero di calore. In inverno l'aria nuova deve essere necessariamente riscaldata con un notevole utilizzo d'energia termica. In estate l'aria calda esterna di rinnovo deve essere raffreddata con un notevole consumo d'energia elettrica.

In questo caso la macchina di trattamento possiede un recuperatore di calore a flussi incrociati che permette in inverno di scaldare l'aria esterna in entrata grazie allo scambio di calore con l'aria viziata in uscita. Per la stagione estiva invece è possibile raffreddare adiabaticamente l'aria viziata in uscita sottraendo calore all'aria calda in entrata grazie allo scambiatore e raffreddando automaticamente quest'ultima.

Funzionamento invernale

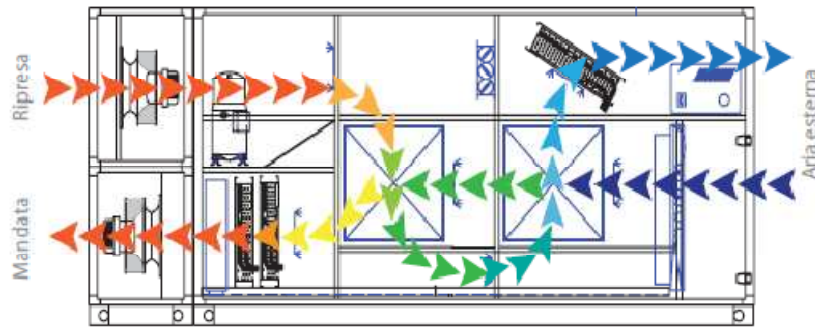


Figura 11: Funzionamento invernale

L'aria viziata di ripresa dall'ambiente attraversa il recuperatore e cede calore al flusso d'aria in entrata per poi essere espulsa. L'aria esterna fredda attraversa il recuperatore assorbendo calore dal flusso in uscita per poi attraversare la batteria di riscaldamento dove viene portata alle condizioni termo igrometriche desiderate. Sono presenti ovviamente una serie di filtri e prefiltri in corrispondenza dei canali di aspirazione e ripresa dell'aria esterna.

Si riportano i dati riassuntivi del tipo di macchina scelta e del tipo di funzionamento. La portata totale risulta pari a 11808 m³/h, determinata sommando tutti i ricambi d'aria necessari all'edificio, esclusa la sala polivalente.

In inverno è possibile considerare un'efficienza del recuperatore pari a 70%. Per il flusso d'aria in entrata si considerano le seguenti condizioni termoigrometriche: temperatura pari a 12,5°C e umidità relativa pari a 20%, mentre per l'aria in uscita una temperatura pari a 30°C e umidità relativa pari a 7%. Si ottiene una macchina di trattamento dell'aria con una potenza della batteria di riscaldamento di 71 kW. Le dimensioni della macchina sono le seguenti: lunghezza pari a 5230 mm, larghezza 1690 mm, altezza totale 3280 mm con canale di estrazione dell'aria viziata di sezione pari a 1540x900 mm e con canale di immissione di sezione pari a 1380x900 mm.

Tabella 28: Dati invernali di trattamento dell'aria

0) Recupero di calore - Sistema KVS - Rapporto superficie calda/fredda 1.000 - Passo alette (2.5 - 3.5 mm)

Efficienza di temperature	%	70.000			Potenza 1	%	14.454
Efficienza igroscopica	%	0.000			Potenza 2	%	15.274
Efficienza umidificatore	%	0.000			Potenza 3	%	16.141
Potenza	kW	71.254			Potenza 4	%	17.057
dT medio diff.	K	8.891			Potenza 5	%	18.025
Coefficiente	KW/K	8.014			Potenza 6	%	19.048
			Aria fredda entrata	Aria fredda uscita	Aria calda entrata		Aria calda uscita
Temperatura	°C		-5.000	12.500	20.000		5.445
UR	%		75.000	20.733	50.000		98.859
Umidità assoluta	g/kg		1.973	1.973	7.735		5.887
Densità aria umida	kg/mi		1.232	1.157	1.123		1.183
Entalpia aria umida	kJ/kg		-0.116	17.557	39.756		20.257
Portata volumetrica	mi/h		11800.000	12570.059	11800.000		11181.237
Portata (massa secca)	kg/h		14514.558	14514.558	13155.349		13155.349
Acqua di condensazione	kg/h			0.000			24.318
T superficiale	°C						1.580

1) Riscaldamento dell'aria

Potenza	kW	71.295	
			Aria entrata
			Aria uscita
Temperatura	°C	12.500	30.000
UR	%	20.733	7.100
Umidità assoluta	g/kg	1.973	1.973
Densità aria umida	kg/mi	1.157	1.090
Entalpia aria umida	kJ/kg	17.557	35.240
Portata volumetrica	mi/h	12570.059	13340.127
Portata (massa secca)	kg/h	14514.558	14514.558

Figura 12: Diagramma psicometrico invernale

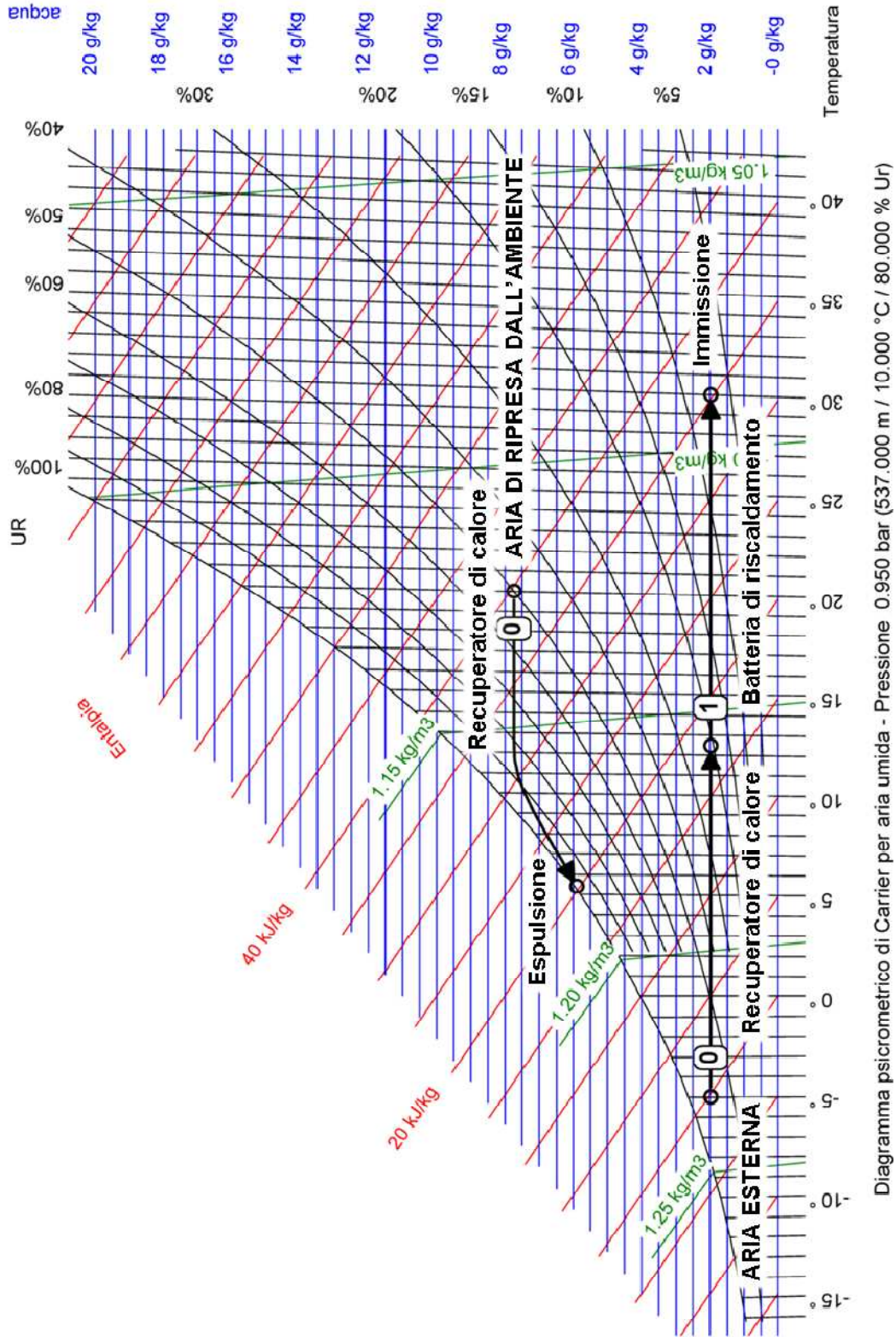


Diagramma psicometrico di Carrier per aria umida - Pressione 0.950 bar (537.000 m / 10.000 °C / 80.000 % Ur)

Funzionamento estivo

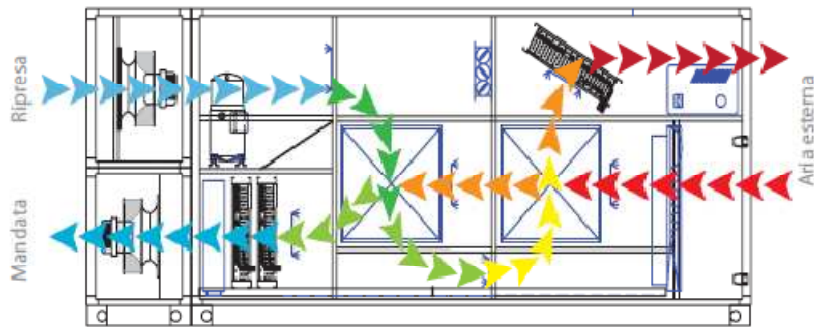


Figura 13: Funzionamento estivo

L'aria viziata di ripresa dall'ambiente viene raffreddata diabaticamente, ovvero il livello di acqua contenuta nel flusso viene portato a saturazione. Il flusso in uscita attraversa lo scambiatore di calore contemporaneamente al flusso di aria di rinnovo esterna in entrata. L'acqua contenuta nel flusso in uscita assorbe calore dal flusso in entrata ed evapora. Si ottiene così il raffreddamento del flusso d'aria calda in entrata. Una pompa preleva l'acqua dalla riserva situata vicino ad una bacinella di recupero e la inietta nell'aria di ripresa. L'acqua viene riutilizzata e spruzzata a favore, o in contro corrente, in più punti del percorso dell'aria esausta che lambisce lo scambiatore di calore a piastre.

L'aria esterna viene poi raffreddata meccanicamente attraverso la batteria di raffreddamento e infine post-riscaldata fino a raggiungere i livelli termoigrometrici desiderati.

Si riportano i dati riassuntivi del tipo di macchina scelta e del tipo di funzionamento. La portata totale risulta pari a 11808 m³/h, determinata sommando tutti i ricambi d'aria necessari all'edificio, esclusa la sala polivalente.

In estate è possibile l'efficienza del recuperatore si abbassa notevolmente fino a valori del 40%. Per il flusso d'aria in entrata si considerano le seguenti condizioni termoigrometriche: temperatura pari a 25°C e umidità relativa pari a 50%, mentre per l'aria in uscita una temperatura pari a 18°C e umidità relativa pari a 95%. Si ottiene una macchina di trattamento dell'aria con una potenza di raffreddamento di 35 kW. Le dimensioni della macchina sono le seguenti: lunghezza pari a 5230 mm, larghezza 1690 mm, altezza totale 3280 mm con canale di estrazione dell'aria viziata di sezione pari a 1540x900 mm e con canale di immissione di sezione pari a 1380x900 mm.

Tabella 29: Dati estivi trattamento dell'aria

1) Umidificazione dell'aria con acqua

Potenza	kW	0.634
Acqua per umidificazione	kg/h	36.632
T umidificazione	°C	15.000
Entalpia di umidificazione	kJ/kg	62.302

		Aria entrata	Aria uscita
Temperatura	°C	25.000	18.320
UR	%	50.000	95.049
Umidità assoluta	g/kg	10.250	13.022
Densità aria umida	kg/mi	1.131	1.155
Entalpia aria umida	kJ/kg	51.266	51.439
Portata volumetrica	mi/h	11800.000	11586.202
Portata (massa secca)	kg/h	13215.563	13215.563

2) Recupero di calore - Sistema KVS - Rapporto superficie calda/fredda 1.000 - Passo alette (2.5 - 3.5 mm)

Efficienza di temperature	%	75.000	Potenza 1 %	16.059
Efficienza igroscopica	%	0.000	Potenza 2 %	16.298
Efficienza umidificatore	%	0.000	Potenza 3 %	16.539
Potenza	kW	38.830	Potenza 4 %	16.784
dT medio diff.	K	3.576	Potenza 5 %	17.033
Coefficiente	kW/K	10.860	Potenza 6 %	17.286

		Aria fredda entrata	Aria fredda uscita	Aria calda entrata	Aria calda uscita
Temperatura	°C	18.320	28.580	32.000	22.056
UR	%	95.044	51.260	55.000	97.122
Umidità assoluta	g/kg	13.022	13.022	17.096	16.855
Densità aria umida	kg/mi	1.155	1.116	1.101	1.130
Entalpia aria umida	kJ/kg	51.437	62.014	75.071	65.028
Portata volumetrica	mi/h	11586.202	11994.025	11800.000	11411.169
Portata (massa secca)	kg/h	13215.584	13215.584	12774.140	12774.140
Acqua di condensazione	kg/h		0.000		3.084
T superficiale	°C				20.674

3) Refrigerazione dell'aria - Passo delle alette (2.5 - 3.5 mm)

Potenza	kW	92.675	Potenza 1 %	19.837
dT medio diff.	K	8.149	Potenza 2 %	18.445
Coefficiente	kW/K	11.372	Potenza 3 %	17.151
Refrigerante entrata	°C	7.000	Potenza 4 %	15.948
Refrigerante uscita	°C	12.000	Potenza 5 %	14.830
			Potenza 6 %	13.789

		Aria entrata	Aria uscita
Temperatura	°C	22.056	13.500
UR	%	97.122	100.000
Umidità assoluta	g/kg	16.855	10.029
Densità aria umida	kg/mi	1.138	1.177
Entalpia aria umida	kJ/kg	65.029	38.911
Portata volumetrica	mi/h	11411.169	10962.100
Portata (massa secca)	kg/h	12774.141	12774.141
Acqua di condensazione	kg/h		87.189
T superficiale	°C		8.690

4) Riscaldamento dell'aria

Potenza	kW	20.006
---------	----	--------

		Aria entrata	Aria uscita
Temperatura	°C	13.500	19.000
UR	%	100.000	70.482
Umidità assoluta	g/kg	10.029	10.029
Densità aria umida	kg/mi	1.177	1.155
Entalpia aria umida	kJ/kg	38.911	44.549
Portata volumetrica	mi/h	10962.100	11172.423
Portata (massa secca)	kg/h	12774.141	12774.141

Tabella 30: Diagramma psicrometrico estivo

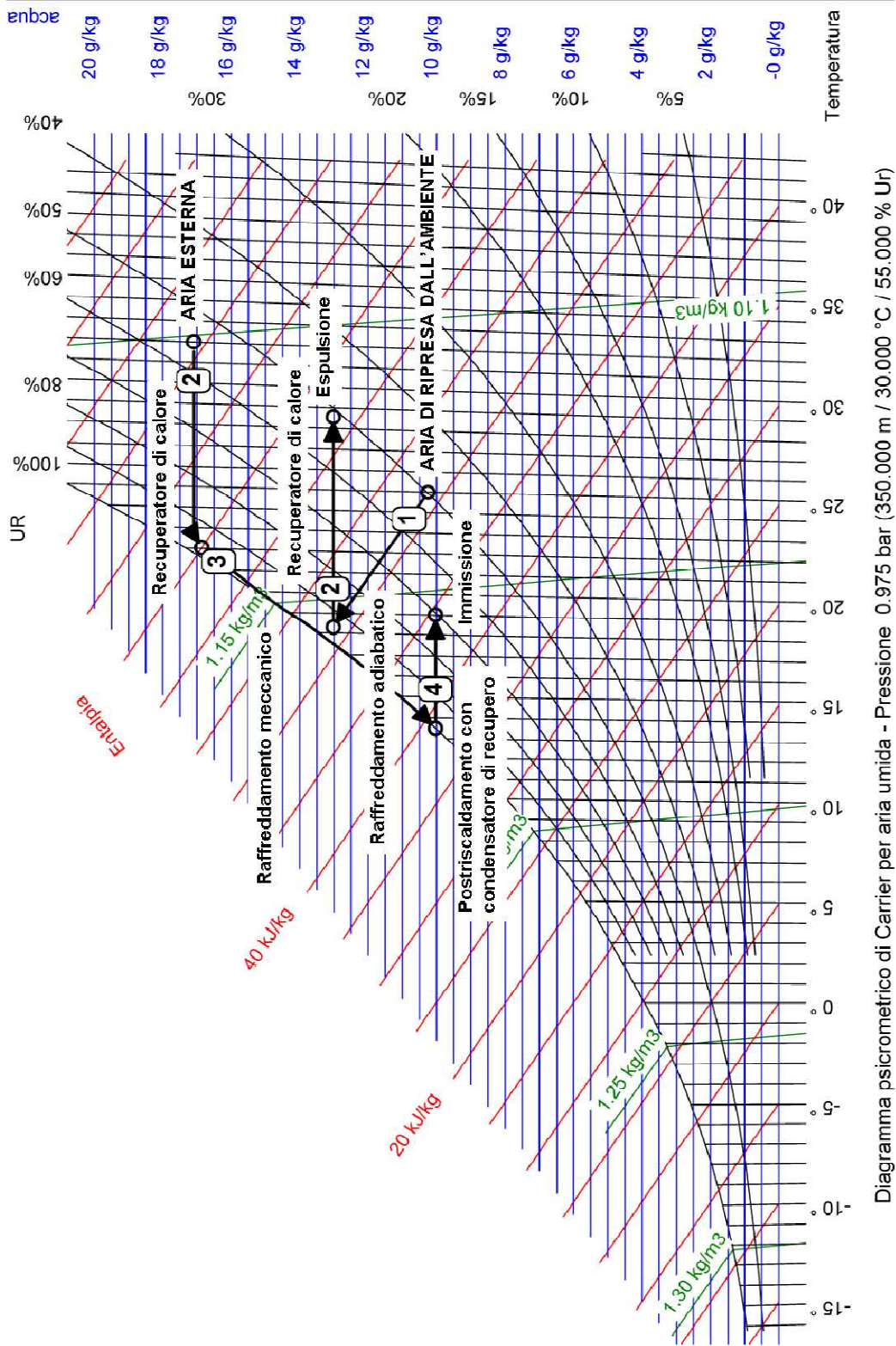
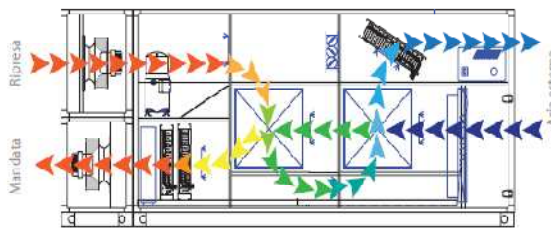


Diagramma psicrometrico di Carrier per aria umida - Pressione 0.975 bar (350.000 m / 30.000 °C / 55.000 % Ur)

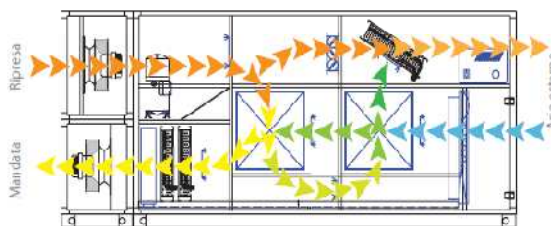
Si inserisce l'estratto della spiegazione del funzionamento della macchina fornito dal produttore per avere un quadro completo e più esplicativo del sistema.

> Schemi di funzionamento - EtaMax Dry



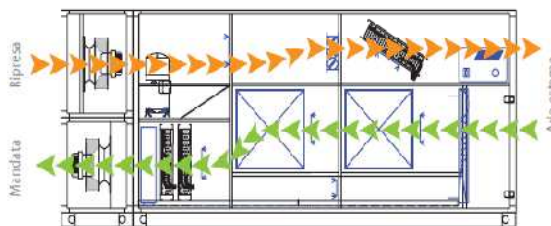
Funzionamento invernale

L'aria di espulsione attraversa il recuperatore di calore a doppio stadio, cedendo calore all'aria esterna di rinnovo; il calore residuo ancora contenuto in essa viene ceduto all'evaporatore della pompa di calore. L'aria esterna di rinnovo si riscalda dapprima attraversando il recuperatore a flussi incrociati e viene poi postriscaldata fino alle volute condizioni di immissione in ambiente dal condensatore della pompa di calore ed infine postriscaldata dalla batteria a gas caldo (di serie).



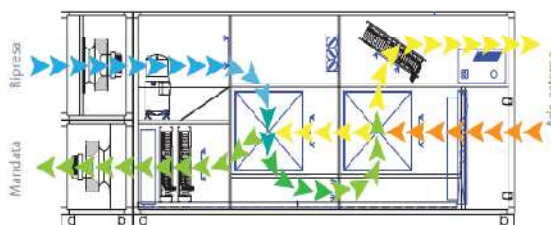
Funzionamento nelle stagioni intermedie (free cooling con bypass parziale)

L'aria di espulsione viene convogliata in parte all'esterno attraverso una serranda di bypass ed in parte attraverso il recuperatore di calore, dove cede calore all'aria di rinnovo.



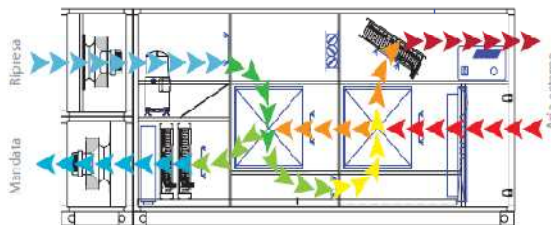
Funzionamento nelle stagioni intermedie (free cooling con bypass totale)

L'aria di espulsione viene convogliata direttamente all'esterno attraverso una serranda di bypass e non attraverso il recuperatore di calore. L'aria di rinnovo viene prelevata dall'esterno ed immessa direttamente in ambiente.



Funzionamento nelle stagioni intermedie (raffreddamento adiabatico)

L'aria di espulsione subisce un raffreddamento adiabatico ed attraversa il recuperatore, dove asporta calore sensibile all'aria di rinnovo. In questa modalità di funzionamento, viene massimizzata l'efficienza energetica in quanto il raffreddamento viene ottenuto senza l'intervento del circuito frigorifero.



Funzionamento estivo (temperature esterne elevate)

L'aria di espulsione subisce un raffreddamento adiabatico ed attraversa il recuperatore, dove asporta calore sensibile all'aria di rinnovo. L'aria di rinnovo viene raffreddata sia a mezzo dello scambio termico nel doppio recuperatore di calore, sia grazie alla batteria evaporante del circuito frigorifero. È possibile regolare finemente la temperatura di immissione dell'aria in ambiente grazie alla batteria di postriscaldamento a gas caldo (di serie).

Per il sistema di immissione e di aspirazione all'interno di ogni locale si è optato per un impianto di dislocamento. Il dislocamento è una strategia di ventilazione artificiale che utilizza le forze naturali di galleggiamento come motore del trasporto dell'aria nell'ambiente. L'obiettivo è il mantenimento di livelli adeguati di qualità dell'aria ed è raggiunto creando disomogeneità di concentrazione di contaminante nell'ambiente. Per le leggi della fisica dei fluidi le sostanze contaminanti salgono verso l'alto. La ventilazione a dislocamento è efficace quando i punti di immissione d'aria esterna pulita ed estrazione d'aria viziata sono localizzati in punti opposti all'interno dell'ambiente. L'immissione d'aria inoltre deve avvenire in modo diffuso e continuo, in questo modo si sfruttano i flussi naturali: dal basso si immette aria pulita che mano a mano sale verso l'alto aumentando la sua concentrazione di contaminante e infine viene aspirata dall'alto. Questo sistema permette di evitare di avere le bocchette di immissione concentrate in un unico punto con flussi d'aria in entrata fastidiosi e che portano a condizioni di discomfort per l'utenza. All'interno della scuola elementare i canali di immissione ed estrazione dell'aria sono a soffitto, all'interno dei corridoi. Ogni parete tra l'aula e il corridoio sarà dotata di almeno due dislocatori nella parte inferiore di dimensioni 800x980 mm e una griglia di aspirazione a soffitto sul lato opposto vicino alla serra.

Vedi in allegato TAVOLA 70 – Particolare ventilazione e dislocamento

8.5.6 Impianto a tutt'aria della sala polivalente

La sala polivalente ha un uso specifico molto diverso dal resto dell'edificio. Essa è stata progettata per un uso saltuario in occasione di incontri aperti ad un pubblico, come recite scolastiche, rappresentazioni di film, incontri di formazione. Essa può ospitare dalle 100 alle 150 persone. Per questi motivi si è scelto un impianto a tutt'aria dedicato alla sola sala polivalente a cui si demanda il riscaldamento, il raffrescamento e il trattamento dell'aria.

La macchina scelta è un'unità di trattamento dell'aria tradizionale con un recuperatore di calore. In questo caso la portata d'aria è molto ridotta e risulta pari a 3600 m³/h.

Si illustrano di seguito il funzionamento invernale ed estivo.

Funzionamento invernale

L'aria viziata di ripresa dall'ambiente attraversa il recuperatore e cede calore al flusso d'aria in entrata per poi essere espulsa. L'aria esterna fredda attraversa il recuperatore assorbendo calore dal flusso in uscita per poi attraversare la batteria di riscaldamento dove viene portata alle condizioni termoigrometriche desiderate. Sono presenti ovviamente una serie di filtri e prefiltri in corrispondenza dei canali di aspirazione e ripresa dell'aria esterna.

Si riportano i dati riassuntivi del tipo di macchina scelta e del tipo di funzionamento. La portata totale risulta pari a 3600 m³/h.

In inverno si considera un'efficienza del recuperatore pari al 70%. Per il flusso d'aria in entrata si considerano le seguenti condizioni termoigrometriche: temperatura pari a 12,5°C e umidità relativa pari a 20%, mentre per l'aria in uscita una temperatura pari a 35°C e umidità relativa pari a 5%. Si ottiene una macchina di trattamento dell'aria con una potenza delle batterie di riscaldamento di 92 kW.

Tabella 31: Dati invernali UTA sala polivalente

0) Recupero di calore - Sistema KVS - Rapporto superficie calda/fredda 1.000 - Passo alette (2.5 - 3.5 mm)

Efficienza di temperature	%	70.000			Potenza 1	%	14.454
Efficienza igroscopica	%	0.000			Potenza 2	%	15.274
Efficienza umidificatore	%	0.000			Potenza 3	%	16.141
Potenza	kW	21.738			Potenza 4	%	17.057
dT medio diff	K	8.891			Potenza 5	%	18.025
Coefficiente	kW/K	2.445			Potenza 6	%	19.048
			Aria fredda entrata	Aria fredda uscita	Aria calda entrata		Aria calda uscita
Temperatura	°C		-5.000	12.500	20.000		5.445
UR	%		75.000	20.733	50.000		98.859
Umidità assoluta	g/kg		1.973	1.973	7.735		5.887
Densità aria umida	kg/mi		1.232	1.157	1.123		1.183
Entalpia aria umida	kJ/kg		-0.116	17.557	39.756		20.257
Portata volumetrica	mi/h		3600.000	3634.933	3600.000		3411.225
Portata (massa secca)	kg/h		4428.170	4428.170	4013.486		4013.486
Acqua di condensazione	kg/h			0.000			7.419
T superficiale	°C						1.580

1) Riscaldamento dell'aria

Potenza	kW	91.876		
			Aria entrata	Aria uscita
Temperatura	°C		12.500	35.000
UR	%		20.733	5.360
Umidità assoluta	g/kg		1.973	1.973
Densità aria umida	kg/mi		1.157	1.072
Entalpia aria umida	kJ/kg		17.557	40.295
Portata volumetrica	mi/h		12570.059	13560.137
Portata (massa secca)	kg/h		14514.558	14514.558

Tabella 32: Diagramma psicrometrico invernale UTA

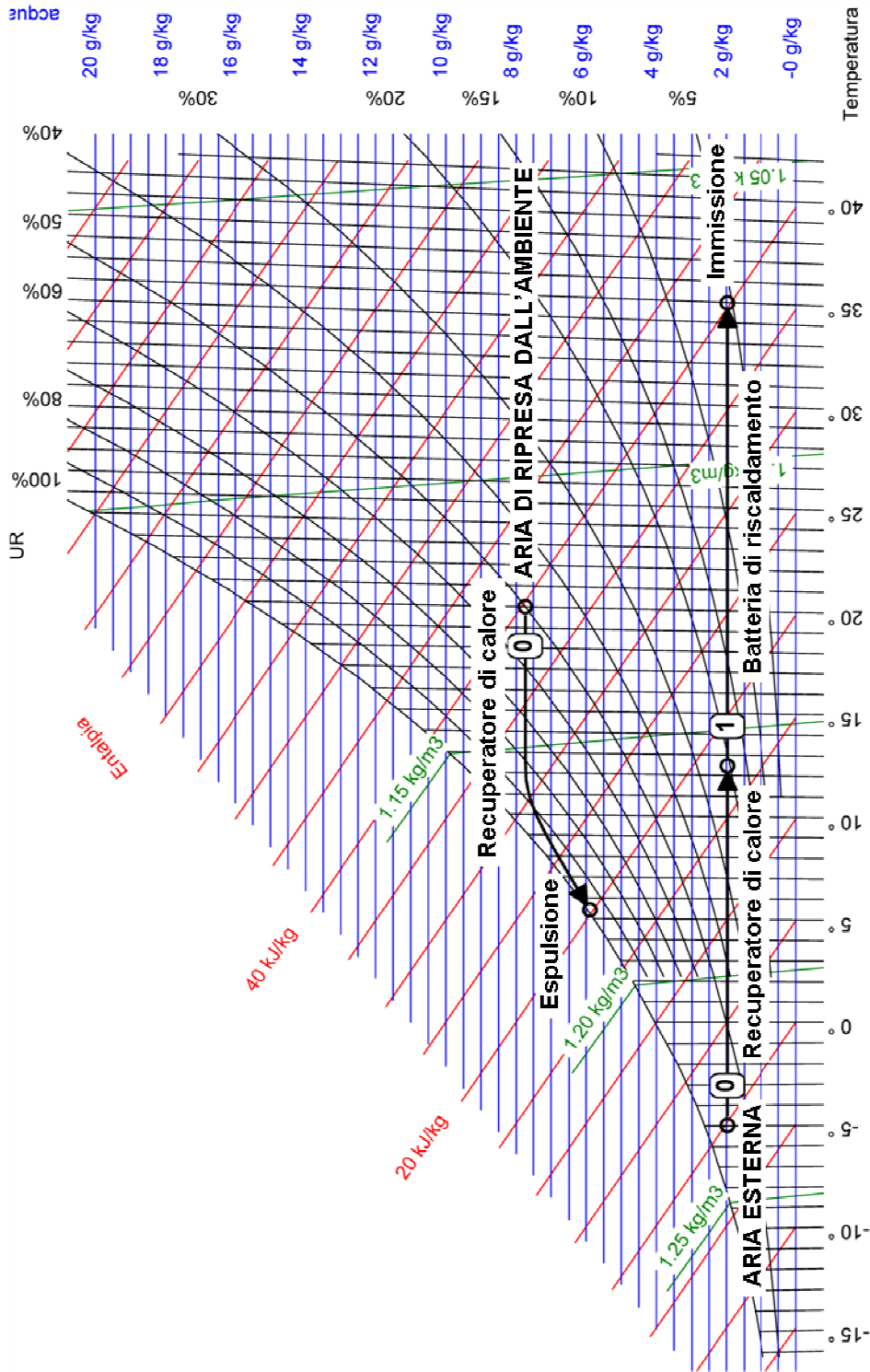


Diagramma psicrometrico di Carrier per aria umida - Pressione 0.950 bar / $10.000 \text{ m}^3 / 80.000 \text{ \% Ur}$

Funzionamento estivo

L'aria di ripresa dall'ambiente attraversa il recuperatore di calore e la serranda di ricircolo, dove cede calore che viene riutilizzato per la batteria di post riscaldamento. L'aria calda dall'ambiente esterno attraversa il recuperatore di calore passando per la serranda in free cooling per poi essere raffreddata meccanicamente dalla batteria di raffreddamento e post-riscaldata per l'immissione nell'ambiente a temperatura ed umidità controllate.

Si riportano i dati riassuntivi del tipo di macchina scelta e del tipo di funzionamento. La portata totale risulta pari a 3600 m³/h. Per il flusso d'aria in entrata si considerano le seguenti condizioni termoigrometriche: temperatura pari a 30°C e umidità relativa pari a 267%, mentre per l'aria in uscita una temperatura pari a 14°C e umidità relativa pari a 97%. Si ottiene una macchina di trattamento dell'aria con una potenza delle batterie di riscaldamento di 38 kW.

Tabella 33: Dati estivi UTA sala polivalente

1) Recupero di calore - Sistema KVS - Rapporto superficie calda/fredda 1.000 - Passo alette (2.5 - 3.5 mm)

Efficienza di temperature	%	50.000			Potenza 1	%	16.818
Efficienza igroscopica	%	0.000			Potenza 2	%	16.757
Efficienza umidificatore	%	0.000			Potenza 3	%	16.697
Potenza	kW	3.909			Potenza 4	%	16.636
dT medio diff.	K	3.462			Potenza 5	%	16.576
Coefficiente	kW/K	1.129			Potenza 6	%	16.516
			Aria fredda entrata	Aria fredda uscita	Aria calda entrata		Aria calda uscita
Temperatura	°C		26.000	29.500	33.000		29.425
UR	%		50.000	40.779	55.000		67.376
Umidità assoluta	g/kg		11.173	11.173	18.595		18.595
Densità aria umida	kg/mi		1.099	1.086	1.069		1.082
Entalpia aria umida	kJ/kg		54.642	58.239	80.849		77.124
Portata volumetrica	mi/h		3600.000	3642.119	3600.000		3557.958
Portata (massa secca)	kg/h		3911.660	3911.660	3777.951		3777.951
Acqua di condensazione	kg/h			0.000			0.000
T superficiale	°C						28.157

2) Refrigerazione dell'aria - Passo delle alette (2.5 - 3.5 mm)

Potenza	kW	38.602			Potenza 1	%	23.569
dT medio diff.	K	11.431			Potenza 2	%	20.246
Coefficiente	kW/K	3.377			Potenza 3	%	17.391
					Potenza 4	%	14.939
Refrigerante entrata	°C	7.000			Potenza 5	%	12.832
Refrigerante uscita	°C	12.000			Potenza 6	%	11.023
			Aria entrata	Aria uscita			
Temperatura	°C		29.425	14.000			
UR	%		67.376	97.736			
Umidità assoluta	g/kg		18.595	10.392			
Densità aria umida	kg/mi		1.082	1.145			
Entalpia aria umida	kJ/kg		77.124	40.341			
Portata volumetrica	mi/h		3557.958	3333.362			
Portata (massa secca)	kg/h		3777.951	3777.951			
Acqua di condensazione	kg/h			30.992			
T superficiale	°C			8.820			

3) Riscaldamento dell'aria

Potenza	kW	4.306					
			Aria entrata	Aria uscita			
Temperatura	°C		14.000	18.000			
UR	%		97.736	75.753			
Umidità assoluta	g/kg		10.392	10.392			
Densità aria umida	kg/mi		1.145	1.129			
Entalpia aria umida	kJ/kg		40.341	44.444			
Portata volumetrica	mi/h		3333.362	3379.794			
Portata (massa secca)	kg/h		3777.951	3777.951			

Tabella 34: Diagramma psicrometrico estivo UTA

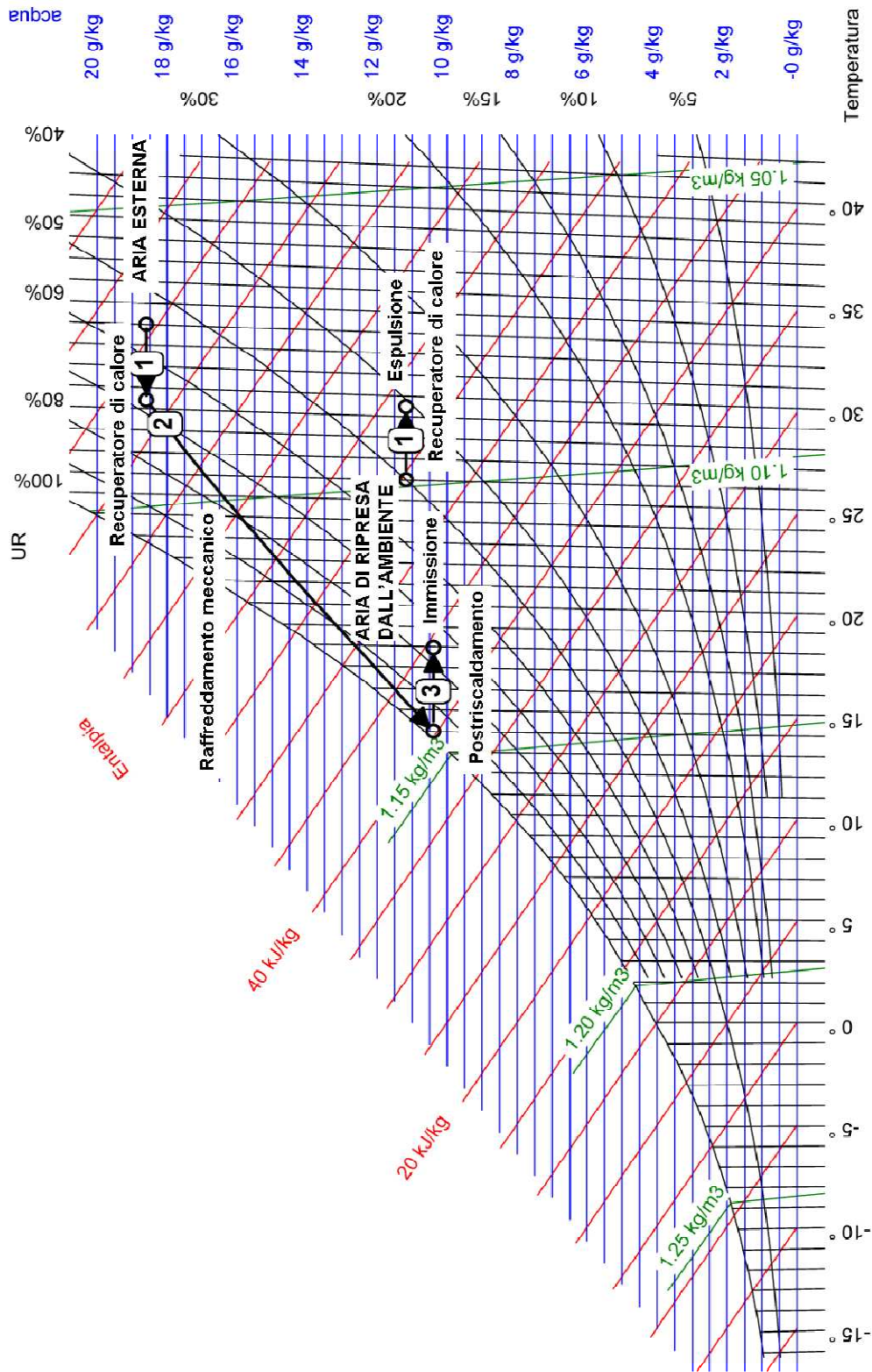


Diagramma psicrometrico di Carrier per aria umida - Pressione 0.950 bar (537.000 m / 10.000 °C / 80.000 % Ur)

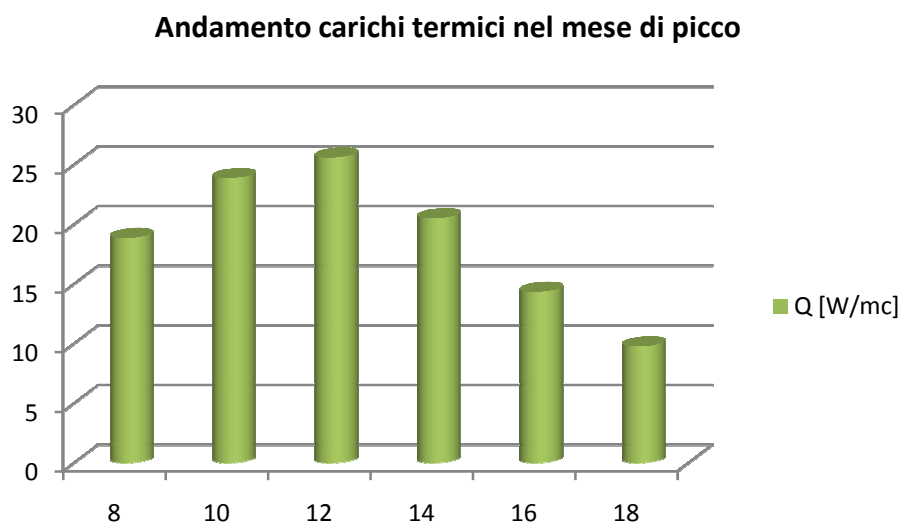
Dimensioni UTA

La macchina di trattamento dell'aria è composta da un ventilatore di ripresa dell'aria viziata preceduto da un sistema di filtri; da un ventilatore di mandata con aspirazione dell'aria esterna, che attraversa una serie di prefiltri e filtri, un recuperatore di calore con due serrande, una per il ricircolo e una per il free cooling e infine due batterie una per il raffreddamento e una per riscaldamento e postriscaldamento. La macchina ha una sezione m^3/h .

Gruppo frigorifero

La sala polivalente è sprovvista di pannelli radianti che nel resto dell'edificio svolgono la funzione di riscaldamento e raffrescamento. Se per il riscaldamento di utilizza l'unità di trattamento dell'aria, per il raffrescamento e condizionamento è necessario un gruppo frigorifero o chiller.

Tabella 35: Andamento carichi termici nel mese di picco



Si riporta l'andamento dei carichi termici nel mese più caldo, ovvero luglio. Il picco massimo si ha alle ore 12 e si raggiunge il valore di 25,59 W/mc. Per determinare la potenza frigorifera è sufficiente moltiplicare il valore di picco per il volume del locale pari a 750 mc, ottenendo così una potenza frigorifera di circa 20 kW.

Vedi in allegato TAVOLA 71 – Sottostazione scuola elementare: Alta Temperatura
Vedi in allegato TAVOLA 72 – Sezione impiantistica 1
Vedi in allegato TAVOLA 73 – Sezione impiantistica 2

8.6 Le serre bioclimatiche

La progettazione di una serra bioclimatica deve considerare diversi fattori: il più importante è il clima, seguito dall'orientamento, dalla geometria della serra e quindi dal rapporto tra le dispersioni invernali e i sovraccarichi termici estivi.

La scuola elementare è utilizzata soprattutto nella stagione invernale, quindi la serra si considera come un buffer termico che riduca le dispersioni verso l'esterno e permetta di avere apporti solari gratuiti. Si è deciso di avere un involucro più performante per limitare le dispersioni, piuttosto che privilegiare gli apporti solari gratuiti. Questa scelta dipende sia dal funzionamento principalmente invernale della scuola, ma anche dall'orientamento non ottimale della serra, esposta a Sud-Est e non direttamente a Sud. L'involucro della serra è costituito da doppi vetri e la parete di confine tra la serra e lo spazio riscaldato è costituita da un serramento con triplo vetro.

Funzionamento invernale diurno

Durante la stagione invernale la presenza della serra deve garantire la massima captazione solare. I guadagni solari sono fortemente condizionati dalla latitudine e dalla copertura o limpidezza dell'atmosfera. Se le temperature esterne non sono troppo rigide e l'involucro della serra ha una buona capacità isolante, anche in condizione di cielo coperto, essa può avere un bilancio positivo.

Esistono diverse tipologie classificate in base ai dispositivi di scambio termico con l'ambiente riscaldato:

- Serre a guadagno diretto
- Serre a scambio convettivo
- Serre a scambio radiativo

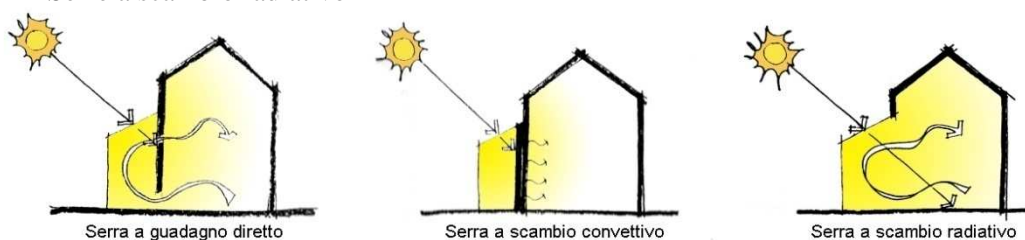


Figura 14: Regimi di funzionamento invernale diurno

Poiché le serre sono addossate alle aule didattiche si è deciso di utilizzare un regime di funzionamento a scambio radiativo. La parete vetrata che separa le serre dall'ambiente riscaldato ha la duplice funzione di accumulatore termico e di mezzo per la diffusione del calore. È fondamentale massimizzare l'irraggiamento di questa superficie in modo che il calore assorbito possa propagarsi all'interno dell'aula.

La serra bioclimatica deve essere completamente chiusa e libera da schermature per ottenere gli effetti desiderati. Sono previste comunque schermature interne utilizzabili nelle ore in cui il sole è molto basso, per evitare l'abbagliamento degli alunni durante le ore scolastiche. Non è possibile utilizzare l'aria calda all'interno della serra per avere i ricambi d'aria previsti da normativa, per questa funzione si rimanderà ad un impianto di ventilazione meccanica.

Funzionamento invernale notturno

L'assetto notturno nel periodo invernale ha lo scopo di minimizzare le dispersioni verso l'esterno. È necessario garantire sia un buon livello di isolamento dell'involucro vetrato sia un'ottima tenuta dei serramenti. Analogamente al caso precedente si classificano diversi funzionamenti della serra in base al dispositivo di scambio termico adottato:

- Serre a guadagno diretto
- Serre a scambio convettivo
- Serre a scambio radiativo

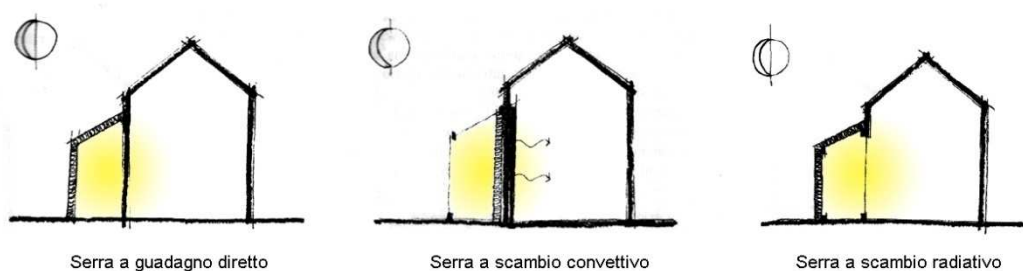


Figura 15: Regime funzionamento invernale notturno

Per il caso in esame si deve fare riferimento alla terza situazione, dove è fondamentale l'isolamento dell'involucro della serra.

Funzionamento estivo diurno

Nella stagione estiva si deve evitare il vero e proprio "effetto serra": la serra viene completamente disattivata per evitare qualsiasi tipo di surriscaldamento. Per disattivare una serra si possono utilizzare schermature che la oscurino completamente, soprattutto se in presenza di coperture vetrate, oppure è sufficiente aprire le vetrate e garantire una ventilazione adeguata. Nel secondo caso è possibile distinguere tra l'apribilità totale dei serramenti o la possibilità di sfruttare la serra come camino solare.



Figura 16: Regime funzionamento estivo diurno

Studiando la posizione delle finestre e inserendo aperture nella parte inferiore e superiore è possibile creare un moto d'aria ascendente all'interno della serra. La depressione che si crea può essere sfruttata per aspirare l'aria viziata da espellere dagli ambienti e garantire il ricambio d'aria in modo naturale.

L'idea progettuale è quella di riuscire a creare una torre di ventilazione, utilizzando la serra come elemento captante che si riscalda molto per innescare appunto l'effetto camino ed estrarre naturalmente l'aria viziata dalle aule.

Funzionamento estivo notturno

Nella situazione estiva notturna bisogna garantire che tutte le superfici si scarichino termicamente favorendo la massima dispersione energetica.



Figura 17: Regime funzionamento estivo notturno

È necessario studiare la posizione delle aperture dell'edificio per sfruttare al meglio le brezze termiche per massimizzare il lavaggio termico di tutte le superfici.

Calcolo apporti gratuiti

Per il calcolo degli apporti solari gratuiti è stato utilizzato il metodo descritto all'interno della UNI EN 832 del 30 giugno 2001: si stimano gli apporti gratuiti come somma di quelli diretti attraverso la parete divisoria tra spazio riscaldato e la serra e quelli indiretti che dipendono dalle altre superfici della serra. Per il calcolo è necessario definire diversi parametri raccolti nella tabella seguente:

Tabella 36: Fattori per il calcolo delle serre

CALCOLO APPORTI SOLARI GRATUITI SECONDO UNI EN 832	
FATTORI D'OMBRA	
Fattore di ombreggiatura dei tendaggi	Fc
Fattore di ombreggiatura del telaio	Ff
Fattore di correzione dovuto all' ombreggiatura	Fs
$F_s = F_h * F_o * F_f$	
Fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad ostruzioni esterne	Fh
Fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad aggetti verticali	Fo
Fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad aggetti orizzontali	Ff
DATI ELEMENTI VETRATI ED OPACHI	
Fattore solare totale delle vetrate esterne	ge
Superficie dell' involucro degli spazi soleggiati	Ae
Fattore solare totale delle vetrate interne	gw
Superficie delle finestre presenti nella parete divisoria	Aw
Trasmittanza termica della parte opaca della parete divisoria	Up
Trasmittanza termica tra la superficie assorbente parete - spazio soleggiato	Upe
Area superfici opache della parete divisoria	Ap
Fattore di assorbimento solare medio della superficie della parete divisoria	α_{sp}
Area di ciascuna superficie j che assorbe la radiazione solare nello spazio soleggiato	Aj
Fattore di assorbimento solare medio della superficie assorbente j nello spazio soleggiato	α_{sj}
FATTORE DI PONDERAZIONE (1-b)	
$b = H_{ue} / (H_{iu} + H_{ue})$	b
Coefficiente liminare interno	Liu
Coefficiente liminare esterno	Lue
$H_{iu} = L_{iu} + H_{v,iu}$	Hiu
$H_{ue} = L_{ue} + H_{v,ue}$	Hue
$H_{v,iu} = \rho * c * V_{iu}$	Hv,iu
$H_{v,ue} = \rho * c * V_{ue}$	Hv,ue
Densità aria	ρ
Capacità termica specifica dell' aria	c
Portata d' aria spazio non riscaldato-esterno	Vue
Portata aria spazio riscaldato-non riscaldato	Viu

Gli apporti solari che lo spazio soleggiato fornisce allo spazio riscaldato QSs sono la somma degli apporti diretti attraverso la parete divisoria QSd e degli apporti indiretti QSi derivanti dallo spazio soleggiato riscaldato dal sole:

$$QSs = QSd + QSi$$

Per calcolare i seguenti apporti si utilizzano le seguenti formule:

$$QSd = I_i \cdot F_s \cdot FCe \cdot FFe \cdot ge \cdot (FCw \cdot FFw \cdot gw \cdot AW + \alpha_{Sp} \cdot Ap \cdot (Up/Upe))$$

Dove in QSd si tiene conto sia degli apporti derivanti dalle parti trasparenti che di quelli derivanti dalle parti opache della parete divisoria.

$$QSi = (1 - b) \cdot F_s \cdot FCe \cdot FFe \cdot ge \cdot (\sum IS_j \cdot \alpha_{Sj} \cdot A_j - I_p \cdot \alpha_{Sp} \cdot Ap \cdot (Up/Upe))$$

Dove in QSi gli apporti indiretti sono calcolati sommando gli apporti solari di ciascuna area assorbente j nello spazio soleggiato ma sottraendo gli apporti diretti che attraversano la parte opaca della parete divisoria. Il fattore di ponderazione (1 - b) è la frazione della radiazione solare assorbita nello spazio soleggiato che entra nello spazio riscaldato attraverso la parete divisoria.

Si riportano di seguito i valori di irradiazione solare globale mensili desunti dalla norma UNI 10349, espressi in MJ/m² o kWh/m² e divisi in base agli orientamenti delle superfici della serra necessari ai fini del calcolo.

Tabella 37: Irradiazione solare globale media mensile

BERGAMO	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
S-E / S-O [MJ/mq]	5,7	7,8	10,3	11,4	11,7	11,7	13,1	12,9	11,9	10	6	5,6
S-E / S-O [kWh/mq]	1,6	2,2	2,9	3,2	3,3	3,3	3,6	3,6	3,3	2,8	1,7	1,6
N-E / N-O [MJ/mq]	1,7	2,9	5,2	7,8	10,2	11,4	12,1	9,6	6,5	3,8	2	1,5
N-E / N-O [kWh/mq]	0,5	0,8	1,4	2,2	2,8	3,2	3,4	2,7	1,8	1,1	0,6	0,4

Si stimano dunque gli apporti solari gratuiti escludendo i mesi estivi in cui la serra è disattivata. Il calcolo è effettuato per la singola serra, per determinare il totale sarà sufficiente moltiplicare il valore ottenuto per il numero delle serre, pari a 5. Si riportano le tabelle di calcolo riassuntive di seguito.

Tabella 38: Qsd: guadagni diretti superfici trasparenti

Nome elemento		Vetrata S-E						
Orientamento		S-E						
Area apertura		7,56 mq						
m		0,78						
gw		0,6						
ms		0,7						
ge		0,7						
		OTT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR	
Ip (kWh/mq giorno)		2,78	1,67	1,55	1,58	2,17	3,86	
F		0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	
Qsdt1 (kWh/giorno)		4,34	2,61	2,42	2,47	3,39	6,02	

Nome elemento		Vetrata S-O						
Orientamento		S-O						
Area apertura		21,28 mq						
m		0,79						
gw		0,6						
ms		0,7						
ge		0,7						
		OTT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR	
Ip (kWh/mq giorno)		1,06	0,56	0,42	0,47	0,81	1,44	
F		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	
Qsdt2 (kWh/giorno)		4,19	2,21	1,66	1,86	3,20	5,69	

Nome elemento		Vetrata N-O						
Orientamento		N-O						
Area apertura		21,28 mq						
m		0,79						
gw		0,6						
ms		0,7						
ge		0,7						
		OTT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR	
Ip (kWh/mq giorno)		1,06	0,56	0,42	0,47	0,81	1,44	
F		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	
Qsdt3 (kWh/giorno)		4,19	2,21	1,66	1,86	3,20	5,69	

Tabella 39: Qsd: Guadagni diretti superfici opache

Nome elemento		Veletta						
Orientamento		S-E						
Area		3,33 mq						
Up		0,11 W/mq K						
α		0,6						
ms		0,75						
ge		0,7						
		OTT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR	
Ip (kWh/mq giorno)		2,78	1,67	1,56	1,58	2,17	3,86	
F		0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
Qsdo1 (kWh/giorno)		0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	

Nome elemento		Portafinestra Serra-Aula						
Orientamento		S-E						
Area		7,56 mq						
U		1,1 W/mq K						
α		0,6						
ms		0,75						
τ_s		0,7						
		OTT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR	
Ip (kWh/mq giorno)		2,78	1,67	1,56	1,58	2,17	3,86	
F		0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	
Qsdo2 (kWh/giorno)		0,57	0,34	0,32	0,32	0,44	0,79	

Tabella 40: IQ: energia solare assorbita dalla serra

Nome elemento		Pavimento						
Orientamento		S-E						
Area		10 mq						
α		0,3						
ms		0,75						
ge		0,7						
		OTT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR	
Ip (kWh/mq giorno)		2,78	1,67	1,56	1,58	2,17	3,86	
F		0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	
IQ1 (kWh/giorno)		3,94	2,37	2,21	2,24	3,08	5,47	

Tabella 41: Dispersioni dalla serra verso l'esterno

ELEMENTI OPACHI			
Nome elemento	Copertura vetrata		
Area	3,24	mq	
U	1,1	W/mq K	
Dispersione	3,564 W/K		
Nome elemento	Solaio Controtterra		
Area	2,25	mq	
U	1,3	W/mq K	
Dispersione	2,925 W/K		
ELEMENTI TRASPARENTI		TOTALE DIURNO	65,95 W/K
		TOTALE NOTTURNO	65,95 W/K
Nome elemento	INVOLUCRO SERRA		
Area	59,95	mq	
U diurna	1,1	W/mq K	
U notturna	1,1	W/mq K	
Disp. Diurna	65,945 W/K		
Disp. Notturna	65,945 W/K		
PORTATA D'ARIA DA AMBIENTE ESTERNO A SERRA		CALCOLA	
	10	mc/h	
<u>DISPERSIONE DIURNA</u>			
Hued	75,83 W/K		
<u>DISPERSIONE NOTTURNA</u>			
Huen	75,83 W/K		
Hue	75,83 W/K		

Tabella 42: Dispersioni dallo spazio riscaldato alla serra

ELEMENTI OPACHI		TOTALE		0,37 W/K
Nome elemento	Veletta			
Area	3,33	mq		
U	0,11	W/mq K		
Dispersione	0,3663 W/K			
Nome elemento				
Area	mq			
U	W/mq K			
Dispersione	0 W/K			
ELEMENTI TRASPARENTI		TOTALE DIURNO		8,32 W/K
		TOTALE NOTTURNO		8,32 W/K
Nome elemento	Portafinestra Serra-Aula			
Area	7,56	mq		
U diurna	1,1	W/mq K		
U notturna	1,1	W/mq K		
Disp. Diurna	8,316 W/K			
Disp. Notturna	8,316 W/K			
DISPERSIONE DIURNA				
Hiud	8,68 W/K			
DISPERSIONE NOTTURNA				
Hiun	8,68 W/K			
Hiu	8,68 W/K			

Tabella 43: Fattore di riduzione e coefficiente di perdita del calore

b	0,897
Hu	7,790

Tabella 44: Bilancio energetico della serra

GUADAGNI DIRETTI DA SUPERFICI TRASPARENTI						
	OTT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR
Qsd - t (kWh/giorno)	12,72	7,03	5,74	6,18	9,79	17,41

GUADAGNI DIRETTI DA SUPERFICI OPACHE						
	OTT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR
Qsd - o (kWh/giorno)	0,59	0,35	0,33	0,33	0,46	0,82

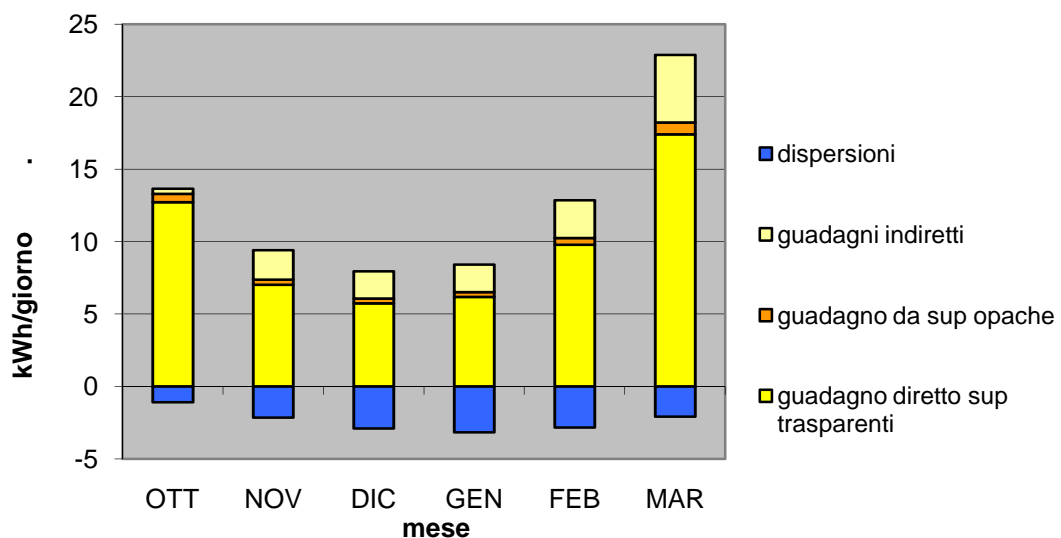
GUADAGNI INDIRETTI						
	OTT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR
ϕ sb (kWh/giorno)	0,34	2,01	1,88	1,91	2,62	4,65

GUADAGNO SOLARE COMPLESSIVO							
	OTT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR	totale kWh/anno
ϕ (kWh/giorno)	13,7	9,4	8,0	8,4	12,9	22,9	2282,5

DISPERSIONI ATTRAVERSO LO SPAZIO CUSCINETTO							
	OTT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR	totale kWh/anno
(kWh/giorno)	-1,1	-2,1	-2,9	-3,2	-2,8	-2,1	-428,7
	1,1	2,1	2,9	3,2	2,8	2,1	

GUADAGNI AL NETTO DELLE PERDITE							
	OTT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR	totale kWh/anno
(kWh/giorno)	12,6	7,3	5,1	5,3	10,0	20,8	1853,7

GUADAGNI E PERDITE ATTRAVERSO LA SERRA



Il grafico rappresenta il bilancio energetico di una serra solare. Si evidenzia come gli apporti gratuiti diretti e indiretti di superfici trasparenti ed opache siano superiori rispetto alle perdite per dispersioni e di ventilazione. La serra ha un bilancio positivo e permette di avere dei benefici nella stagione invernale in modo gratuito.

Il contributo di una sola serra è pari a 1854 kWh/anno. Per calcolare il contributo globale di tutte le serre è sufficiente moltiplicare tale valore per il numero delle stesse, pari a 5, ottenendo così un contributo pari a 9270 kWh/anno. Dividendo il valore ottenuta per la superficie dell'edificio si determina un contributo positivo di 4,2 kWh/m²anno.

Si effettua un'ulteriore verifica, ripetendo il calcolo in assenza di serre e considerando gli apporti gratuiti attraverso la sola portafinestra che separa l'ambiente riscaldato dall'esterno.

Tabella 45: Bilancio energetico in assenza di serra

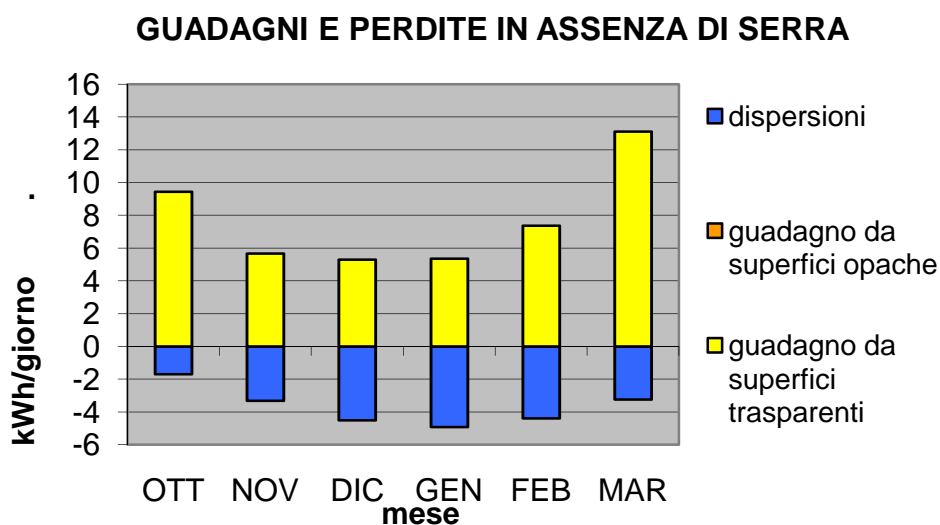
GUADAGNO SOLARE DIRETTO							
	OTT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR	
ϕ sdg (kWh/giorno)	9,46	5,68	5,31	5,38	7,38	13,13	

GUADAGNO SOLARE DA SUPERFICI OPACHE							
	OTT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR	
ϕ smv (kWh/giorno)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

GUADAGNO SOLARE COMPLESSIVO							
	OTT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR	totale kWh/anno
ϕ (kWh/giorno)	9,5	5,7	5,3	5,4	7,4	13,1	1408,6

DISPERSIONI ATTRAVERSO LA PARETE E LA FINESTRA							
	OTT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR	totale kWh/anno
(kWh/giorno)	-1,7	-3,3	-4,5	-4,9	-4,4	-3,2	-664,9

GUADAGNI AL NETTO DELLE PERDITE							
	OTT	NOV	DIC	GEN	FEB	MAR	totale kWh/anno
(kWh/giorno)	7,8	2,4	0,8	0,5	3,0	9,9	743,6



Dal confronto dei risultati emerge un vantaggio energetico sempre positivo dato dalla presenza della serra che assume valori compresi tra i 4 kWh/giorno nei mesi più rigidi e 11 kWh/giorno nella stagione primaverile.

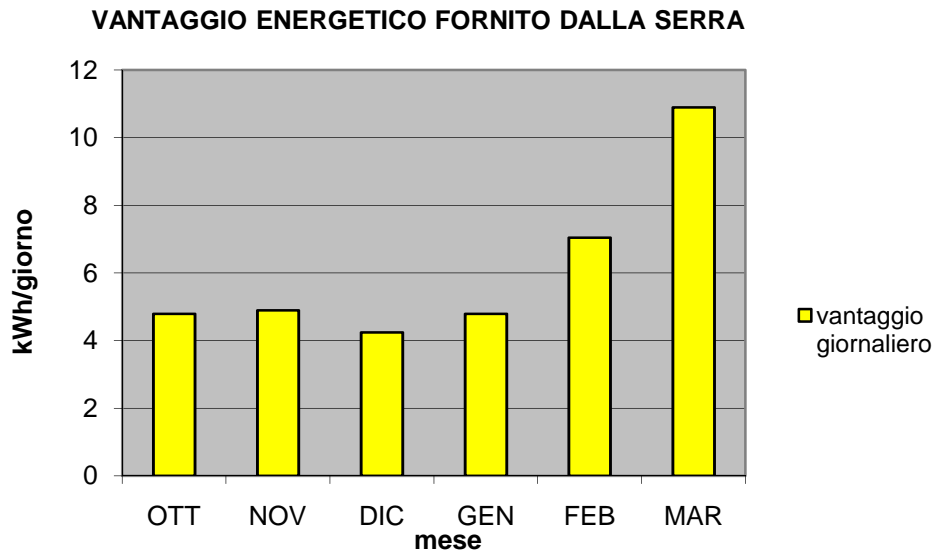


Grafico 7: Vantaggio energetico serra bioclimatica

Dal confronto dei risultati emerge un vantaggio energetico sempre positivo dato dalla presenza della serra che assume valori compresi tra i 4 kWh/giorno nei mesi più rigidi e 11 kWh/giorno nella stagione primaverile.

8.7 Certificazione energetica dell'edificio

Il passo successivo è la definizione della classe energetica dell'edificio. I dati di partenza per determinarla sono tutte le proprietà dell'involucro (geometria, orientamento, stratigrafie, trasmittanze) e dell'impianto. Nel nostro caso è stata necessaria una semplificazione: si considera solo l'impianto di principale alimentazione del sistema di riscaldamento, ovvero la pompa di calore geotermica. La soluzione più realistica sarebbe considerare che la climatizzazione dell'edificio è demandata ad un impianto di teleriscaldamento, che serve anche altre utenze e quindi è necessario un riproporzionamento delle potenze. Il programma non permette di considerare questo tipo di condizioni al contorno, pertanto si considera il sistema prevalente ovvero la rete di bassa temperatura con la pompa di calore geotermica che alimenta i pannelli radianti a pavimento.

Sono stati inseriti i seguenti dati di input:

Rendimento di emissione $\eta_e = 98\%$

Rendimento di distribuzione $\eta_d = 99,5\%$

Rendimento di regolazione $\eta_c = 99,6\%$

Fabbisogni elettrici = 7000 W

Tutti questi rendimenti dipendono dal tipo di impianto e quindi dai sistemi correlati di emissione, distribuzione e regolazione. Si esegue il calcolo e si riportano i risultati ottenuti con le verifiche sulla normativa nazionale e locale della Regione Lombardia.

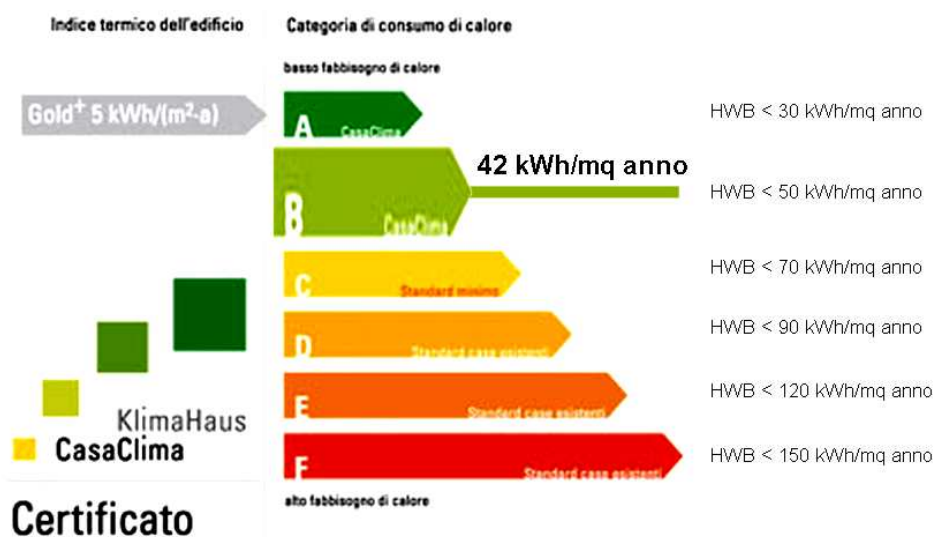
Tabella 46: Verifiche normative

VERIFICA DPR 59/09	VERIFICA	VALORI AMMISSIBILI		VALORI CALCOLATI	
Prestazione energetica per la climatizzazione invernale	POSITIVA	14,45	>	9,77	kWh/m ³ anno
Rendimento globale medio stagionale Etag	POSITIVA	82,19	<	89,6	%
Trasmittanza media chiusure	POSITIVA				

VERIFICA NORMATIVA LOCALE					
Deliberazione Giunta Regionale 31/10/2007 n 8/5773	VERIFICA	VALORI AMMISSIBILI		VALORI CALCOLATI	
Prestazione energetica per la climatizzazione invernale	POSITIVA	19,39	>	9,77	kWh/m ³ anno
Rendimento globale medio stagionale Etag	POSITIVA	80,39	<	89,6	%
Trasmittanza media chiusure	POSITIVA				
Verifica termoigrometrica	POSITIVA				
Produzione ACS con fonte rinnovabile	POSITIVA	50	<	61,9	%

Si determinano così i consumi annui dell'edificio pari a 9,77 kWh/m³ anno che corrispondono alla classe energetica B secondo la classificazione KlimaHaus.

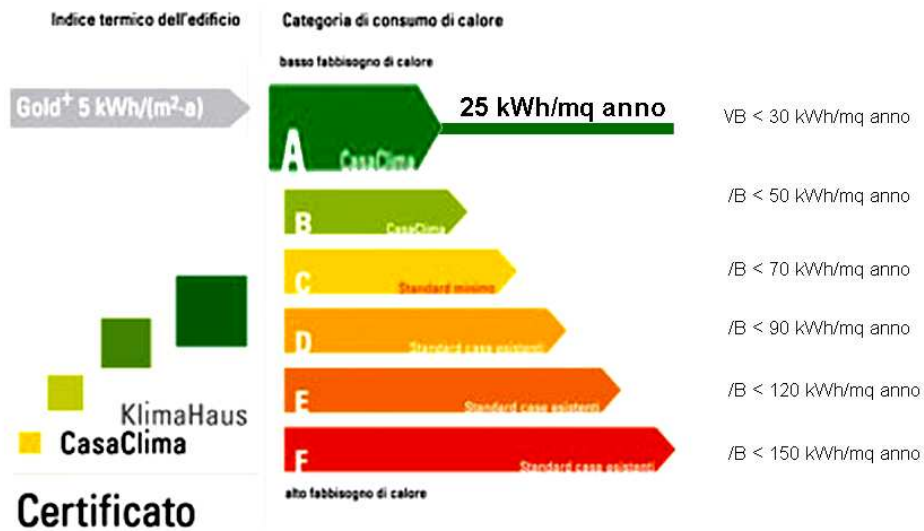
Tabella 47: Certificazione Energetica Classe B



Per la progettazione dell'impianto sono state utilizzate tecnologie all'avanguardia per la produzione di energia nobile, come il cogeneratore e la pompa di calore, integrate con sistemi più tradizionali come la caldaia a condensazione. Tutto il sistema è pensato per garantire la massima efficienza e il minor spreco di energia. La determinazione della classe energetica è stata effettuata senza considerare la produzione combinata di energia. Tutto il sistema è alimentato da energia elettrica, considerando anche la produzione di energia da fonti rinnovabili, quali pannelli fotovoltaici e il contributo delle serre bioclimatiche, i consumi energetici si riducono considerevolmente facendo guadagnare la classe energetica

A all'edificio. Si ricorda che in tutto questo il contributo più che positivo della cogenerazione è trascurato, ma comunque si ottengono risultati non indifferenti. Per considerare il contributo dei pannelli fotovoltaici è sufficiente ridurre i fabbisogni elettrici a 1000 W, invece di 7000 W.

Tabella 48: Certificazione Energetica Classe A



Si riporta le relazioni tecniche per la determinazione delle potenze dell'edificio, della classe con tutte le verifiche secondo la normativa nazionale e locale della Regione Lombardia sia in assenza che in presenza di energia prodotta da fonte rinnovabile.

Conclusioni

Si è optato per un sistema di teleriscaldamento con una centrale termica che serva le diverse utenze del centro polifunzionale. Il sistema impiantistico della centrale comprende una pompa di calore geotermica con 10 sonde di lunghezza 100 m che alimenta il sistema di riscaldamento e raffrescamento; un cogeneratore con produzione di energia combinata termica ed elettrica e una caldaia a condensazione che alimentano il sistema per la produzione di acqua calda sanitaria e le macchine di trattamento dell'aria. In ogni edificio è presente una sottostazione con elementi specifici in base alle esigenze. Le tipologie impiantistiche scelte prestano attenzione all'aspetto ambientale: obiettivo è la riduzione di emissioni e consumi, perciò gli impianti devono essere commisurati ai fabbisogni, devono essere integrati con sistemi passivi e devono sfruttare la produzione di energia da fonti alternative.

Appendice 1: Relazione tecnica impianti radianti a pavimento

RELAZIONE SULL'IMPIANTO



Progetto: Scuola Elementare Cenate Sopra

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Mensa	Numero: 101	Collettore: col01
Superficie totale [m ²] : 208.0	Potenza richiesta [W] : 4839	
Superficie pannellabile [m ²] : 208.0	Potenza residua [W] :	
Superficie marginale [m ²] : 20.0	Potenza acquisita (Passaggi) [W] :	
Temperatura interna [°C] : 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W] : 0.030	
Temperatura locale sottostante [°C] : 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W] : 4.990	
Spessore Massetto [mm] : 40		
Pannello :	Sistema Cover 30mm.	
Tubo :	PE-Xc 17x2 B.A.O.	
Circuiti inseriti :	13	

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: col01			Circuito N. : 1	Superficie ricoperta [m ²]: 6.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	0						
Zona Marginale	8	28.5	190	22.9	6.7		
Lunghezza circuito [m]	Totale: 82	Spirale: 80	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	7.87	51	23	200	14	214	Posiz.1

Collettore: col01			Circuito N. : 2	Superficie ricoperta [m ²]: 6.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	0						
Zona Marginale	8	28.5	190	22.9	6.7		
Lunghezza circuito [m]	Totale: 82	Spirale: 80	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	7.87	51	23	200	14	214	Posiz.1

Collettore: col01			Circuito N. :3	Superficie ricoperta [m ²]: 6.7				
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]		Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	0							
Zona Marginale	8	28.5	190	22.9		6.7		
Lunghezza circuito [m] Totale:		82	Spirale:	80	Adduzione:			2
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola	
				Alto	Basso	Totale		
Dati circuito	7.87	51	23	200	14	214	Posiz.1	

Collettore: col01			Circuito N. :4	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8				
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]		Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	22.7	427	22.3		18.8		
Zona Marginale	0							
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione:			2
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola	
				Alto	Basso	Totale		
Dati circuito	7.87	251	52	437	36	473	Pos.10	

Collettore: col01			Circuito N. :5	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8				
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]		Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	22.7	427	22.3		18.8		
Zona Marginale	0							
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione:			2
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola	
				Alto	Basso	Totale		
Dati circuito	7.87	251	52	437	36	473	Pos.10	

Collettore: col01			Circuito N. :6	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8				
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]		Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	22.7	427	22.3		18.8		
Zona Marginale	0							
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione:			2
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola	
				Alto	Basso	Totale		
Dati circuito	7.87	251	52	437	36	473	Pos.10	

Collettore: col01			Circuito N. :7	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	22.7	427	22.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	7.87	251	52	437	36	473	Pos.10

Collettore: col01			Circuito N. :8	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	22.7	427	22.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	7.87	251	52	437	36	473	Pos.10

Collettore: col01			Circuito N. :9	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	22.7	427	22.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	7.87	251	52	437	36	473	Pos.10

Collettore: col01			Circuito N. :10	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	22.7	427	22.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	7.87	251	52	437	36	473	Pos.10

Collettore: col01			Circuito N. :11	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	22.7	427	22.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	7.87	251	52	437	36	473	Pos.10

Collettore: col01			Circuito N. :12	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	22.7	427	22.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	7.87	251	52	437	36	473	Pos.10

Collettore: col01			Circuito N. :13	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	22.7	427	22.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	7.87	251	52	437	36	473	Pos.10

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Atrio 0	Numero: 201	Collettore: coll02	
Superficie totale [m ²]	: 38.0	Potenza richiesta [W]	: 545
Superficie pannellabile [m ²]	: 19.0	Potenza residua [W]	:
Superficie marginale [m ²]	:	Potenza acquisita (Passaggi) [W]	:
Temperatura interna [°C]	: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]	: 0.030
Temperatura locale sottostante [°C]	: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]	: 4.990
Spessore Massetto [mm]	: 40		
Pannello	: Sistema Cover 30mm.		
Tubo	: PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti	: 1		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll02			Circuito N. : 1	Superficie ricoperta [m ²]: 19.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	28.7	545	22.9	19.0		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 116	Spirale: 114	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	6.25	551	82	555	39	594	Pos.10

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Atrio 1	Numero: 202	Collettore: coll05	
Superficie totale [m ²]	: 355.0	Potenza richiesta [W]	: 3544
Superficie pannellabile [m ²]	: 300.0	Potenza residua [W]	: 176
Superficie marginale [m ²]	:	Potenza acquisita (Passaggi) [W]	:
Temperatura interna [°C]	: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]	: 0.030
Temperatura locale sottostante [°C]	: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]	: 4.990
Spessore Massetto [mm]	: 40		
Pannello	: Sistema Cover 30mm.		
Tubo	: PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti	: 16		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll05			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	233	21.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 115	Spirale: 113	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	78	25	243	32	275	Pos.10

Collettore: coll05			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	233	21.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 115	Spirale: 113	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	78	25	243	32	275	Pos.10

Collettore: coll05			Circuito N. :3	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	233	21.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	78	25	243	32	275	Pos.10

Collettore: coll05			Circuito N. :4	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	233	21.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	78	25	243	32	275	Pos.10

Collettore: coll05			Circuito N. :5	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	233	21.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	78	25	243	32	275	Pos.10

Collettore: coll05			Circuito N. :6	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	233	21.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	78	25	243	32	275	Pos.10

Collettore: coll05			Circuito N. :7	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	233	21.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	78	25	243	32	275	Pos.10

Collettore: coll05			Circuito N. :8	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	233	21.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	78	25	243	32	275	Pos.10

Collettore: coll05			Circuito N. :9	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	233	21.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	78	25	243	32	275	Pos.10

Collettore: coll05			Circuito N. :10	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	233	21.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	78	25	243	32	275	Pos.10

Collettore: coll05			Circuito N. :11	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	233	21.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	78	25	243	32	275	Pos.10

Collettore: coll06			Circuito N. :12	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	233	21.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	78	25	243	32	275	Posiz.7

Collettore: coll06			Circuito N. :13	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	233	21.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	78	25	243	32	275	Posiz.7

Collettore: coll06			Circuito N. :14	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	233	21.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	78	25	243	32	275	Posiz.7

Collettore: coll06			Circuito N. :15	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	233	21.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	78	25	243	32	275	Posiz.7

Collettore: coll06			Circuito N. :16	Superficie ricoperta [m ²]: 18.8			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	233	21.3	18.8		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		115	Spirale:	113	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	78	25	243	32	275	Posiz.7

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Atrio 2	Numero: 204	Collettore: coll10
Superficie totale [m ²]: 405.0	Potenza richiesta [W]: 4848	
Superficie pannellabile [m ²]: 405.0	Potenza residua [W]: 175	
Superficie marginale [m ²]:	Potenza acquisita (Passaggi) [W]:	
Temperatura interna [°C]: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]: 0.030	
Temperatura locale sottostante [°C]: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]: 2.200	
Spessore Massetto [mm]: 40		
Pannello : Sistema Cover 30mm.		
Tubo : PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti : 21		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll10			Circuito N. : 1	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 118	Spirale: 116	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll10			Circuito N. : 2	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 118	Spirale: 116	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll10			Circuito N. :3	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll10			Circuito N. :4	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll10			Circuito N. :5	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll10			Circuito N. :6	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll10			Circuito N. :7	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll10			Circuito N. :8	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll10			Circuito N. :9	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll10			Circuito N. :10	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll10			Circuito N. :11	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll11			Circuito N. :12	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll11			Circuito N. :13	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll11			Circuito N. :14	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll11			Circuito N. :15	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll11			Circuito N. :16	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll11			Circuito N. :17	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll11			Circuito N. :18	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll11			Circuito N. :19	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll11			Circuito N. :20	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

Collettore: coll11			Circuito N. :21	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	239	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	249	74	323	Pos.10

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Servizi Mensa	Numero: 301	Collettore: coll02
Superficie totale [m ²]: 96.0	Potenza richiesta [W]: 966	
Superficie pannellabile [m ²]: 96.0	Potenza residua [W]: 225	
Superficie marginale [m ²]:	Potenza acquisita (Passaggi) [W]:	
Temperatura interna [°C]: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]: 0.030	
Temperatura locale sottostante [°C]: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]: 4.990	
Spessore Massetto [mm]: 40		
Pannello : Sistema Cover 30mm.		
Tubo : PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti : 5		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll02			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 19.2			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	238	21.5	19.2		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 118	Spirale: 116	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	81	26	248	33	281	Posiz.1

Collettore: coll02			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 19.2			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	238	21.5	19.2		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 118	Spirale: 116	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	81	26	248	33	281	Posiz.1

Collettore: coll02			Circuito N. :3	Superficie ricoperta [m ²]: 19.2			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	238	21.5	19.2		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	81	26	248	33	281	Posiz.1

Collettore: coll02			Circuito N. :4	Superficie ricoperta [m ²]: 19.2			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	238	21.5	19.2		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	81	26	248	33	281	Posiz.1

Collettore: coll02			Circuito N. :5	Superficie ricoperta [m ²]: 19.2			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	238	21.5	19.2		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	81	26	248	33	281	Posiz.1

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Aula 1	Numero: 401	Collettore: coll03	
Superficie totale [m ²]	: 52.0	Potenza richiesta [W]	: 869
Superficie pannellabile [m ²]	: 52.0	Potenza residua [W]	:
Superficie marginale [m ²]	: 8.0	Potenza acquisita (Passaggi) [W]	:
Temperatura interna [°C]	: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]	: 0.030
Temperatura locale sottostante [°C]	: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]	: 4.990
Spessore Massetto [mm]	: 40		
Pannello	: Sistema Cover 30mm.		
Tubo	: PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti	: 4		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll03			Circuito N. : 1	Superficie ricoperta [m ²]: 8.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	0						
Zona Marginale	8	20.2	161	22.1	8.0		
Lunghezza circuito [m]	Totale: 98	Spirale: 96	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.04	46	18	171	16	187	Posiz.2

Collettore: coll03			Circuito N. : 2	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	16.1	236	21.7	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 90	Spirale: 88	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.04	62	26	246	27	272	Posiz.9

Collettore: coll03			Circuito N. :3	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	16.1	236	21.7	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.04	62	26	246	27	272	Posiz.9

Collettore: coll03			Circuito N. :4	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	16.1	236	21.7	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.04	62	26	246	27	272	Posiz.9

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Aula 2	Numero: 402	Collettore: coll03	
Superficie totale [m ²]	: 52.0	Potenza richiesta [W]	: 799
Superficie pannellabile [m ²]	: 52.0	Potenza residua [W]	:
Superficie marginale [m ²]	: 8.0	Potenza acquisita (Passaggi) [W]	:
Temperatura interna [°C]	: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]	: 0.030
Temperatura locale sottostante [°C]	: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]	: 4.990
Spessore Massetto [mm]	: 40		
Pannello	: Sistema Cover 30mm.		
Tubo	: PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti	: 4		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll03			Circuito N. : 1	Superficie ricoperta [m ²]: 8.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	0						
Zona Marginale	8	18.5	148	21.9	8.0		
Lunghezza circuito [m]	Totale: 98	Spirale: 96	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.17	42	16	158	15	174	Posiz.2

Collettore: coll03			Circuito N. : 2	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	14.8	217	21.6	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 90	Spirale: 88	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.17	57	24	227	26	253	Posiz.5

Collettore: coll03			Circuito N. :3	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	14.8	217	21.6	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.17	57	24	227	26	253	Posiz.5

Collettore: coll03			Circuito N. :4	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	14.8	217	21.6	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.17	57	24	227	26	253	Posiz.5

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Aula 3		Numero: 403	Collettore: coll03
Superficie totale	[m ²]	: 52.0	Potenza richiesta [W] : 910
Superficie pannellabile	[m ²]	: 52.0	Potenza residua [W] :
Superficie marginale	[m ²]	: 8.0	Potenza acquisita (Passaggi) [W] :
Temperatura interna	[°C]	: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W] : 0.030
Temperatura locale sottostante	[°C]	: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W] : 4.990
Spessore Massetto	[mm]	: 40	
Pannello	: Sistema Cover 30mm.		
Tubo	: PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti	: 4		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll03			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 8.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	0						
Zona Marginale	8	21.1	169	22.2	8.0		
Lunghezza circuito [m]	Totale: 98	Spirale: 96	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	8.95	49	19	179	16	195	Posiz.2

Collettore: coll03			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	16.8	247	21.8	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 90	Spirale: 88	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	8.95	65	27	257	27	284	Pos.10

Collettore: coll03			Circuito N. :3	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	16.8	247	21.8	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	8.95	65	27	257	27	284	Pos.10

Collettore: coll03			Circuito N. :4	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	16.8	247	21.8	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	8.95	65	27	257	27	284	Pos.10

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Aula 4	Numero: 404	Collettore: coll04	
Superficie totale [m ²]	: 52.0	Potenza richiesta [W]	: 721
Superficie pannellabile [m ²]	: 52.0	Potenza residua [W]	:
Superficie marginale [m ²]	: 8.0	Potenza acquisita (Passaggi) [W]	:
Temperatura interna [°C]	: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]	: 0.030
Temperatura locale sottostante [°C]	: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]	: 4.990
Spessore Massetto [mm]	: 40		
Pannello	: Sistema Cover 30mm.		
Tubo	: PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti	: 4		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll04			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 8.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	0						
Zona Marginale	8	16.7	134	21.8	8.0		
Lunghezza circuito [m]	Totale: 98	Spirale: 96	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.26	39	15	144	15	159	Posiz.2

Collettore: coll04			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	13.3	196	21.4	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 90	Spirale: 88	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.26	52	21	206	26	232	Pos.10

Collettore: coll04			Circuito N. :3	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	13.3	196	21.4	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.26	52	21	206	26	232	Pos.10

Collettore: coll04			Circuito N. :4	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	13.3	196	21.4	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.26	52	21	206	26	232	Pos.10

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Aula 5	Numero: 405	Collettore: coll04	
Superficie totale [m ²]	: 52.0	Potenza richiesta [W]	: 726
Superficie pannellabile [m ²]	: 52.0	Potenza residua [W]	:
Superficie marginale [m ²]	: 8.0	Potenza acquisita (Passaggi) [W]	:
Temperatura interna [°C]	: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]	: 0.030
Temperatura locale sottostante [°C]	: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]	: 4.990
Spessore Massetto [mm]	: 40		
Pannello	: Sistema Cover 30mm.		
Tubo	: PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti	: 4		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll04			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 8.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	0						
Zona Marginale	8	16.8	135	21.8	8.0		
Lunghezza circuito [m]	Totale: 98	Spirale: 96	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.25	39	15	145	15	160	Posiz.2

Collettore: coll04			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	13.4	197	21.5	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 90	Spirale: 88	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.25	52	22	207	26	233	Pos.10

Collettore: coll04			Circuito N. :3	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	13.4	197	21.5	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.25	52	22	207	26	233	Pos.10

Collettore: coll04			Circuito N. :4	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	13.4	197	21.5	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.25	52	22	207	26	233	Pos.10

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Aula 6	Numero: 406	Collettore: coll08	
Superficie totale [m ²]	: 52.0	Potenza richiesta [W]	: 825
Superficie pannellabile [m ²]	: 52.0	Potenza residua [W]	:
Superficie marginale [m ²]	: 8.0	Potenza acquisita (Passaggi) [W]	:
Temperatura interna [°C]	: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]	: 0.030
Temperatura locale sottostante [°C]	: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]	: 2.200
Spessore Massetto [mm]	: 40		
Pannello	: Sistema Cover 30mm.		
Tubo	: PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti	: 4		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll08			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 8.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	0						
Zona Marginale	8	19.1	153	22.0	8.0		
Lunghezza circuito [m]	Totale: 98	Spirale: 96	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.13	49	19	163	34	197	Posiz.2

Collettore: coll08			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	15.3	224	21.6	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 90	Spirale: 88	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.13	66	28	234	59	293	Pos.10

Collettore: coll08			Circuito N. :3	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	15.3	224	21.6	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.13	66	28	234	59	293	Pos.10

Collettore: coll08			Circuito N. :4	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	15.3	224	21.6	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.13	66	28	234	59	293	Pos.10

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Aula 7		Numero: 407	Collettore: coll08
Superficie totale	[m ²]	: 52.0	Potenza richiesta [W] : 747
Superficie pannellabile	[m ²]	: 52.0	Potenza residua [W] :
Superficie marginale	[m ²]	: 8.0	Potenza acquisita (Passaggi) [W] :
Temperatura interna	[°C]	: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W] : 0.030
Temperatura locale sottostante	[°C]	: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W] : 2.200
Spessore Massetto	[mm]	: 40	
Pannello	: Sistema Cover 30mm.		
Tubo	: PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti	: 4		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll08			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 8.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	0						
Zona Marginale	8	17.3	139	21.8	8.0		
Lunghezza circuito [m]	Totale: 98	Spirale: 96	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.23	44	17	149	34	182	Posiz.2

Collettore: coll08			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	13.8	203	21.5	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 90	Spirale: 88	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.23	60	25	213	58	271	Posiz.6

Collettore: coll08			Circuito N. :3	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	13.8	203	21.5	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.23	60	25	213	58	271	Posiz.6

Collettore: coll08			Circuito N. :4	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	13.8	203	21.5	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.23	60	25	213	58	271	Posiz.6

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Aula 8		Numero: 408	Collettore: coll08
Superficie totale	[m ²]	: 52.0	Potenza richiesta [W] : 747
Superficie pannellabile	[m ²]	: 52.0	Potenza residua [W] :
Superficie marginale	[m ²]	: 8.0	Potenza acquisita (Passaggi) [W] :
Temperatura interna	[°C]	: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W] : 0.030
Temperatura locale sottostante	[°C]	: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W] : 2.200
Spessore Massetto	[mm]	: 40	
Pannello	: Sistema Cover 30mm.		
Tubo	: PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti	: 4		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll08			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 8.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	0						
Zona Marginale	8	17.3	139	21.8	8.0		
Lunghezza circuito [m]	Totale: 98	Spirale: 96	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.23	44	17	149	34	182	Posiz.2

Collettore: coll08			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	13.8	203	21.5	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 90	Spirale: 88	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.23	60	25	213	58	271	Posiz.6

Collettore: coll08			Circuito N. :3	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	13.8	203	21.5	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.23	60	25	213	58	271	Posiz.6

Collettore: coll08			Circuito N. :4	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	13.8	203	21.5	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.23	60	25	213	58	271	Posiz.6

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Aula 9		Numero: 409	Collettore: coll09
Superficie totale	[m ²]	: 52.0	Potenza richiesta [W] : 747
Superficie pannellabile	[m ²]	: 52.0	Potenza residua [W] :
Superficie marginale	[m ²]	: 8.0	Potenza acquisita (Passaggi) [W] :
Temperatura interna	[°C]	: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W] : 0.030
Temperatura locale sottostante	[°C]	: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W] : 2.200
Spessore Massetto	[mm]	: 40	
Pannello	: Sistema Cover 30mm.		
Tubo	: PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti	: 4		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll09			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 8.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	0						
Zona Marginale	8	17.3	139	21.8	8.0		
Lunghezza circuito [m]	Totale: 98	Spirale: 96	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.23	44	17	149	34	182	Posiz.2

Collettore: coll09			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	13.8	203	21.5	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 90	Spirale: 88	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.23	60	25	213	58	271	Pos.10

Collettore: coll09			Circuito N. :3	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	13.8	203	21.5	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.23	60	25	213	58	271	Pos.10

Collettore: coll09			Circuito N. :4	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	13.8	203	21.5	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.23	60	25	213	58	271	Pos.10

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Aula 10	Numero: 410	Collettore: coll09	
Superficie totale [m ²]	: 52.0	Potenza richiesta [W]	: 752
Superficie pannellabile [m ²]	: 52.0	Potenza residua [W]	:
Superficie marginale [m ²]	: 8.0	Potenza acquisita (Passaggi) [W]	:
Temperatura interna [°C]	: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]	: 0.030
Temperatura locale sottostante [°C]	: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]	: 2.200
Spessore Massetto [mm]	: 40		
Pannello	: Sistema Cover 30mm.		
Tubo	: PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti	: 4		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll09			Circuito N. : 1	Superficie ricoperta [m ²]: 8.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	0						
Zona Marginale	8	17.4	140	21.8	8.0		
Lunghezza circuito [m]	Totale: 98	Spirale: 96	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.23	45	17	150	34	183	Posiz.2

Collettore: coll09			Circuito N. : 2	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	13.9	204	21.5	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 90	Spirale: 88	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.23	61	25	214	58	272	Pos.10

Collettore: coll09			Circuito N. :3	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	13.9	204	21.5	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.23	61	25	214	58	272	Pos.10

Collettore: coll09			Circuito N. :4	Superficie ricoperta [m ²]: 14.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	13.9	204	21.5	14.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		90	Spirale:	88	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.23	61	25	214	58	272	Pos.10

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Bagno 1	Numero: 501	Collettore: coll04
Superficie totale [m ²]: 15.0	Potenza richiesta [W]: 263	
Superficie pannellabile [m ²]: 15.0	Potenza residua [W]: 8	
Superficie marginale [m ²]:	Potenza acquisita (Passaggi) [W]:	
Temperatura interna [°C]: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]: 0.010	
Temperatura locale sottostante [°C]: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]: 4.990	
Spessore Massetto [mm]: 40		
Pannello : Sistema Cover 30mm.		
Tubo : PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti : 2		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll04			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 7.5			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	8	18.1	136	22.0	7.5		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 92	Spirale: 90	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	36	15	146	14	160	Posiz.2

Collettore: coll04			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 7.5			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	8	18.1	136	22.0	7.5		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 92	Spirale: 90	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	36	15	146	14	160	Posiz.2

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Bagno 2	Numero: 502	Collettore: coll04
Superficie totale [m ²]: 15.0	Potenza richiesta [W]: 263	
Superficie pannellabile [m ²]: 15.0	Potenza residua [W]: 8	
Superficie marginale [m ²]:	Potenza acquisita (Passaggi) [W]:	
Temperatura interna [°C]: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]: 0.010	
Temperatura locale sottostante [°C]: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]: 4.990	
Spessore Massetto [mm]: 40		
Pannello : Sistema Cover 30mm.		
Tubo : PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti : 2		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll04			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 7.5			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	8	18.1	136	22.0	7.5		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 92	Spirale: 90	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	36	15	146	14	160	Posiz.2

Collettore: coll04			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 7.5			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	8	18.1	136	22.0	7.5		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 92	Spirale: 90	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	36	15	146	14	160	Posiz.2

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Bagno 3	Numero: 503	Collettore: coll05
Superficie totale [m ²]: 15.0	Potenza richiesta [W]: 263	
Superficie pannellabile [m ²]: 15.0	Potenza residua [W]: 8	
Superficie marginale [m ²]:	Potenza acquisita (Passaggi) [W]:	
Temperatura interna [°C]: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]: 0.010	
Temperatura locale sottostante [°C]: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]: 4.990	
Spessore Massetto [mm]: 40		
Pannello : Sistema Cover 30mm.		
Tubo : PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti : 2		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll05			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 7.5			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	8	18.1	136	22.0	7.5		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 92	Spirale: 90	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	36	15	146	14	160	Posiz.1

Collettore: coll05			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 7.5			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	8	18.1	136	22.0	7.5		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 92	Spirale: 90	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	36	15	146	14	160	Posiz.1

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Bagno 4	Numero: 504	Collettore: coll06
Superficie totale [m ²] : 7.0	Potenza richiesta [W] : 27	
Superficie pannellabile [m ²] : 7.0	Potenza residua [W] : 100	
Superficie marginale [m ²] :	Potenza acquisita (Passaggi) [W] :	
Temperatura interna [°C] : 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W] : 0.010	
Temperatura locale sottostante [°C] : 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W] : 4.990	
Spessore Massetto [mm] : 40		
Pannello :	Sistema Cover 30mm.	
Tubo :	PE-Xc 17x2 B.A.O.	
Circuiti inseriti :	1	

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll06			Circuito N. : 1	Superficie ricoperta [m ²]: 7.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	8	18.1	127	22.0	7.0		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 86	Spirale: 84	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	32	14	137	13	150	Posiz.1

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Bagno 5	Numero: 505	Collettore: coll09
Superficie totale [m ²]: 15.0	Potenza richiesta [W]: 309	
Superficie pannellabile [m ²]: 15.0	Potenza residua [W]:	
Superficie marginale [m ²]:	Potenza acquisita (Passaggi) [W]:	
Temperatura interna [°C]: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]: 0.010	
Temperatura locale sottostante [°C]: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]: 2.200	
Spessore Massetto [mm]: 40		
Pannello : Sistema Cover 30mm.		
Tubo : PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti : 2		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll09			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 7.5			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	8	20.6	155	22.2	7.5		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 92	Spirale: 90	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.21	45	18	165	32	196	Posiz.2

Collettore: coll09			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 7.5			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	8	20.6	155	22.2	7.5		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 92	Spirale: 90	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.21	45	18	165	32	196	Posiz.2

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Bagno 6	Numero: 506	Collettore: coll09
Superficie totale [m ²] : 15.0	Potenza richiesta [W] : 350	
Superficie pannellabile [m ²] : 15.0	Potenza residua [W] :	
Superficie marginale [m ²] :	Potenza acquisita (Passaggi) [W] :	
Temperatura interna [°C] : 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W] : 0.010	
Temperatura locale sottostante [°C] : 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W] : 2.200	
Spessore Massetto [mm] : 40		
Pannello :	Sistema Cover 30mm.	
Tubo :	PE-Xc 17x2 B.A.O.	
Circuiti inseriti :	2	

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll09			Circuito N. : 1	Superficie ricoperta [m ²]: 7.5			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	8	23.3	175	22.5	7.5		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 92	Spirale: 90	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.05	51	21	185	32	217	Posiz.4

Collettore: coll09			Circuito N. : 2	Superficie ricoperta [m ²]: 7.5			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	8	23.3	175	22.5	7.5		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 92	Spirale: 90	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.05	51	21	185	32	217	Posiz.4

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Bagno 7	Numero: 507	Collettore: coll10
Superficie totale [m ²]: 15.0	Potenza richiesta [W]: 318	
Superficie pannellabile [m ²]: 15.0	Potenza residua [W]:	
Superficie marginale [m ²]:	Potenza acquisita (Passaggi) [W]:	
Temperatura interna [°C]: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]: 0.010	
Temperatura locale sottostante [°C]: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]: 2.200	
Spessore Massetto [mm]: 40		
Pannello : Sistema Cover 30mm.		
Tubo : PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti : 2		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll10			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 7.5			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	8	21.2	159	22.3	7.5		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 92	Spirale: 90	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.19	46	19	169	32	201	Posiz.1

Collettore: coll10			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 7.5			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	8	21.2	159	22.3	7.5		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 92	Spirale: 90	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.19	46	19	169	32	201	Posiz.1

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Uff Preside	Numero: 601	Collettore: coll06
Superficie totale [m ²]: 21.0	Potenza richiesta [W]: 615	
Superficie pannellabile [m ²]: 21.0	Potenza residua [W]:	
Superficie marginale [m ²]:	Potenza acquisita (Passaggi) [W]:	
Temperatura interna [°C]: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]: 0.030	
Temperatura locale sottostante [°C]: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]: 4.990	
Spessore Massetto [mm]: 40		
Pannello : Sistema Cover 30mm.		
Tubo : PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti : 2		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll06			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 10.5			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	29.3	308	22.9	10.5		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 65	Spirale: 63	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	6.06	83	48	318	22	339	Pos.10

Collettore: coll06			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 10.5			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	29.3	308	22.9	10.5		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 65	Spirale: 63	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	6.06	83	48	318	22	339	Pos.10

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Servizi ATA	Numero: 602	Collettore: coll06
Superficie totale [m ²] : 18.0	Potenza richiesta [W] : 261	
Superficie pannellabile [m ²] : 18.0	Potenza residua [W] :	
Superficie marginale [m ²] :	Potenza acquisita (Passaggi) [W] :	
Temperatura interna [°C] : 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W] : 0.030	
Temperatura locale sottostante [°C] : 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W] : 4.990	
Spessore Massetto [mm] : 40		
Pannello :	Sistema Cover 30mm.	
Tubo :	PE-Xc 17x2 B.A.O.	
Circuiti inseriti :	1	

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll06			Circuito N. : 1	Superficie ricoperta [m ²]: 18.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	14.5	261	21.6	18.0		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 110	Spirale: 108	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.19	83	28	271	32	303	Pos.10

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Infermeria	Numero: 603	Collettore: coll06
Superficie totale [m ²] : 15.0	Potenza richiesta [W] : 254	
Superficie pannellabile [m ²] : 15.0	Potenza residua [W] :	
Superficie marginale [m ²] :	Potenza acquisita (Passaggi) [W] :	
Temperatura interna [°C] : 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W] : 0.030	
Temperatura locale sottostante [°C] : 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W] : 4.990	
Spessore Massetto [mm] : 40		
Pannello : Sistema Cover 30mm.		
Tubo : PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti : 1		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll06			Circuito N. : 1		Superficie ricoperta [m ²]: 15.0		
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	16.9	254	21.8	15.0		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale: 92		Spirale: 90		Adduzione: 2			
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	8.94	69	28	264	27	291	Posiz.4

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Sala Docenti	Numero: 604	Collettore: coll07	
Superficie totale [m ²]	: 32.0	Potenza richiesta [W]	: 490
Superficie pannellabile [m ²]	: 32.0	Potenza residua [W]	:
Superficie marginale [m ²]	:	Potenza acquisita (Passaggi) [W]	:
Temperatura interna [°C]	: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]	: 0.030
Temperatura locale sottostante [°C]	: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]	: 4.990
Spessore Massetto [mm]	: 40		
Pannello	: Sistema Cover 30mm.		
Tubo	: PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti	: 2		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll07			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 16.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	15.3	245	21.6	16.0		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 98	Spirale: 96	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.12	70	27	255	29	284	Posiz.2

Collettore: coll07			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 16.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	15.3	245	21.6	16.0		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 98	Spirale: 96	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.12	70	27	255	29	284	Posiz.2

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Sala Ricevimento	Numero: 605	Collettore: coll07
Superficie totale [m ²]: 28.0	Potenza richiesta [W]: 706	
Superficie pannellabile [m ²]: 28.0	Potenza residua [W]:	
Superficie marginale [m ²]:	Potenza acquisita (Passaggi) [W]:	
Temperatura interna [°C]: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]: 0.030	
Temperatura locale sottostante [°C]: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]: 4.990	
Spessore Massetto [mm]: 40		
Pannello : Sistema Cover 30mm.		
Tubo : PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti : 2		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll07			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 14.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	25.2	353	22.6	14.0		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 86	Spirale: 84	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	7.25	106	46	363	28	391	Pos.10

Collettore: coll07			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 14.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	25.2	353	22.6	14.0		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 86	Spirale: 84	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	7.25	106	46	363	28	391	Pos.10

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Lab Musica	Numero: 701	Collettore: coll12	
Superficie totale [m ²]	: 66.0	Potenza richiesta [W]	: 465
Superficie pannellabile [m ²]	: 66.0	Potenza residua [W]	: 379
Superficie marginale [m ²]	: 8.0	Potenza acquisita (Passaggi) [W]	:
Temperatura interna [°C]	: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]	: 0.030
Temperatura locale sottostante [°C]	: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]	: 2.200
Spessore Massetto [mm]	: 40		
Pannello	: Sistema Cover 30mm.		
Tubo	: PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti	: 4		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll12			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 8.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	0						
Zona Marginale	8	15.5	124	21.7	8.0		
Lunghezza circuito [m]	Totale: 98	Spirale: 96	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	41	16	134	33	168	Posiz.1

Collettore: coll12			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	240	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 118	Spirale: 116	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	250	74	324	Pos.10

Collettore: coll12			Circuito N. :3	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	240	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	250	74	324	Pos.10

Collettore: coll12			Circuito N. :4	Superficie ricoperta [m ²]: 19.3			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	240	21.3	19.3		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		118	Spirale:	116	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	94	30	250	74	324	Pos.10

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Lab PC-Lingue	Numero: 702	Collettore: coll12	
Superficie totale [m ²]	: 61.0	Potenza richiesta [W]	: 533
Superficie pannellabile [m ²]	: 61.0	Potenza residua [W]	: 249
Superficie marginale [m ²]	: 8.0	Potenza acquisita (Passaggi) [W]	:
Temperatura interna [°C]	: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]	: 0.030
Temperatura locale sottostante [°C]	: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]	: 2.200
Spessore Massetto [mm]	: 40		
Pannello	: Sistema Cover 30mm.		
Tubo	: PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti	: 4		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll12			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 8.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	0						
Zona Marginale	8	15.5	124	21.7	8.0		
Lunghezza circuito [m]	Totale: 98	Spirale: 96	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	41	16	134	33	168	Posiz.1

Collettore: coll12			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 17.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	219	21.3	17.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 108	Spirale: 106	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	79	28	229	68	297	Posiz.4

Collettore: coll12			Circuito N. :3	Superficie ricoperta [m ²]: 17.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	219	21.3	17.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		108	Spirale:	106	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	79	28	229	68	297	Posiz.4

Collettore: coll12			Circuito N. :4	Superficie ricoperta [m ²]: 17.7			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	219	21.3	17.7		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		108	Spirale:	106	Adduzione: 2		
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	79	28	229	68	297	Posiz.4

CARATTERISTICHE DELL' AMBIENTE

Descrizione: Lab Artistica	Numero: 703	Collettore: coll12
Superficie totale [m ²]: 65.0	Potenza richiesta [W]: 569	
Superficie pannellabile [m ²]: 65.0	Potenza residua [W]: 262	
Superficie marginale [m ²]: 8.0	Potenza acquisita (Passaggi) [W]:	
Temperatura interna [°C]: 20.0	Resistenza rivestimento [m ² K/W]: 0.030	
Temperatura locale sottostante [°C]: 10.0	Resistenza solaio [m ² K/W]: 2.200	
Spessore Massetto [mm]: 40		
Pannello : Sistema Cover 30mm.		
Tubo : PE-Xc 17x2 B.A.O.		
Circuiti inseriti : 4		

DATI RELATIVI AI CIRCUITI

Temperatura di mandata: 30.0 [°C]

Collettore: coll12			Circuito N. :1	Superficie ricoperta [m ²]: 8.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	0						
Zona Marginale	8	15.5	124	21.7	8.0		
Lunghezza circuito [m]	Totale: 98	Spirale: 96	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	41	16	134	33	168	Posiz.1

Collettore: coll12			Circuito N. :2	Superficie ricoperta [m ²]: 19.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	236	21.3	19.0		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m]	Totale: 116	Spirale: 114	Adduzione: 2				
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza [W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	91	30	246	73	319	Pos.10

Collettore: coll12			Circuito N. :3	Superficie ricoperta [m ²]: 19.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	236	21.3	19.0		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		116	Spirale:	114	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	91	30	246	73	319	Pos.10

Collettore: coll12			Circuito N. :4	Superficie ricoperta [m ²]: 19.0			
	Passo	Densità [W/m ²]	Potenza [W]	Temperatura [°C]	Sup. ricoperta [m ²]		
Zona Soggiornale	16	12.4	236	21.3	19.0		
Zona Marginale	0						
Lunghezza circuito [m] Totale:		116	Spirale:	114	Adduzione:	2	
	dT [°C]	dP [DaPa]	Portata [kg/h]	Potenza[W]			Posizione valvola
				Alto	Basso	Totale	
Dati circuito	9.28	91	30	246	73	319	Pos.10

ELENCO COLLETTORI

Cod. Collet.	N. Circ.	Temp H₂O [°C]	Portata [kg/h]	DpMax [DaPa]	Pot. Alto [W]	Pot. Basso [W]	Pot. Tot [W]
col01	13	30	587	274	4969	404	5373
col02	6	30	212	609	1796	205	2000
col03	12	30	283	72	2698	285	2983
col04	12	30	218	56	2109	241	2351
col05	13	30	310	83	2959	385	3344
col06	10	30	294	103	2519	278	2798
col07	4	30	146	125	1236	113	1349
col08	12	30	286	73	2439	626	3065
col09	12	30	263	66	2278	543	2821
col10	13	30	367	102	3079	881	3959
col11	10	30	299	102	2492	743	3234
col12	12	30	308	102	2577	748	3324

TOTALE	129		3573		31150	5452	36602
--------	-----	--	------	--	-------	------	-------

Potenza Impianto a pavimento :	36602	[W]
Potenza da integrare :		[W]
Potenza richiesta al generatore :	36602	[W]
Superficie totale ambienti :	2025	[mq]
Fabbisogno totale tubo :	13310	[m]
Contenuto acqua nell'impianto (tubi) :	1767	[l]

TABELLA RIASSUNTIVA DEI LOCALI CON POTENZA DA INTEGRARE

N.	Ambiente	Potenza Richiesta [W]	Potenza Residua [W]	Potenza Residua %
	Nessuno			

TABELLA RIASSUNTIVA DI CANTIERE

Le lunghezze dei circuiti sono teoriche e ricavate secondo le modalità di calcolo imposte dalla norma UNI – EN 1264; le lunghezze reali dei circuiti potranno essere inferiori rispetto ai valori indicati, in particolari, per i passi in posa più stretti.

N.	Ambiente	Tipo Pavimento	Superficie			Passo		Lunghezza			Portata [Kg/h]	Pos.	
			Tot.	Est.	Int.	Est.	Int.	Vani passaggio	mt	Adduz		Totale	Valv.
101	Mensa	Linoleum 5 m	208	7		8			2	82	23	Posiz.1	col01
				7		8			2	82	23	Posiz.1	col01
				7		8			2	82	23	Posiz.1	col01
					19		16		2	115	52	Pos.10	col01
					19		16		2	115	52	Pos.10	col01
					19		16		2	115	52	Pos.10	col01
					19		16		2	115	52	Pos.10	col01
					19		16		2	115	52	Pos.10	col01
					19		16		2	115	52	Pos.10	col01
					19		16		2	115	52	Pos.10	col01
					19		16		2	115	52	Pos.10	col01
					19		16		2	115	52	Pos.10	col01
					19		16		2	115	52	Pos.10	col01
201	Atrio 0	Linoleum 5 m	38.0		19		16		2	116	82	Pos.10	coll02
202	Atrio 1	Linoleum 5 m	355		19		16		2	115	25	Pos.10	coll05
					19		16		2	115	25	Pos.10	coll05
					19		16		2	115	25	Pos.10	coll05
					19		16		2	115	25	Pos.10	coll05
					19		16		2	115	25	Pos.10	coll05
					19		16		2	115	25	Pos.10	coll05
					19		16		2	115	25	Pos.10	coll05
					19		16		2	115	25	Pos.10	coll05
					19		16		2	115	25	Pos.10	coll05
					19		16		2	115	25	Pos.10	coll05
					19		16		2	115	25	Pos.10	coll05

					19		16		2	115	25	Posiz.7	coll06
					19		16		2	115	25	Posiz.7	coll06
					19		16		2	115	25	Posiz.7	coll06
					19		16		2	115	25	Posiz.7	coll06
					19		16		2	115	25	Posiz.7	coll06
204	Atrio 2	Linoleum 5 m	405		19		16		2	118	30	Posiz.10	coll10
					19		16		2	118	30	Posiz.10	coll10
					19		16		2	118	30	Posiz.10	coll10
					19		16		2	118	30	Posiz.10	coll10
					19		16		2	118	30	Posiz.10	coll10
					19		16		2	118	30	Posiz.10	coll10
					19		16		2	118	30	Posiz.10	coll10
					19		16		2	118	30	Posiz.10	coll10
					19		16		2	118	30	Posiz.10	coll10
					19		16		2	118	30	Posiz.10	coll10
					19		16		2	118	30	Posiz.10	coll11
					19		16		2	118	30	Posiz.10	coll11
					19		16		2	118	30	Posiz.10	coll11
					19		16		2	118	30	Posiz.10	coll11
					19		16		2	118	30	Posiz.10	coll11
					19		16		2	118	30	Posiz.10	coll11
					19		16		2	118	30	Posiz.10	coll11
					19		16		2	118	30	Posiz.10	coll11
					19		16		2	118	30	Posiz.10	coll11
					19		16		2	118	30	Posiz.10	coll11
301	Servizi Mensa	Linoleum 5 m	96.0		19		16		2	118	26	Posiz.1	coll02
					19		16		2	118	26	Posiz.1	coll02
					19		16		2	118	26	Posiz.1	coll02
					19		16		2	118	26	Posiz.1	coll02
					19		16		2	118	26	Posiz.1	coll02
401	Aula 1	Linoleum 5 m	52.0	8		8			2	98	18	Posiz.2	coll03

					15		16		2	90	26	Posiz.9	coll03
					15		16		2	90	26	Posiz.9	coll03
					15		16		2	90	26	Posiz.9	coll03
402	Aula 2	Linoleum 5 m	52.0	8		8			2	98	16	Posiz.2	coll03
					15		16		2	90	24	Posiz.5	coll03
					15		16		2	90	24	Posiz.5	coll03
					15		16		2	90	24	Posiz.5	coll03
403	Aula 3	Linoleum 5 m	52.0	8		8			2	98	19	Posiz.2	coll03
					15		16		2	90	27	Pos.10	coll03
					15		16		2	90	27	Pos.10	coll03
					15		16		2	90	27	Pos.10	coll03
404	Aula 4	Linoleum 5 m	52.0	8		8			2	98	15	Posiz.2	coll04
					15		16		2	90	21	Pos.10	coll04
					15		16		2	90	21	Pos.10	coll04
					15		16		2	90	21	Pos.10	coll04
405	Aula 5	Linoleum 5 m	52.0	8		8			2	98	15	Posiz.2	coll04
					15		16		2	90	22	Pos.10	coll04
					15		16		2	90	22	Pos.10	coll04
					15		16		2	90	22	Pos.10	coll04
406	Aula 6	Linoleum 5 m	52.0	8		8			2	98	19	Posiz.2	coll08
					15		16		2	90	28	Pos.10	coll08
					15		16		2	90	28	Pos.10	coll08
					15		16		2	90	28	Pos.10	coll08
407	Aula 7	Linoleum 5 m	52.0	8		8			2	98	17	Posiz.2	coll08
					15		16		2	90	25	Posiz.6	coll08
					15		16		2	90	25	Posiz.6	coll08
					15		16		2	90	25	Posiz.6	coll08
408	Aula 8	Linoleum 5 m	52.0	8		8			2	98	17	Posiz.2	coll08
					15		16		2	90	25	Posiz.6	coll08

					15		16		2	90	25	Posiz.6	coll08
					15		16		2	90	25	Posiz.6	coll08
409	Aula 9	Linoleum 5 m	52.0	8		8			2	98	17	Posiz.2	coll09
					15		16		2	90	25	Pos.10	coll09
					15		16		2	90	25	Pos.10	coll09
					15		16		2	90	25	Pos.10	coll09
410	Aula 10	Linoleum 5 m	52.0	8		8			2	98	17	Posiz.2	coll09
					15		16		2	90	25	Pos.10	coll09
					15		16		2	90	25	Pos.10	coll09
					15		16		2	90	25	Pos.10	coll09
501	Bagno 1	Ceramica	15.0		8		8		2	92	15	Posiz.2	coll04
					8		8		2	92	15	Posiz.2	coll04
502	Bagno 2	Ceramica	15.0		8		8		2	92	15	Posiz.2	coll04
					8		8		2	92	15	Posiz.2	coll04
503	Bagno 3	Ceramica	15.0		8		8		2	92	15	Posiz.1	coll05
					8		8		2	92	15	Posiz.1	coll05
504	Bagno 4	Ceramica	7.0		7		8		2	86	14	Posiz.1	coll06
505	Bagno 5	Ceramica	15.0		8		8		2	92	18	Posiz.2	coll09
					8		8		2	92	18	Posiz.2	coll09
506	Bagno 6	Ceramica	15.0		8		8		2	92	21	Posiz.4	coll09
					8		8		2	92	21	Posiz.4	coll09
507	Bagno 7	Ceramica	15.0		8		8		2	92	19	Posiz.1	coll10
					8		8		2	92	19	Posiz.1	coll10
601	Uff Preside	Linoleum 5 m	21.0		11		16		2	65	48	Pos.10	coll06
					11		16		2	65	48	Pos.10	coll06
602	Servizi ATA	Linoleum 5 m	18.0		18		16		2	110	28	Pos.10	coll06
603	Infermeria	Linoleum 5 m	15.0		15		16		2	92	28	Posiz.4	coll06
604	Sala Docenti	Linoleum 5 m	32.0		16		16		2	98	27	Posiz.2	coll07
					16		16		2	98	27	Posiz.2	coll07

605	Sala Ricevimento	Linoleum 5 m	28.0		14		16		2	86	46	Pos.10	coll07
					14		16		2	86	46	Pos.10	coll07
701	Lab Musica	Linoleum 5 m	66.0	8		8			2	98	16	Posiz.1	coll12
					19		16		2	118	30	Pos.10	coll12
					19		16		2	118	30	Pos.10	coll12
					19		16		2	118	30	Pos.10	coll12
702	Lab PC-Lingue	Linoleum 5 m	61.0	8		8			2	98	16	Posiz.1	coll12
					18		16		2	108	28	Posiz.4	coll12
					18		16		2	108	28	Posiz.4	coll12
					18		16		2	108	28	Posiz.4	coll12
703	Lab Artistica	Linoleum 5 m	65.0	8		8			2	98	16	Posiz.1	coll12
					19		16		2	116	30	Pos.10	coll12
					19		16		2	116	30	Pos.10	coll12
					19		16		2	116	30	Pos.10	coll12

COMPUTO MATERIALI DELL'IMPIANTO



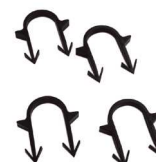
Progetto: Scuola Elementare Cenate Sopra

ADDITIVO TERMOFLUIDIFICANTE AT 30 - Additivo termofluidificante per CLS riduttore d'acqua, conferisce maggiore lavorabilità all'impasto del massetto, migliorandone le caratteristiche meccaniche e la conducibilità termica. Prodotto in conformità alle norme UNI EN 934-2/2002. Dosaggio 3 lt/mc.



Codice	Articolo	U.M.	Q.tà	Pr. Unit.	Totale
1091010	ADDITIVO TERMOFLUIDIFICANTE AT30 - 10 lt.- RDZ	lt.	10	4.39€	43.90€
1091020	ADDITIVO TERMOFLUIDIFICANTE AT30 - 20 lt.- RDZ	lt.	360	4.39€	1.580.40€

CLIPS AD UNCINO: in materiale plastico, per il fissaggio dei tubi sul pannello COVER, NEWPLUS, ACOUSTIC, SAGOMATO INDUSTRIALE. Confezioni: sacchetti da pz. 100.



Codice	Articolo	U.M.	Q.tà	Pr. Unit.	Totale
1017000	CLIPS AD UNCINO- RDZ	Nr	400	0.11€	44.00€

COLLETTORE CONTROL: costruzione in ottone per la distribuzione dei tubi nei locali, completi di valvole di intercettazione (predisposte per la testina elettrotermica), detentori micrometrici con individuazione dei locali, gruppi terminali di sfiato e scarico impianto a sfera con portagomma e tappi, staffe disassate con gommini antivibranti per inserimento in armadietto o fissaggio a muro, raccordi per il tubo in polietilene.



Codice	Articolo	U.M.	Q.tà	Pr. Unit.	Totale
1152804	COLLETTORE CONTROL 4+4 (d. 17)- RDZ	Nr	1	214.00€	214.00€
1152806	COLLETTORE CONTROL 6+6 (d. 17)- RDZ	Nr	1	312.00€	312.00€
1152810	COLLETTORE CONTROL 10+10 (d. 17)- RDZ	Nr	2	455.00€	910.00€
1152812	COLLETTORE CONTROL 12+12 (d. 17)- RDZ	Nr	5	560.00€	2.800.00€
1152813	COLLETTORE CONTROL 13+13 (d. 17)- RDZ	Nr	3	597.00€	1.791.00€

CORNICE PERIMETRALE PLUS con funzione di assorbimento delle dilatazioni del pavimento ed isolamento termoacustico delle pareti. Realizzata in polietilene espanso a struttura cellulare al 100 % chiusa, dotata di banda autoadesiva su un lato e di foglio in polietilene accoppiato per evitare infiltrazioni di malta tra cornice e pannello. La cornice è dotata di pretagli per adattarla meglio all'altezza desiderata. Spessore 5 mm, altezza 130 mm.



Codice	Articolo	U.M.	Q.tà	Pr. Unit.	Totale
1071250	CORNICE PERIMETRALE PLUS- RDZ	Mt	2.050	1.55€	3.177.50€

PANNELLO COVER 30 PLASTIFICATO in polistirene espanso prodotto in conformità alla normativa UNI 13163, stampato in idrorepellenza a celle chiuse, di elevata resistenza meccanica, rivestito superficialmente con film plastico per protezione all'umidità e per maggiore resistenza alla deformazione da calpestio. Conducibilità termica 0,035 W/(m*K), spessore isolante 30 mm, spessore totale 58 mm, spessore totale equivalente 38,2 mm, resistenza termica secondo EN 1264 1,05 (m²*K)/W. Dotato di incastri sui quattro lati per un ottimale accoppiamento, superficie superiore sagomata con rialzi di 27 mm per l'alloggiamento dei tubi in polietilene reticolato Ø17 mm ad interessi multipli di 8,3 cm..



Confezione: scatole da m² 10 (13 pz).

Codice	Articolo	U.M.	Q.tà	Pr. Unit.	Totale
1056030	PANNELLO COVER 30- RDZ	Mq	2.090	13.20€	27.588.00€

TUBO RDZ CLIMA IN PE-Xc in polietilene ad alta densità reticolato nella sua massa per via elettrofisica, con barriera antiossigeno prodotto in conformità alla normativa DIN EN 15875 e DIN 4726, garanzia di reticolazione omogenea e permanentemente stabile senza rischio di discontinuità per il mantenimento delle caratteristiche nel tempo. Diametro 17 mm, spessore 2 mm.



Codice	Articolo	U.M.	Q.tà	Pr. Unit.	Totale
1011754	TUBO CLIMA PE-Xc 17-13 BAO mt.240- RDZ	Mt	720	1.90€	1.368.00€
1011756	TUBO CLIMA PE-Xc 17-13 BAO mt.600- RDZ	Mt	13.200	1.90€	25.080.00€

CURVE DI SOSTEGNO APERTA in materiale plastico, con funzione di sostenere verticalmente i tubi in prossimità dei collettori e proteggerli da eventuali urti.



Codice	Articolo	U.M.	Q.tà	Pr. Unit.	Totale
1130517	CURVA APERTA diam. 17	Nr	258	1.50€	387.00€

Importo senza IVA	65.295.80€
IVA	13.059.16€
Totale	78.354.96€

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO.

secondo UNI TS 11300-1 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

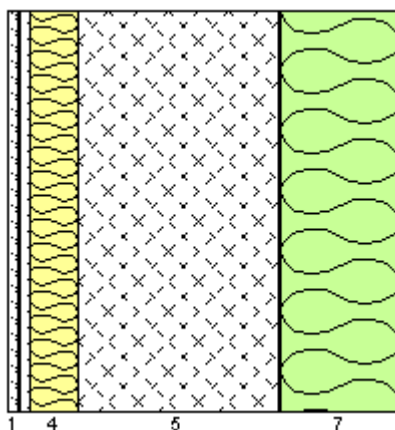
Tipo di struttura: **CV01 Chiusura controterra**

Codice struttura

M1

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno verso l'esterno)	s [mm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	ρ [kg/m ³]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050
2	Barriera vapore foglio di alluminio (.025-.05 mm)	1	220,0	220000	2700	0,000	0,000	0,000
3	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050
4	Lana roccia RW211	60	0,035	0,583	40	200,000	200,000	1,714
5	C.I.s. di sabbia e ghiaia pareti esterne	250	2,150	8,600	2400	2,000	3,333	0,116
6	Impermeabilizzazione con PVC in fogli	2	0,160	80,000	1400	0,004	0,004	0,013
7	Poliuretano espanso in continuo in lastre	150	0,032	0,213	40	1,429	1,429	4,687

Spessore totale [mm]	488	Conduttanza unitaria superficiale interna	7,692	Resistenza unitaria superficiale interna	0,130
Massa superficiale [kg/m ²]	614	Conduttanza unitaria superficiale esterna	16,115	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,062
Trasmittanza periodica [W/m ² K]	0,002	TRASMITTANZA TOTALE [W/m²K]	0,147	RESISTENZA TERMICA TOTALE [m²K/W]	6,823



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	13,1	1507
Estiva (luglio)	23,2	1847	13,1	1507

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 3 [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a _____ [g/m²]
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 782 [Pa]

Simbologia

s	Spessore dello strato	δa	Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%	Ti	Temperatura interna
λ	Conduttività	δu	Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%	Te	Temperatura esterna
C	Conduttanza	R	Resistenza termica dello strato	Pi	Pressione parziale interna
ρ	Massa volumica			Pe	Pressione parziale esterna

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CV01 Chiusura controterra**

Codice struttura

M1

N.	Descrizione	ρ [kg/m ³]	μ	m [%]	s [mm]	Calcolo per		POTENZA	ENERGIA
						λ [W/mK]	R [m ² K/W]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
	Vento					m/s		3,800	1,900
	Resistenza superficiale interna					m ² K/W		0,130	0,130
	Resistenza superficiale esterna					m ² K/W		0,040	0,062
	Maggiorazione isolante / non isolante					%		100% / 100%	100% / 100%
1	Cartongesso in lastre	900	10	0	12,5	0,250	0,050	0,250	0,050
2	Barriera vapore foglio di alluminio (.025-.05 mm)	2700	700000	0	1	220,000	0,000	220,000	0,000
3	Cartongesso in lastre	900	10	0	12,5	0,250	0,050	0,250	0,050
4	Lana roccia RW211	40	1	0	60	0,035	1,714	0,035	1,714
5	C.I.s. di sabbia e ghiaia pareti esterne	2400	100	25	250	2,150	0,116	2,150	0,116
6	Impermeabilizzazione con PVC in fogli	1400	50000	0	2	0,160	0,013	0,160	0,013
7	Poliuretano espanso in continuo in lastre	40	140	50	150	0,032	4,687	0,032	4,687

Spessore totale **488** mm

R m²K/W

6,801

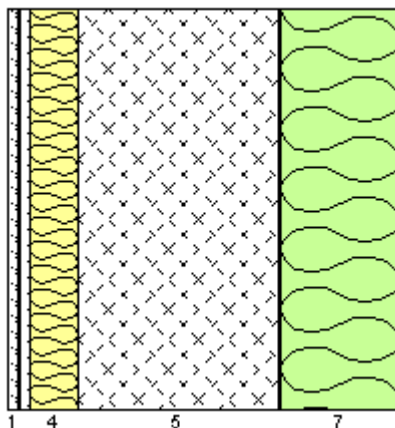
6,823

Massa superficiale **636** kg/m²

U W/m²K

0,147

0,147



CARATTERISTICHE TERMICHE DINAMICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 13786 - UNI 6946

Trasmittanza periodica **0,002** W/m²K

Fattore di attenuazione **0,015** -

Sfasamento dell'onda **-11,778** h

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CV01 Chiusura controterra**

Codice struttura

M1

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **-5,0 °C**

- T e UR esterne verifica termoigrometrica:
- T e UR variabili, medie mensili.
 - T fissa, media annuale 13,10 °C UR fissa pari a 100,00 %
 - T fissa, pari a ____ °C UR fissa pari a ____ %

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

- Classe concentrazione del vapore:
- Umidità relativa interna costante: **60,0% + 5%**
- Ricambio d'aria costante e produzione di vapore nota:
- Ricambio d'aria variabile e produzione vapore nota:

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **0,236** 10^{-12} kg/sm² Pa

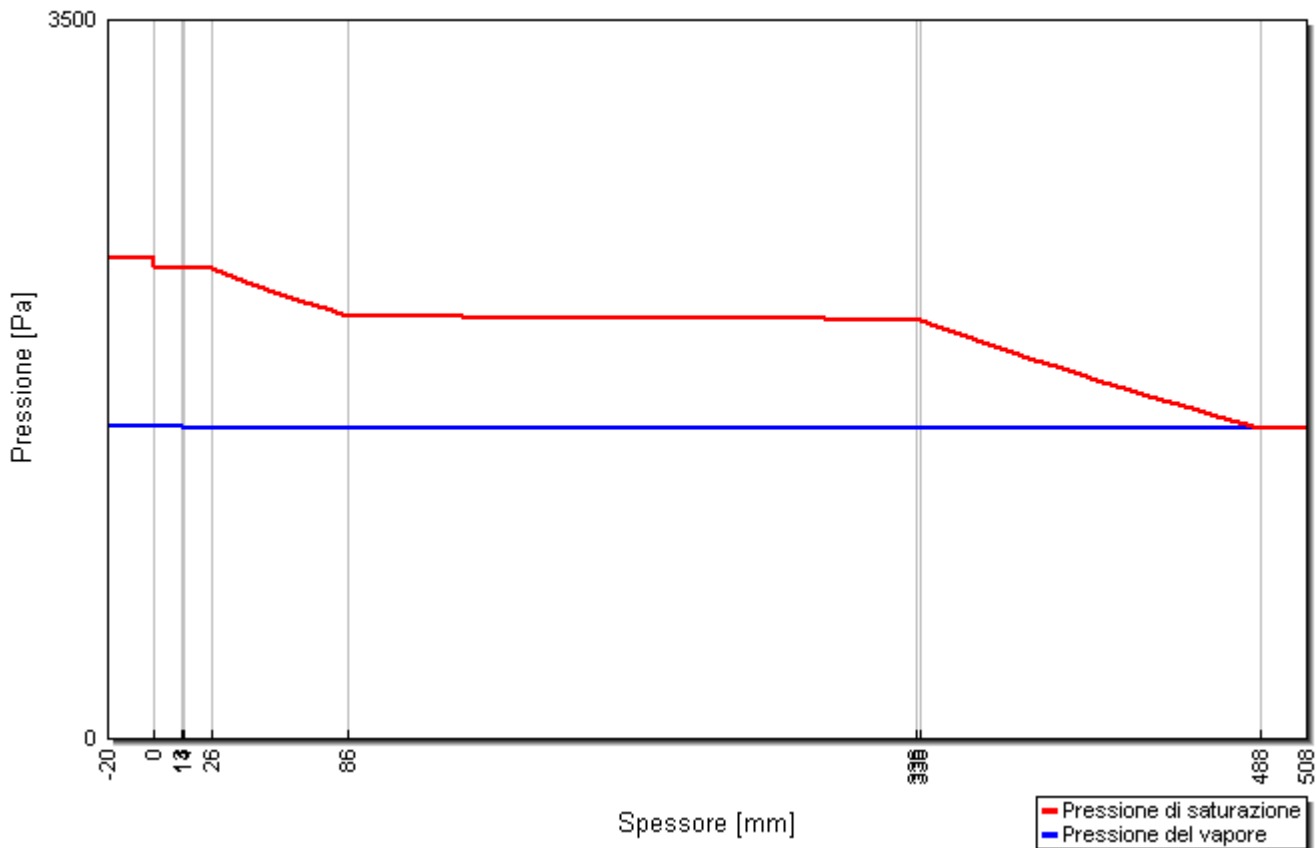
Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,040** m²K/W

Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva** per UR_{sup. amm} **80,0%**
 Mese critico **Ottobre** f_{Rsi}^{max} **0,520** ≤ f_{Rsi} **0,964**

Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**

Verifica termoigrometrica: Nessuna condensazione

Grafico delle pressioni del mese di GENNAIO



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CV01 Chiusura controterra**

Codice struttura

M1

RISULTATI VERIFICA DI CRITICITA' DELL'UMIDITA' SUPERFICIALE

Mese	T _e °C	φ _e %	P _e Pa	n h ⁻¹	Δ p x 1.1 Pa	P _i Pa	P _{sat} (T _{si}) Pa	T ^{min} _{si} °C	T _i °C	f ^{min} _{Rsi} -
Ottobre	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520
Novembre	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520
Dicembre	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520
Gennaio	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520
Febbraio	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520
Marzo	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520
Aprile	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520

RISULTATI VERIFICA DELLA CONDENSA INTERSTIZIALE

Mese	T _e °C	φ _e %	T _i °C	φ _i %	g _c g/m ²	M _a g/m ²	Periodi	Stato
Ottobre	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Novembre	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Dicembre	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Gennaio	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Febbraio	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Marzo	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Aprile	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Maggio	13,1	100,0%	18,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Giugno	13,1	100,0%	20,8	65,0%	0	0	1	Asciutto
Luglio	13,1	100,0%	23,2	65,0%	0	0	1	Asciutto
Agosto	13,1	100,0%	22,7	65,0%	0	0	1	Asciutto
Settembre	13,1	100,0%	19,4	65,0%	0	0	1	Asciutto

T_i Temperatura dell'aria interna

P_e Pressione parziale del vapore superficiale esterna

g_c Flusso di vapore condensato

T_e Temperatura dell'aria esterna

P_i Pressione parziale del vapore superficiale interna

M_a Quantità di condensa accumulata

φ_i Umidità relativa dell'aria interna

P_{sat}(T_{si}) Pressione sat. vapore superficiale interna

Periodi Periodi del mese

φ_e Umidità relativa dell'aria esterna

T^{min}_{si} Temperatura superficiale interna minima

n Rinnovo d'aria

Δp Diff. pressione parziale vapore

f^{min}_{Rsi} Fattore di temperatura superficiale interna

Nessuna formazione di condensa interstiziale

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CV01 Chiusura controterra**

Codice struttura

M1**VALORI CALCOLATI****Pressione parziale del vapore - P (Pa)**

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
Int.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
1	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
2	1509	1509	1509	1509	1509	1509	1509	1478	1522	1566	1556	1499
3	1509	1509	1509	1509	1509	1509	1509	1478	1522	1566	1556	1499
4	1509	1509	1509	1509	1509	1509	1509	1478	1522	1566	1556	1499
5	1509	1509	1509	1509	1509	1509	1509	1483	1520	1555	1548	1501
6	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1503	1509	1515	1514	1506
7	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507
Est.	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Pressione di saturazione del vapore - Psat (Pa)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2455	2842	2757	2252
Int.	2301	2301	2301	2301	2301	2301	2301	2040	2414	2780	2700	2220
1	2294	2294	2294	2294	2294	2294	2294	2035	2405	2768	2688	2214
2	2294	2294	2294	2294	2294	2294	2294	2035	2405	2768	2688	2214
3	2287	2287	2287	2287	2287	2287	2287	2031	2397	2755	2677	2207
4	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	1881	2129	2364	2313	2001
5	2040	2040	2040	2040	2040	2040	2040	1871	2112	2340	2290	1988
6	2039	2039	2039	2039	2039	2039	2039	1870	2110	2337	2288	1987
7	1511	1511	1511	1511	1511	1511	1511	1510	1511	1513	1512	1510
Est.	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Temperatura - T (°C)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
Int.	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	17,8	20,5	22,8	22,4	19,2
1	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	17,8	20,5	22,8	22,3	19,1
2	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	17,8	20,5	22,8	22,3	19,1
3	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	19,7	17,8	20,4	22,7	22,2	19,1
4	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	16,5	18,5	20,2	19,8	17,5
5	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	16,5	18,4	20,0	19,7	17,4
6	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	16,4	18,4	20,0	19,7	17,4
7	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,2	13,2	13,1
Est.	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

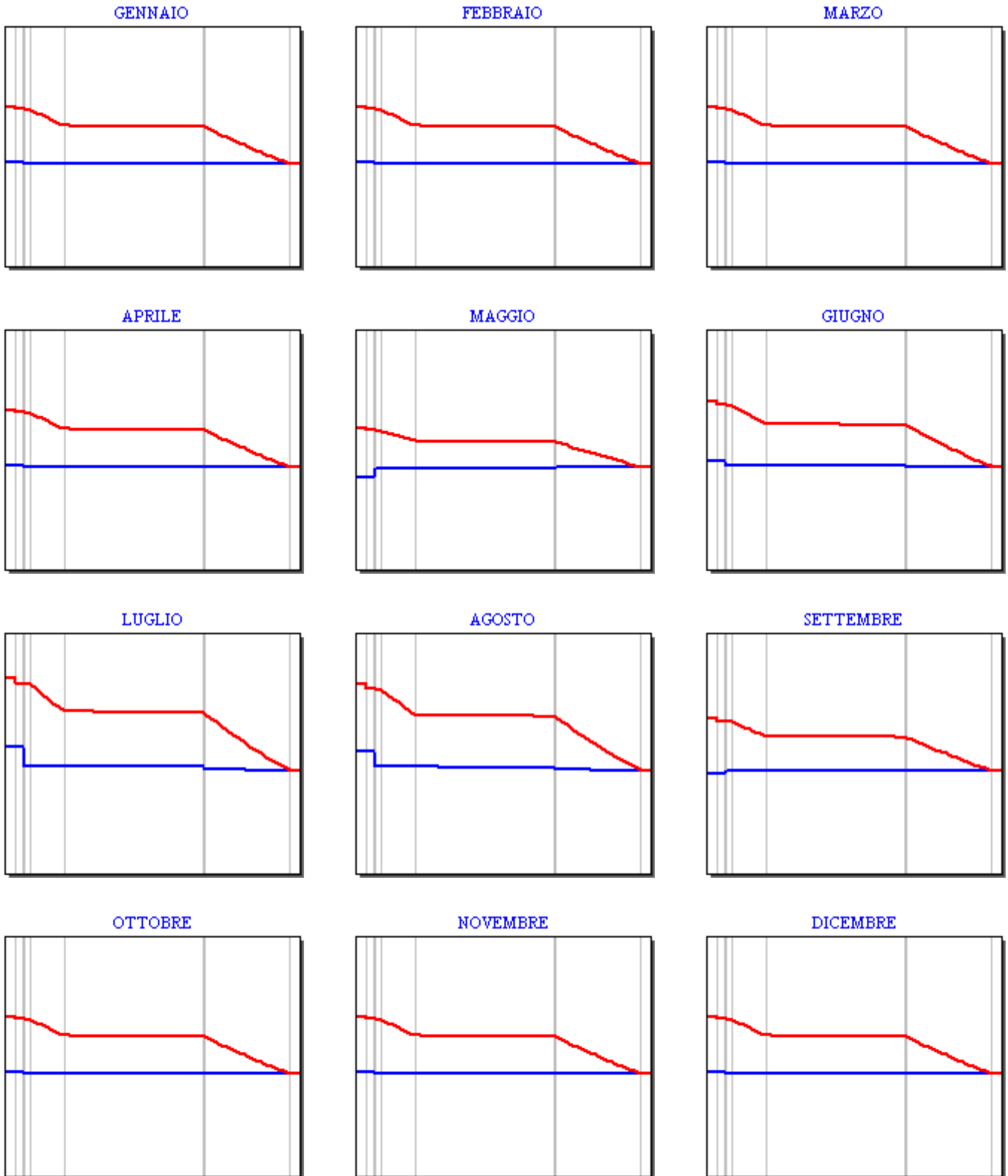
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO
 GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)

Tipo di struttura: CV01 Chiusura controterra

Codice struttura

M1

GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)

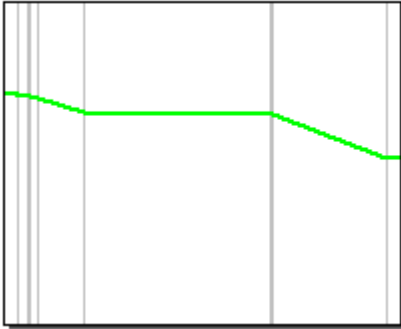
Tipo di struttura: CV01 Chiusura controterra

Codice struttura

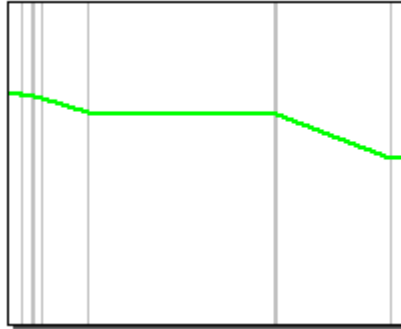
M1

GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)

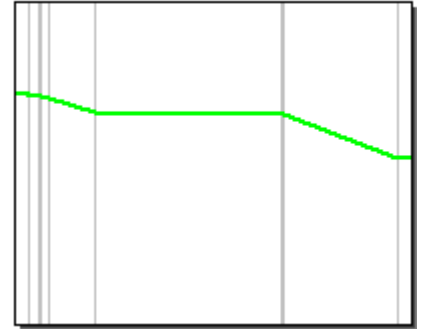
GENNAIO



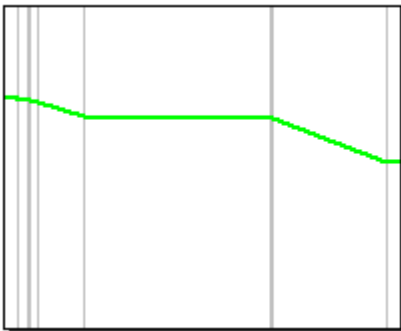
FEBBRAIO



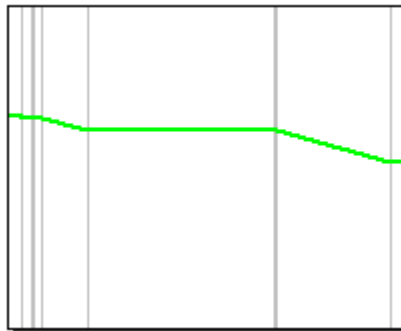
MARZO



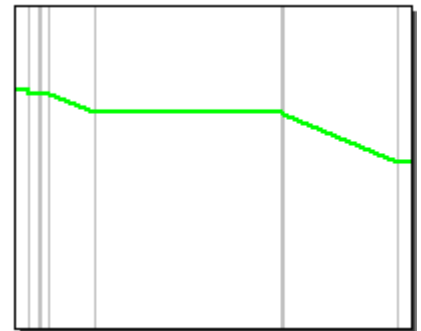
APRILE



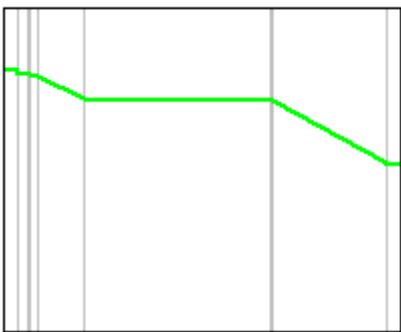
MAGGIO



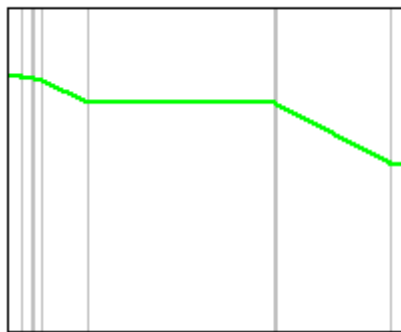
GIUGNO



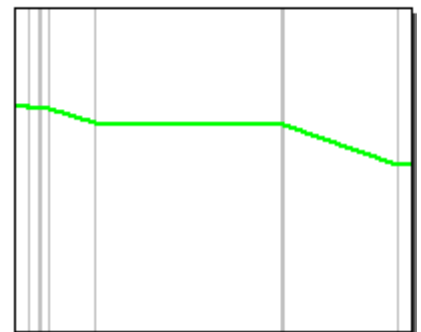
LUGLIO



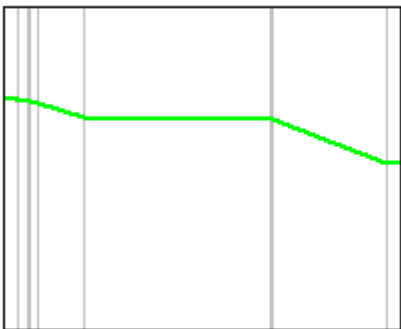
AGOSTO



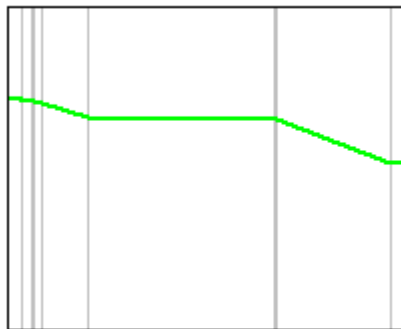
SETTEMBRE



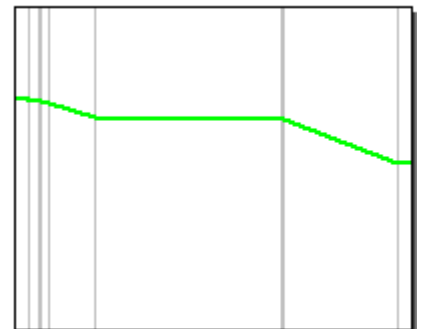
OTTOBRE



NOVEMBRE



DICEMBRE



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO.

secondo UNI TS 11300-1 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

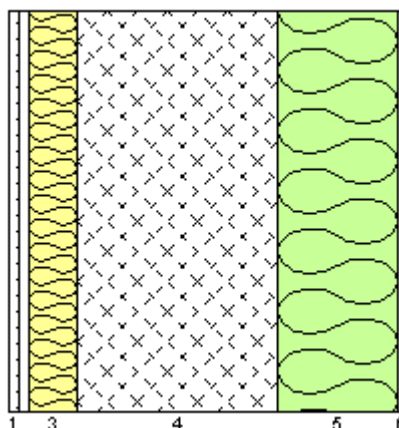
Tipo di struttura: **CV02 Chiusura con cappotto**

Codice struttura

M2

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno verso l'esterno)	s [mm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	ρ [kg/m ³]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050
2	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050
3	Lana roccia RW211	60	0,035	0,583	40	200,000	200,000	1,714
4	C.I.s. di sabbia e ghiaia pareti esterne	250	2,150	8,600	2400	2,000	3,333	0,116
5	Poliuretano espanso in continuo in lastre	150	0,032	0,213	40	1,429	1,429	4,687
6	Intonaco di gesso	10	0,400	40,000	1000	20,000	33,333	0,025

Spessore totale [mm]	495	Conduttanza unitaria superficiale interna	7,692	Resistenza unitaria superficiale interna	0,130
Massa superficiale [kg/m ²]	608	Conduttanza unitaria superficiale esterna	16,115	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,062
Trasmittanza periodica [W/m ² K]	0,002	TRASMITTANZA TOTALE [W/m²K]	0,146	RESISTENZA TERMICA TOTALE [m²K/W]	6,835



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	2,6	648
Estiva (luglio)	23,2	1847	23,2	1790

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 94 [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a _____ [g/m²]
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 729 [Pa]

Simbologia

s Spessore dello strato
 λ Conduttività
 C Conduttanza
 ρ Massa volumica

δa Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%
 δu Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%
 R Resistenza termica dello strato

Ti Temperatura interna
 Te Temperatura esterna
 Pi Pressione parziale interna
 Pe Pressione parziale esterna

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CV02 Chiusura con cappotto**

Codice struttura

M2

N.	Descrizione	ρ [kg/m ³]	μ	m [%]	s [mm]	Calcolo per		POTENZA		ENERGIA	
						Vento	m/s	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
						Resistenza superficiale interna	m ² K/W	3,800		1,900	
						Resistenza superficiale esterna	m ² K/W	0,130		0,130	
						Maggiorazione isolante / non isolante	%	0,040		0,062	
								100% / 100%		100% / 100%	
1	Cartongesso in lastre	900	10	0	12,5			0,250	0,050	0,250	0,050
2	Cartongesso in lastre	900	10	0	12,5			0,250	0,050	0,250	0,050
3	Lana roccia RW211	40	1	0	60			0,035	1,714	0,035	1,714
4	C.l.s. di sabbia e ghiaia pareti esterne	2400	100	25	250			2,150	0,116	2,150	0,116
5	Poliuretano espanso in continuo in lastre	40	140	50	150			0,032	4,687	0,032	4,687
6	Intonaco di gesso	1000	10	0	10			0,400	0,025	0,400	0,025

Spessore totale **495** mm

R m²K/W

6,813

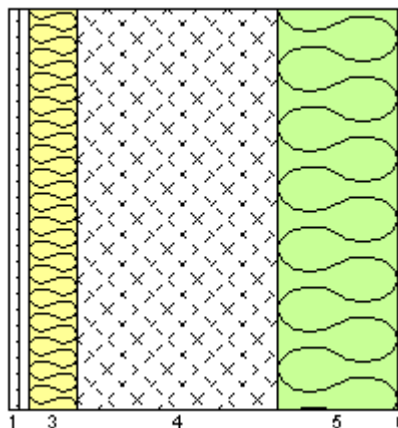
6,835

Massa superficiale **641** kg/m²

U W/m²K

0,147

0,146



CARATTERISTICHE TERMICHE DINAMICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 13786 - UNI 6946

Trasmittanza periodica **0,002** W/m²K

Fattore di attenuazione **0,016** -

Sfasamento dell'onda **-11,838** h

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CV02 Chiusura con cappotto**

Codice struttura

M2

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **-5,0 °C**

- T e UR esterne verifica termoigrometrica:
- T e UR variabili, medie mensili.
 - T fissa, media annuale ____ °C UR fissa pari a ____ %
 - T fissa, pari a ____ °C UR fissa pari a ____ %

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

- Classe concentrazione del vapore:
- Ricambio d'aria costante e produzione di vapore nota:
- Umidità relativa interna costante: **60,0% + 5%**
- Ricambio d'aria variabile e produzione vapore nota:

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **4,309** 10^{-12} kg/sm² Pa

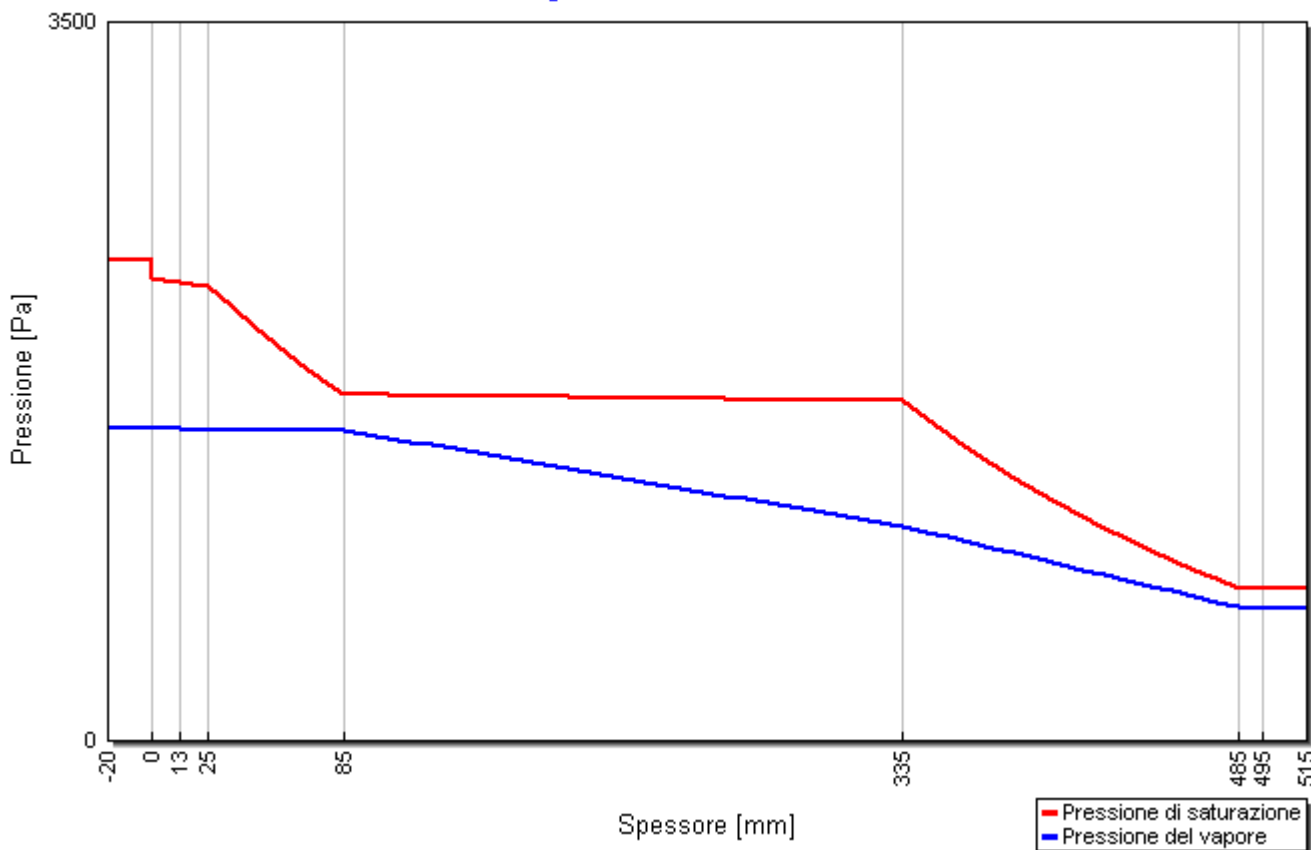
Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,040** m²K/W

Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva** per UR_{sup. amm} **80,0%**
 Mese critico **Gennaio** f^{max}_{Rsi} **0,810** ≤ f_{Rsi} **0,964**

Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**

Verifica termoigrometrica: Nessuna condensazione

Grafico delle pressioni del mese di GENNAIO



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CV02 Chiusura con cappotto**

Codice struttura

M2

RISULTATI VERIFICA DI CRITICITA' DELL'UMIDITA' SUPERFICIALE

Mese	T _e °C	φ _e %	P _e Pa	n h ⁻¹	Δ p x 1.1 Pa	P _i Pa	P _{sat} (T _{si}) Pa	T ^{min} _{si} °C	T _i °C	f ^{min} _{Rsi} -
Ottobre	13,7	71,8%	1125	-----	394	1519	1899	16,7	20,0	0,474
Novembre	8,1	79,9%	862	-----	657	1519	1899	16,7	20,0	0,722
Dicembre	4,0	79,9%	650	-----	869	1519	1899	16,7	20,0	0,793
Gennaio	2,6	88,0%	648	-----	871	1519	1899	16,7	20,0	0,810
Febbraio	4,4	73,1%	611	-----	908	1519	1899	16,7	20,0	0,788
Marzo	8,4	66,8%	736	-----	783	1519	1899	16,7	20,0	0,715
Aprile	12,8	59,6%	881	-----	638	1519	1899	16,7	20,0	0,540

RISULTATI VERIFICA DELLA CONDENSA INTERSTIZIALE

Mese	T _e °C	φ _e %	T _i °C	φ _i %	g _c g/m ²	M _a g/m ²	Periodi	Stato
Ottobre	13,7	71,8%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Novembre	8,1	79,9%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Dicembre	4,0	79,9%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Gennaio	2,6	88,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Febbraio	4,4	73,1%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Marzo	8,4	66,8%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Aprile	12,8	59,6%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Maggio	16,5	68,9%	18,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Giugno	20,8	62,7%	20,8	65,0%	0	0	1	Asciutto
Luglio	23,2	63,0%	23,2	65,0%	0	0	1	Asciutto
Agosto	22,7	63,8%	22,7	65,0%	0	0	1	Asciutto
Settembre	19,4	65,2%	19,4	65,0%	0	0	1	Asciutto

T_i Temperatura dell'aria interna

P_e Pressione parziale del vapore superficiale esterna

g_c Flusso di vapore condensato

T_e Temperatura dell'aria esterna

P_i Pressione parziale del vapore superficiale interna

M_a Quantità di condensa accumulata

φ_i Umidità relativa dell'aria interna

P_{sat}(T_{si}) Pressione sat. vapore superficiale interna

Periodi Periodi del mese

φ_e Umidità relativa dell'aria esterna

T^{min}_{si} Temperatura superficiale interna minima

n Rinnovo d'aria

Δp Diff. pressione parziale vapore

f^{min}_{Rsi} Fattore di temperatura superficiale interna

Nessuna formazione di condensa interstiziale

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CV02 Chiusura con cappotto**

Codice struttura

M2**VALORI CALCOLATI****Pressione parziale del vapore - P (Pa)**

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
Int.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
1	1518	1517	1517	1517	1517	1517	1517	1341	1596	1847	1792	1464
2	1517	1515	1514	1514	1514	1515	1516	1341	1596	1847	1792	1464
3	1516	1515	1513	1513	1513	1514	1515	1341	1596	1847	1792	1464
4	1304	1161	1045	1044	1024	1092	1171	1314	1565	1816	1774	1466
5	1126	864	652	649	613	737	882	1292	1539	1790	1758	1469
6	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469
Est.	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Pressione di saturazione del vapore - Psat (Pa)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2455	2842	2757	2252
Int.	2304	2276	2255	2248	2257	2277	2300	2056	2455	2842	2757	2252
1	2298	2263	2239	2230	2241	2265	2292	2054	2455	2842	2757	2252
2	2291	2251	2223	2213	2225	2254	2285	2053	2455	2842	2757	2252
3	2079	1871	1730	1685	1744	1882	2044	2006	2455	2842	2757	2252
4	2065	1847	1701	1653	1715	1858	2029	2002	2455	2842	2757	2252
5	1573	1088	821	745	845	1110	1484	1878	2455	2842	2757	2252
6	1571	1085	818	741	841	1107	1482	1877	2455	2842	2757	2252
Est.	1567	1080	813	736	836	1102	1477	1876	2455	2842	2757	2252

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Temperatura - T (°C)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
Int.	19,8	19,6	19,4	19,4	19,4	19,6	19,7	17,9	20,8	23,2	22,7	19,4
1	19,7	19,5	19,3	19,2	19,3	19,5	19,7	17,9	20,8	23,2	22,7	19,4
2	19,7	19,4	19,2	19,1	19,2	19,4	19,6	17,9	20,8	23,2	22,7	19,4
3	18,1	16,5	15,2	14,8	15,4	16,5	17,9	17,6	20,8	23,2	22,7	19,4
4	18,0	16,3	15,0	14,5	15,1	16,4	17,7	17,5	20,8	23,2	22,7	19,4
5	13,8	8,2	4,2	2,8	4,5	8,5	12,9	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
6	13,7	8,2	4,1	2,7	4,5	8,5	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
Est.	13,7	8,1	4,0	2,6	4,4	8,4	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

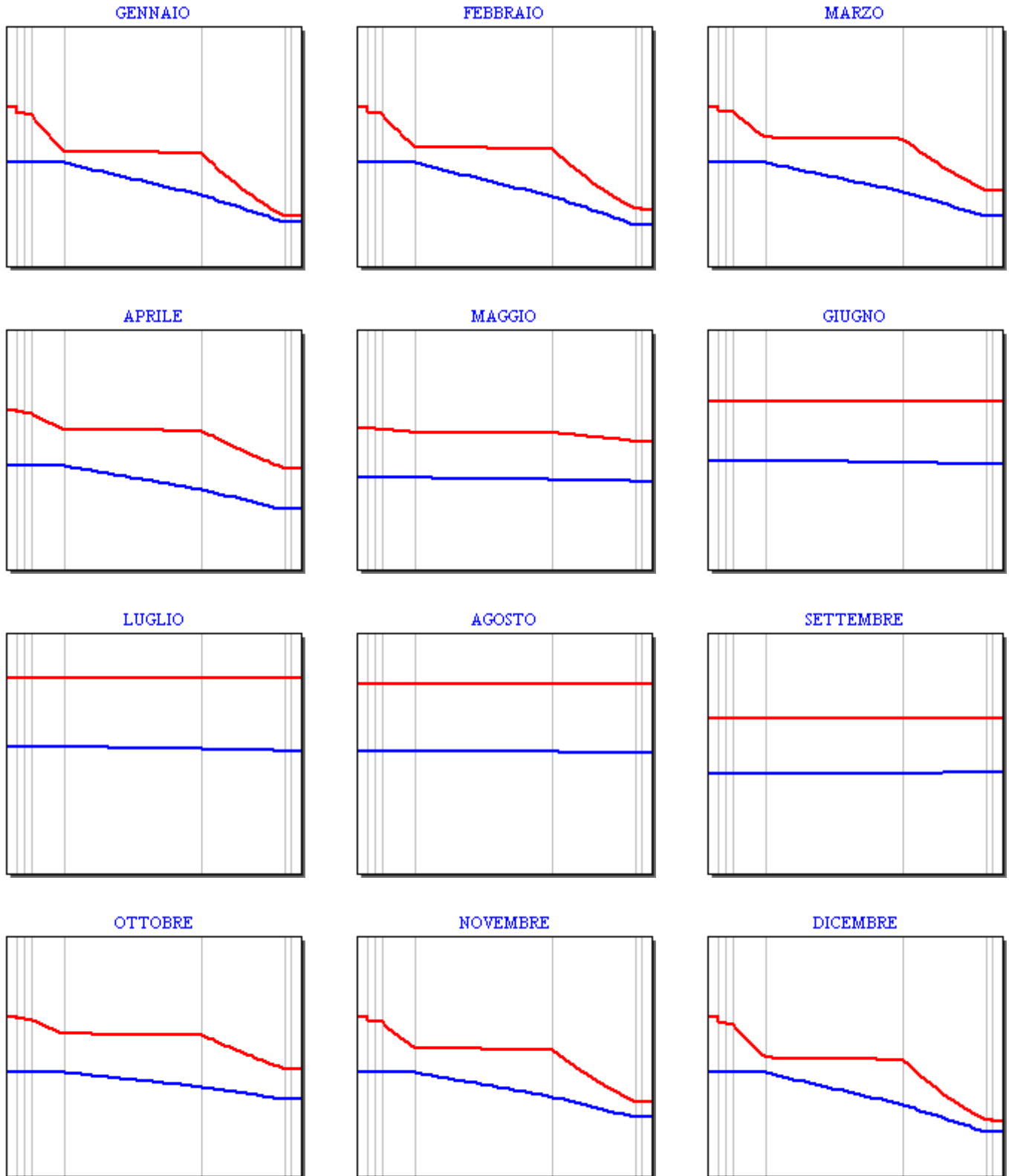
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO
 GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)

Tipo di struttura: **CV02 Chiusura con cappotto**

Codice struttura

M2

GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)



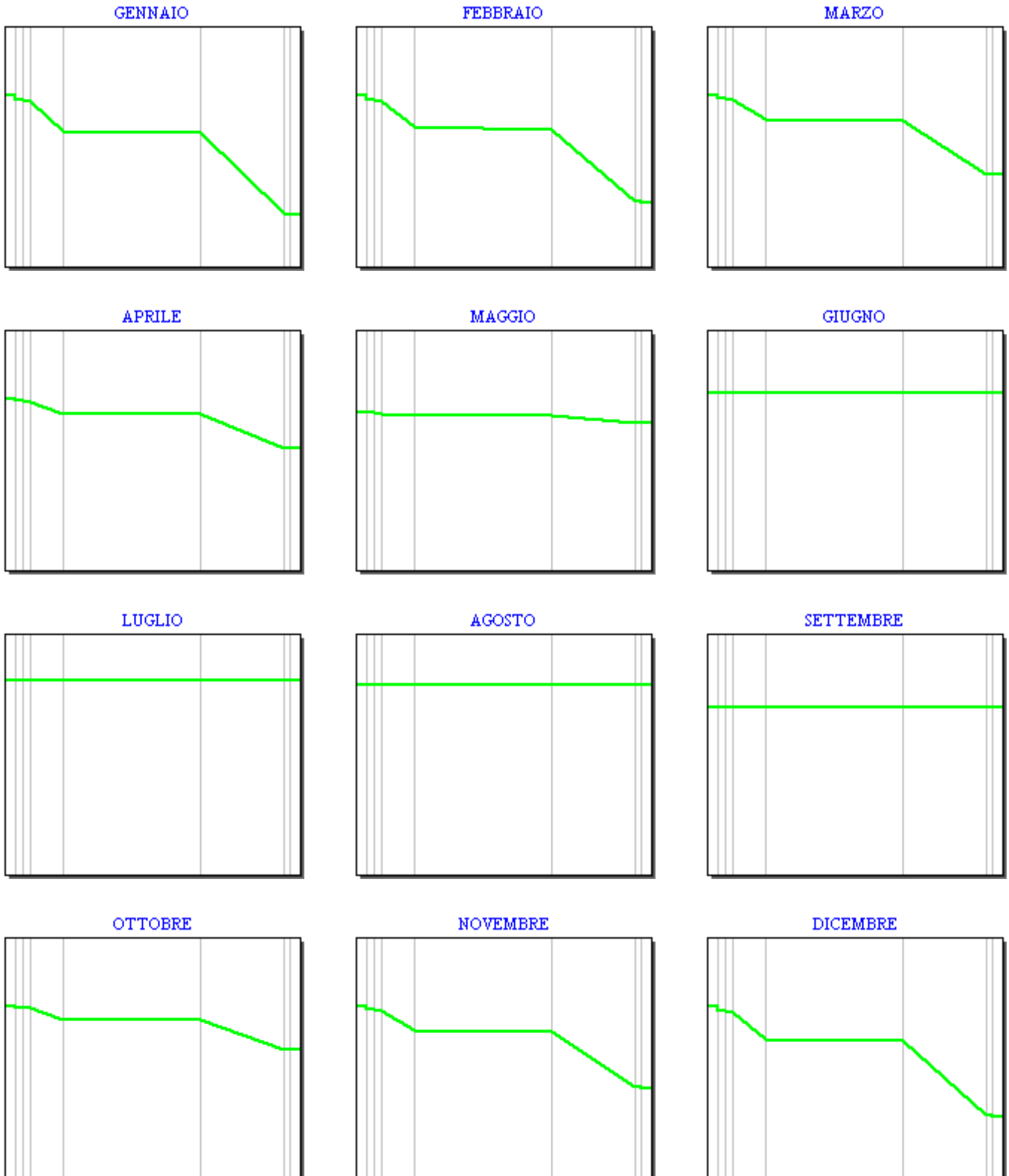
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
 GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)

Tipo di struttura: **CV02 Chiusura con cappotto**

Codice struttura

M2

GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO.

secondo UNI TS 11300-1 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CV 03 Facciata ventilata**

Codice struttura

M3

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno verso l'esterno)	s [mm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	ρ [kg/m ³]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050
2	Barriera vapore foglio di alluminio (.025-.05 mm)	1	220,0	220000	2700	0,000	0,000	0,000
3	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050
4	Lana roccia RW211	60	0,035	0,583	40	200,000	200,000	1,714
5	Lana roccia RW225	80	0,035	0,438	70	200,000	200,000	2,286
6	Lana roccia RW211	80	0,035	0,438	40	200,000	200,000	2,286
7	Pannelli di fibra di legno duri e extraduri	8	0,180	22,500	1000	2,703	2,703	0,044
8	Barriera vapore in fogli di polietilene	1	0,350	350	950	0,004	0,004	0,003
9	Poliuretano espanso in fabbrica fra lamiere sigillate	50	0,024	0,480	40	1,429	1,429	2,083
10	Aria debolmente ventilata (fl.ascend.)	30	0,375	12,500	0	-	-	0,080
11	Policarbonato (PC)	20	0,200	10,000	1200	-	-	0,093

Spessore totale [mm]

355

Conduttanza unitaria
superficiale interna

7,692

Resistenza unitaria
superficiale interna

0,130

Massa superficiale [kg/m²]

49

Conduttanza unitaria
superficiale esterna

17,410

Resistenza unitaria
superficiale esterna

0,057

Trasmittanza periodica [W/m²K]

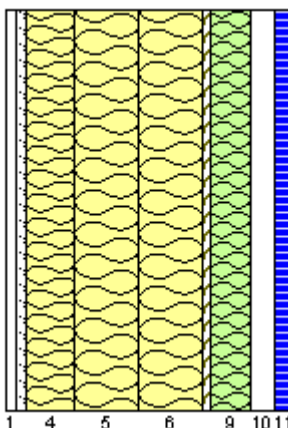
0,028

**TRASMITTANZA
TOTALE [W/m²K]**

0,113

**RESISTENZA TERMICA
TOTALE [m²K/W]**

8,876



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	2,6	648
Estiva (luglio)	23,2	1847	23,2	1790

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 93 [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a _____ [g/m²]
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 749 [Pa]

Simbologia

s Spessore dello strato
 λ Conduttività
C Conduttanza
 ρ Massa volumica

δa Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%
 δu Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%
R Resistenza termica dello strato

Ti Temperatura interna
Te Temperatura esterna
Pi Pressione parziale interna
Pe Pressione parziale esterna

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CV 03 Facciata ventilata**

Codice struttura

M3

N.	Descrizione	ρ [kg/m ³]	μ	m [%]	s [mm]	Calcolo per		POTENZA	ENERGIA
						λ [W/mK]	R [m ² K/W]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
	Vento					m/s	3,800	1,900	
	Resistenza superficiale interna					m ² K/W	0,130	0,130	
	Resistenza superficiale esterna					m ² K/W	0,040	0,057	
	Maggiorazione isolante / non isolante					%	100% / 100%	100% / 100%	
1	Cartongesso in lastre	900	10	0	12,5	0,250	0,050	0,250	0,050
2	Barriera vapore foglio di alluminio (.025-.05 mm)	2700	700000	0	1	220,000	0,000	220,000	0,000
3	Cartongesso in lastre	900	10	0	12,5	0,250	0,050	0,250	0,050
4	Lana roccia RW211	40	1	0	60	0,035	1,714	0,035	1,714
5	Lana roccia RW225	70	1	0	80	0,035	2,286	0,035	2,286
6	Lana roccia RW211	40	1	0	80	0,035	2,286	0,035	2,286
7	Pannelli di fibra di legno duri e extraduri	1000	74	20	8	0,180	0,044	0,180	0,044
8	Barriera vapore in fogli di polietilene	950	50000	0	1	0,350	0,003	0,350	0,003
9	Poliuretano espanso in fabbrica fra lamiere sigillate	40	140	15	50	0,024	2,083	0,024	2,083
10	Aria debolmente ventilata (fl.ascend.)	0	-	0	30	0,375	0,080	0,375	0,080
11	Polycarbonato (PC)	1200	-	0	20	0,200	0,100	0,200	0,093

Spessore totale **355** mm

R m²K/W

8,866

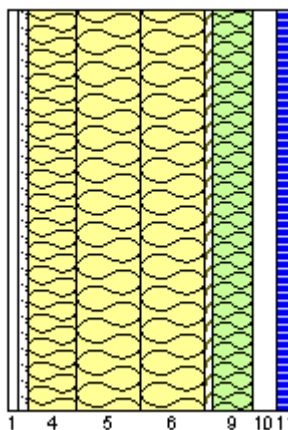
8,876

Massa superficiale **71** kg/m²

U W/m²K

0,113

0,113



CARATTERISTICHE TERMICHE DINAMICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 13786 - UNI 6946

Trasmittanza periodica **0,028** W/m²K

Fattore di attenuazione **0,249** -

Sfasamento dell'onda **-10,438** h

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CV 03 Facciata ventilata**

Codice struttura

M3

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **-5,0 °C**

- T e UR esterne verifica termoigrometrica:
- T e UR variabili, medie mensili.
 - T fissa, media annuale ____ °C UR fissa pari a ____ %
 - T fissa, pari a ____ °C UR fissa pari a ____ %

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

- Classe concentrazione del vapore:
- Umidità relativa interna costante: **60,0% + 5%**
- Ricambio d'aria costante e produzione di vapore nota:
- Ricambio d'aria variabile e produzione vapore nota:

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **0,264** 10^{-12} kg/sm² Pa

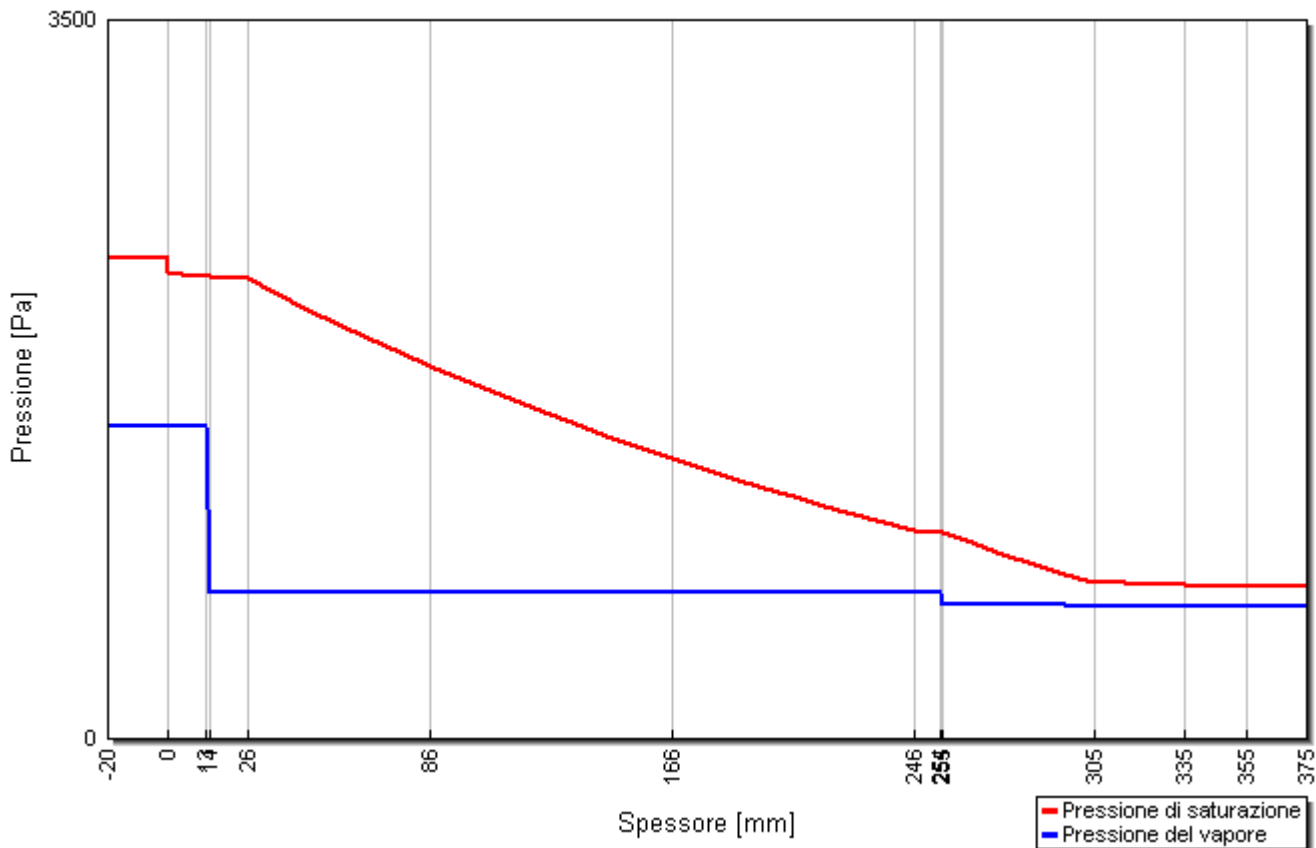
Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,040** m²K/W

Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva** per UR_{sup. amm} **80,0%**
 Mese critico **Gennaio** f_{Rsi}^{max} **0,810** ≤ f_{Rsi} **0,972**

Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**

Verifica termoigrometrica: Nessuna condensazione

Grafico delle pressioni del mese di GENNAIO



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CV 03 Facciata ventilata**

Codice struttura

M3

RISULTATI VERIFICA DI CRITICITA' DELL'UMIDITA' SUPERFICIALE

Mese	T _e °C	φ _e %	P _e Pa	n h ⁻¹	Δ p x 1.1 Pa	P _i Pa	P _{sat} (T _{si}) Pa	T ^{min} _{si} °C	T _i °C	f ^{min} _{Rsi} -
Ottobre	13,7	71,8%	1125	-----	394	1519	1899	16,7	20,0	0,474
Novembre	8,1	79,9%	862	-----	657	1519	1899	16,7	20,0	0,722
Dicembre	4,0	79,9%	650	-----	869	1519	1899	16,7	20,0	0,793
Gennaio	2,6	88,0%	648	-----	871	1519	1899	16,7	20,0	0,810
Febbraio	4,4	73,1%	611	-----	908	1519	1899	16,7	20,0	0,788
Marzo	8,4	66,8%	736	-----	783	1519	1899	16,7	20,0	0,715
Aprile	12,8	59,6%	881	-----	638	1519	1899	16,7	20,0	0,540

RISULTATI VERIFICA DELLA CONDENSA INTERSTIZIALE

Mese	T _e °C	φ _e %	T _i °C	φ _i %	g _c g/m ²	M _a g/m ²	Periodi	Stato
Ottobre	13,7	71,8%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Novembre	8,1	79,9%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Dicembre	4,0	79,9%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Gennaio	2,6	88,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Febbraio	4,4	73,1%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Marzo	8,4	66,8%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Aprile	12,8	59,6%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Maggio	16,5	68,9%	18,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Giugno	20,8	62,7%	20,8	65,0%	0	0	1	Asciutto
Luglio	23,2	63,0%	23,2	65,0%	0	0	1	Asciutto
Agosto	22,7	63,8%	22,7	65,0%	0	0	1	Asciutto
Settembre	19,4	65,2%	19,4	65,0%	0	0	1	Asciutto

T_i Temperatura dell'aria interna

P_e Pressione parziale del vapore superficiale esterna

g_c Flusso di vapore condensato

T_e Temperatura dell'aria esterna

P_i Pressione parziale del vapore superficiale interna

M_a Quantità di condensa accumulata

φ_i Umidità relativa dell'aria interna

P_{sat}(T_{si}) Pressione sat. vapore superficiale interna

Periodi Periodi del mese

φ_e Umidità relativa dell'aria esterna

T^{min}_{si} Temperatura superficiale interna minima

n Rinnovo d'aria

Δp Diff. pressione parziale vapore

f^{min}_{Rsi} Fattore di temperatura superficiale interna

Nessuna formazione di condensa interstiziale

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: CV 03 Facciata ventilata

Codice struttura

M3

VALORI CALCOLATI**Pressione parziale del vapore - P (Pa)**

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
Int.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
1	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
2	1155	912	716	714	681	796	929	1296	1543	1795	1761	1468
3	1155	912	716	714	680	795	929	1296	1543	1795	1761	1468
4	1155	912	716	714	680	795	929	1296	1543	1795	1761	1468
5	1155	912	716	714	680	795	929	1296	1543	1795	1761	1468
6	1155	912	716	714	680	795	929	1296	1543	1795	1761	1468
7	1155	912	715	713	679	795	929	1296	1543	1794	1761	1468
8	1129	868	658	656	620	743	887	1293	1540	1791	1758	1469
9	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469
10	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469
11	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469
Est.	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Pressione di saturazione del vapore - Psat (Pa)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2455	2842	2757	2252
Int.	2312	2289	2273	2268	2275	2291	2308	2057	2455	2842	2757	2252
1	2307	2280	2261	2254	2263	2282	2302	2056	2455	2842	2757	2252
2	2307	2280	2261	2254	2263	2282	2302	2056	2455	2842	2757	2252
3	2302	2271	2248	2241	2250	2272	2297	2055	2455	2842	2757	2252
4	2136	1970	1855	1818	1866	1978	2108	2019	2455	2842	2757	2252
5	1931	1623	1426	1363	1444	1638	1878	1971	2455	2842	2757	2252
6	1743	1331	1086	1012	1108	1350	1670	1923	2455	2842	2757	2252
7	1739	1325	1080	1006	1102	1345	1666	1923	2455	2842	2757	2252
8	1739	1325	1080	1005	1102	1345	1666	1923	2455	2842	2757	2252
9	1583	1101	836	759	859	1123	1495	1881	2455	2842	2757	2252
10	1577	1093	827	750	850	1115	1488	1879	2455	2842	2757	2252
11	1570	1083	817	740	840	1106	1481	1877	2455	2842	2757	2252
Est.	1567	1080	813	736	836	1102	1477	1876	2455	2842	2757	2252

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Temperatura - T (°C)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
Int.	19,8	19,7	19,6	19,5	19,6	19,7	19,8	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
1	19,8	19,6	19,5	19,4	19,5	19,6	19,8	17,9	20,8	23,2	22,7	19,4
2	19,8	19,6	19,5	19,4	19,5	19,6	19,8	17,9	20,8	23,2	22,7	19,4
3	19,8	19,5	19,4	19,3	19,4	19,5	19,7	17,9	20,8	23,2	22,7	19,4
4	18,6	17,3	16,3	16,0	16,4	17,3	18,3	17,7	20,8	23,2	22,7	19,4
5	17,0	14,2	12,3	11,6	12,4	14,4	16,5	17,3	20,8	23,2	22,7	19,4
6	15,3	11,2	8,2	7,2	8,5	11,4	14,7	16,9	20,8	23,2	22,7	19,4
7	15,3	11,2	8,1	7,1	8,4	11,4	14,6	16,9	20,8	23,2	22,7	19,4
8	15,3	11,2	8,1	7,1	8,4	11,4	14,6	16,9	20,8	23,2	22,7	19,4
9	13,9	8,4	4,4	3,0	4,8	8,7	13,0	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
10	13,8	8,3	4,2	2,9	4,6	8,6	12,9	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
11	13,7	8,2	4,1	2,7	4,5	8,5	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
Est.	13,7	8,1	4,0	2,6	4,4	8,4	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

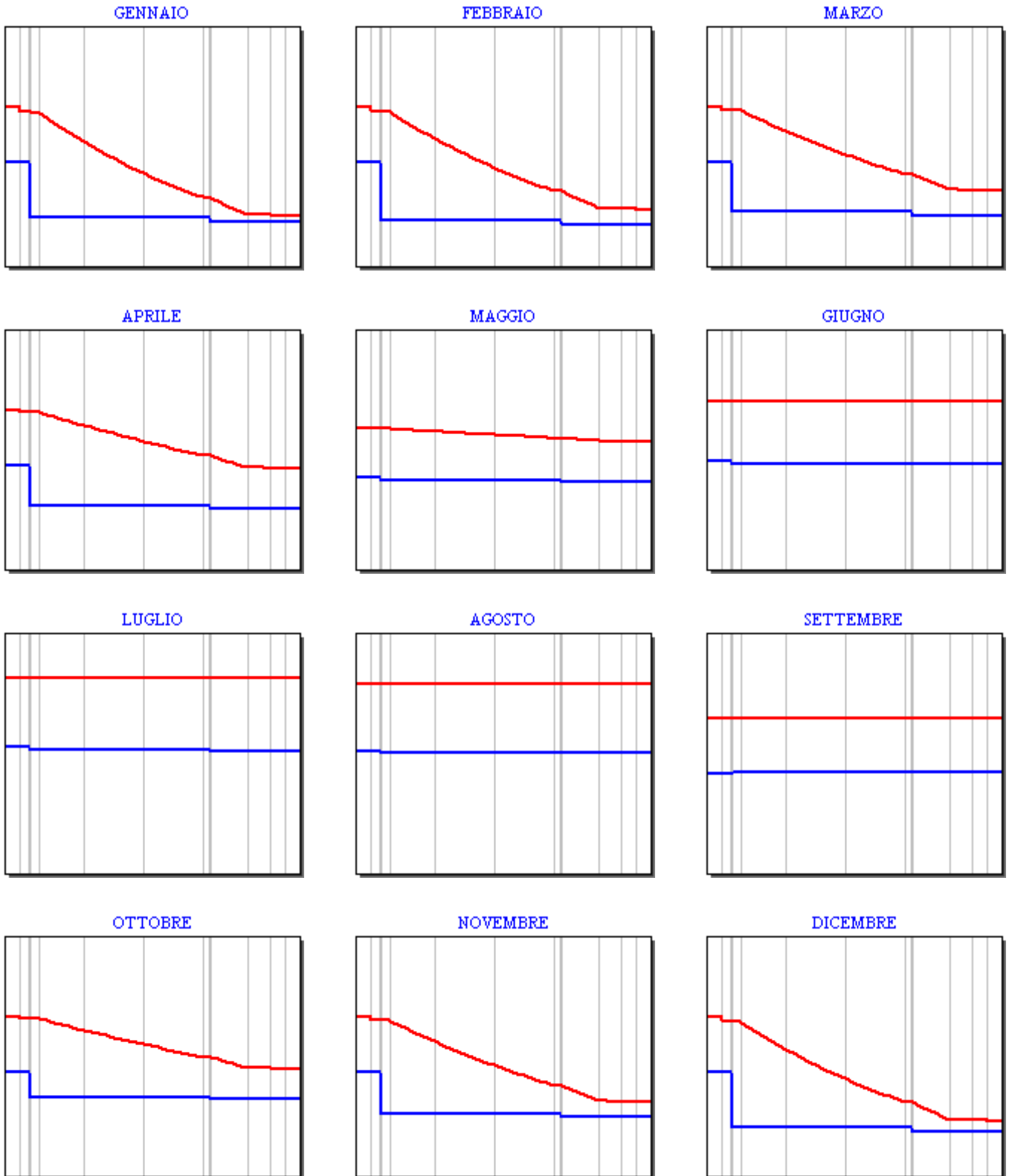
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
 GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)

Tipo di struttura: CV 03 Facciata ventilata

Codice struttura

M3

GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)

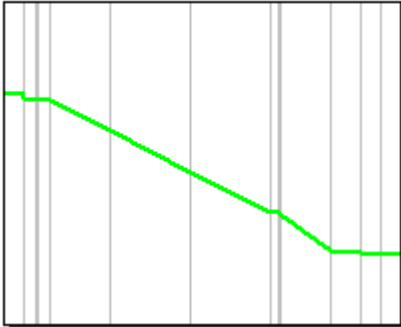
Tipo di struttura: CV 03 Facciata ventilata

Codice struttura

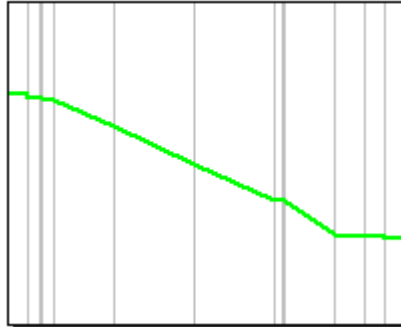
M3

GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)

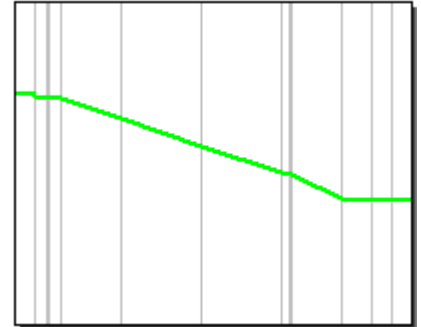
GENNAIO



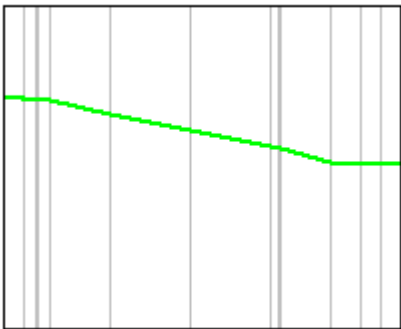
FEBBRAIO



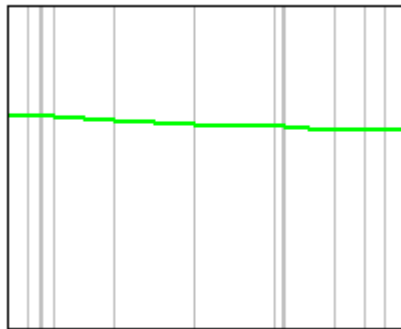
MARZO



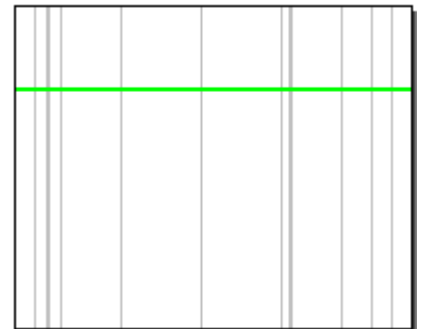
APRILE



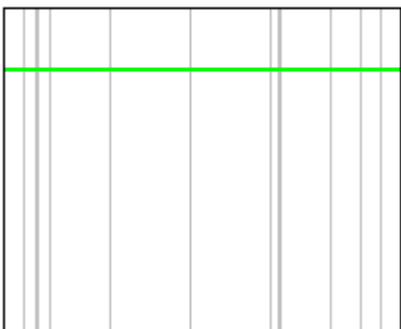
MAGGIO



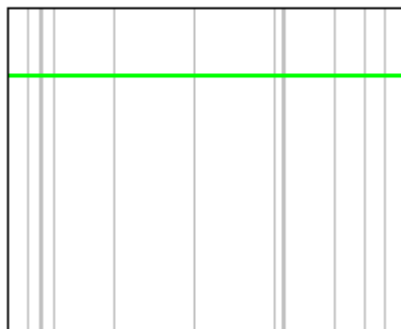
GIUGNO



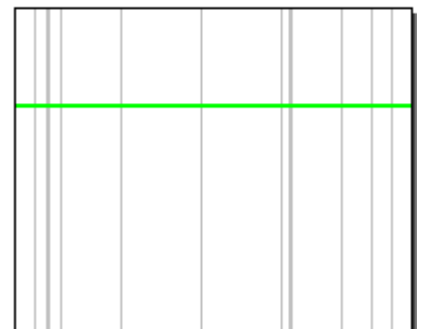
LUGLIO



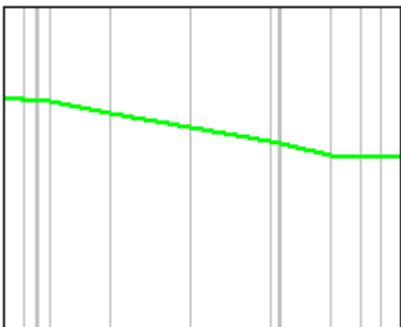
AGOSTO



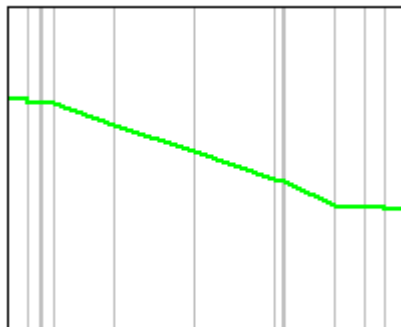
SETTEMBRE



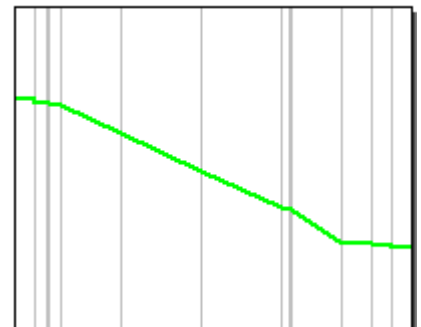
OTTOBRE



NOVEMBRE



DICEMBRE



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO.

secondo UNI TS 11300-1 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

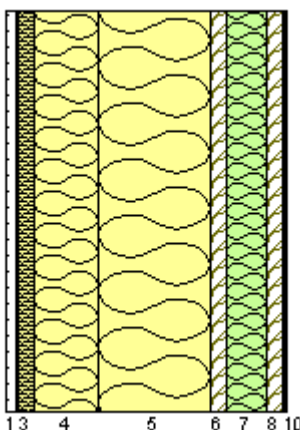
Tipo di struttura: **CO 03 Parete verde**

Codice struttura

M4

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno verso l'esterno)	s [mm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	ρ [kg/m ³]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050
2	Barriera vapore foglio di alluminio (.025-.05 mm)	1	220,0	220000	2700	0,000	0,000	0,000
3	Lana roccia RW211	20	0,035	1,750	40	200,000	200,000	0,571
4	Lana roccia RW225	80	0,035	0,438	70	200,000	200,000	2,286
5	Lana roccia RW211	140	0,035	0,250	40	200,000	200,000	4,000
6	Legno di abete flusso parall. alle fibre	20	0,180	9,000	450	4,651	6,250	0,111
7	Poliuretano espanso in fabbrica fra lamiere sigillate	50	0,024	0,480	40	1,429	1,429	2,083
8	Legno di abete flusso parall. alle fibre	20	0,180	9,000	450	4,651	6,250	0,111
9	Impermeabilizzazione con bitume	4	0,170	42,500	1200	0,004	0,004	0,024
10	Alluminio	1	220,0	220000	2700	0,000	0,000	0,000

Spessore totale [mm]	349	Conduttanza unitaria superficiale interna	7,692	Resistenza unitaria superficiale interna	0,130
Massa superficiale [kg/m ²]	42	Conduttanza unitaria superficiale esterna	16,115	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,062
Trasmittanza periodica [W/m ² K]	0,022	TRASMITTANZA TOTALE [W/m²K]	0,106	RESISTENZA TERMICA TOTALE [m²K/W]	9,428



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	2,6	648
Estiva (luglio)	23,2	1847	23,2	1790

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a _____ [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 2 [g/m²]
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 753 [Pa]

Simbologia

s	Spessore dello strato	δa	Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%	Ti	Temperatura interna
λ	Conduttività	δu	Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%	Te	Temperatura esterna
C	Conduttanza	R	Resistenza termica dello strato	Pi	Pressione parziale interna
ρ	Massa volumica			Pe	Pressione parziale esterna

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 03 Parete verde**

Codice struttura

M4

N.	Descrizione	ρ [kg/m ³]	μ	m [%]	s [mm]	Calcolo per		POTENZA	ENERGIA
						λ [W/mK]	R [m ² K/W]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
	Vento					m/s		3,800	1,900
	Resistenza superficiale interna					m ² K/W		0,130	0,130
	Resistenza superficiale esterna					m ² K/W		0,040	0,062
	Maggiorazione isolante / non isolante					%		100% / 100%	100% / 100%
1	Cartongesso in lastre	900	10	0	12,5	0,250	0,050	0,250	0,050
2	Barriera vapore foglio di alluminio (.025-.05 mm)	2700	700000	0	1	220,000	0,000	220,000	0,000
3	Lana roccia RW211	40	1	0	20	0,035	0,571	0,035	0,571
4	Lana roccia RW225	70	1	0	80	0,035	2,286	0,035	2,286
5	Lana roccia RW211	40	1	0	140	0,035	4,000	0,035	4,000
6	Legno di abete flusso parall. alle fibre	450	43	80	20	0,180	0,111	0,180	0,111
7	Poliuretano espanso in fabbrica fra lamiere sigillate	40	140	15	50	0,024	2,083	0,024	2,083
8	Legno di abete flusso parall. alle fibre	450	43	80	20	0,180	0,111	0,180	0,111
9	Impermeabilizzazione con bitume	1200	50000	0	4	0,170	0,024	0,170	0,024
10	Alluminio	2700	200000 0	0	1	220,000	0,000	220,000	0,000

Spessore totale **349** mm

R m²K/W

9,406

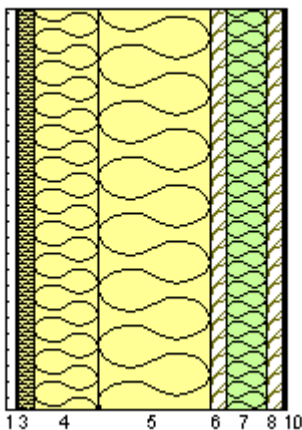
9,428

Massa superficiale **53** kg/m²

U W/m²K

0,106

0,106



CARATTERISTICHE TERMICHE DINAMICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 13786 - UNI 6946

Trasmittanza periodica **0,022** W/m²K

Fattore di attenuazione **0,206** -

Sfasamento dell'onda **-10,742** h

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 03 Parete verde**

Codice struttura

M4

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **-5,0 °C**

T e UR esterne verifica termoigrometrica:

- T e UR variabili, medie mensili.
- T fissa, media annuale ____ °C UR fissa pari a ____ %
- T fissa, pari a ____ °C UR fissa pari a ____ %

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

Classe concentrazione del vapore: Umidità relativa interna costante: **60,0% + 5%**

Ricambio d'aria costante e produzione di vapore nota: Ricambio d'aria variabile e produzione vapore nota:

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **0,069** 10^{-12} kg/sm² Pa

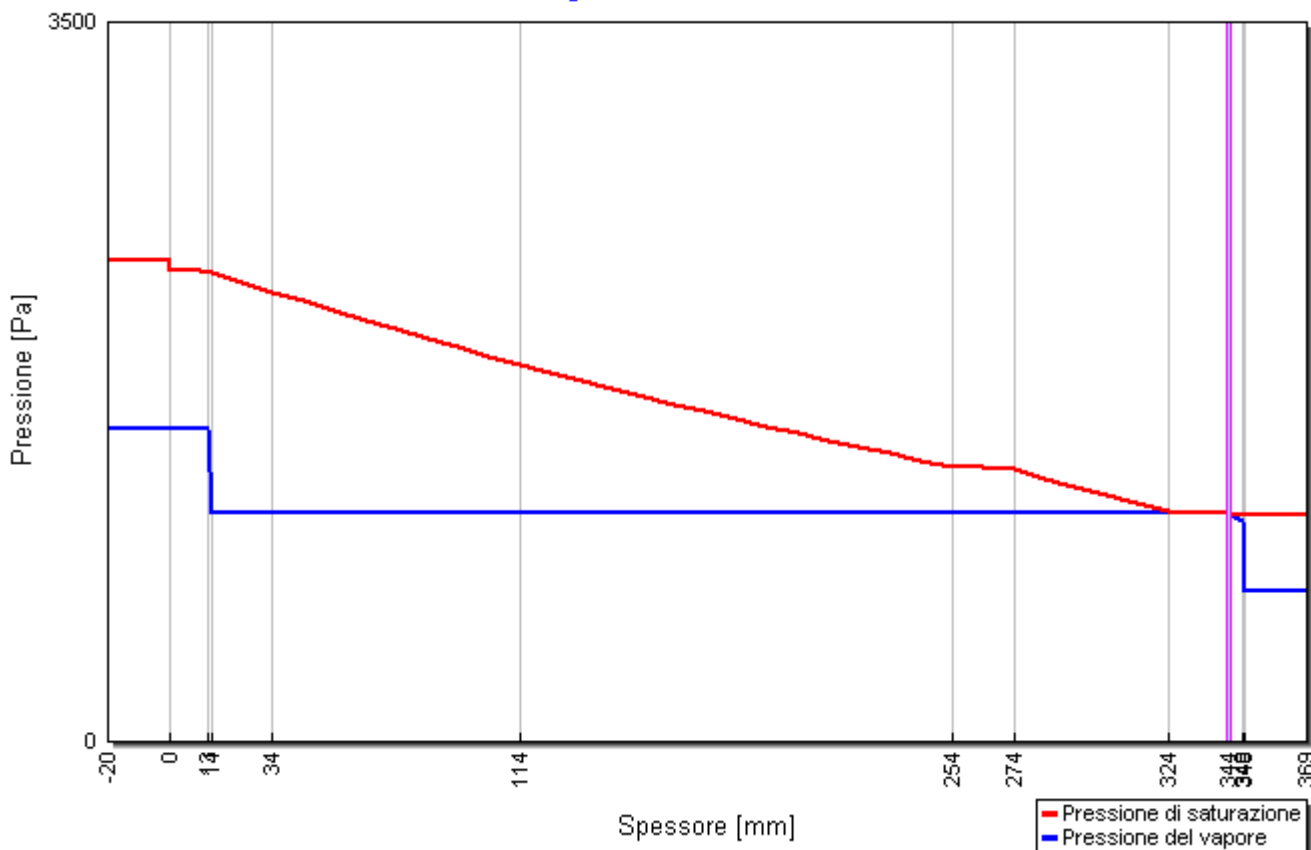
Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,040** m²K/W

Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva** per UR_{sup. amm} **80,0%**
 Mese critico **Gennaio** f_{Rsi}^{max} **0,810** ≤ f_{Rsi} **0,974**

Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**

Verifica termoigrometrica: Mese con massima condensa accumulata: **Marzo**
 Quantità di condensa ammissibile: **100** g/m²
 Q.tà massima di condensa durante l'anno: **2** g/m²
 L'evaporazione alla fine della stagione è: **Completa**

Grafico delle pressioni del mese di MARZO



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 03 Parete verde**

Codice struttura

M4

RISULTATI VERIFICA DI CRITICITA' DELL'UMIDITA' SUPERFICIALE

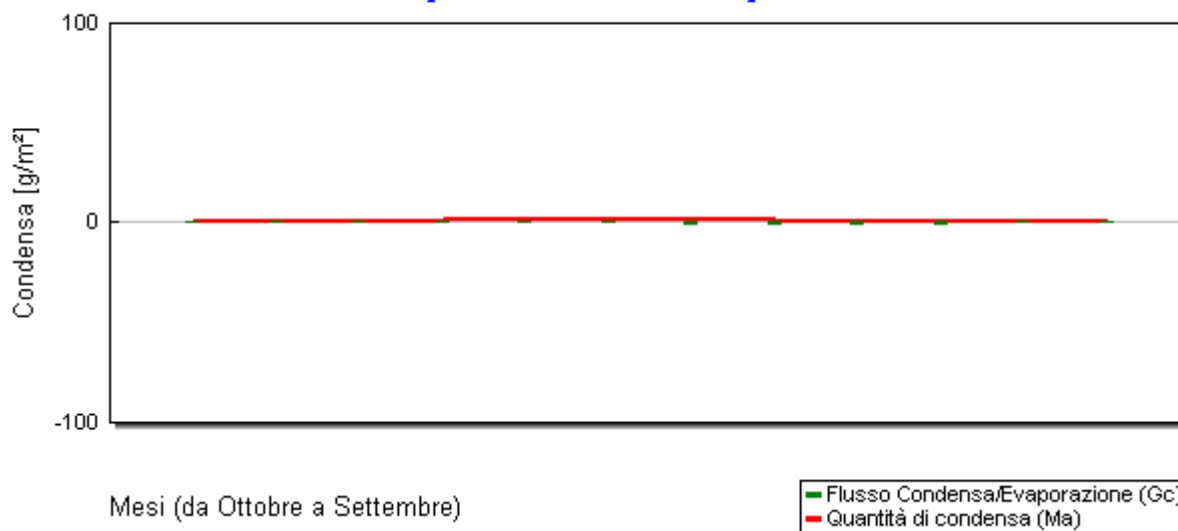
Mese	T _e °C	φ _e %	P _e Pa	n h ⁻¹	Δ p x 1.1 Pa	P _i Pa	P _{sat} (T _{si}) Pa	T ^{min} _{si} °C	T _i °C	f ^{min} _{Rsi} -
Ottobre	13,7	71,8%	1125	-----	394	1519	1899	16,7	20,0	0,474
Novembre	8,1	79,9%	862	-----	657	1519	1899	16,7	20,0	0,722
Dicembre	4,0	79,9%	650	-----	869	1519	1899	16,7	20,0	0,793
Gennaio	2,6	88,0%	648	-----	871	1519	1899	16,7	20,0	0,810
Febbraio	4,4	73,1%	611	-----	908	1519	1899	16,7	20,0	0,788
Marzo	8,4	66,8%	736	-----	783	1519	1899	16,7	20,0	0,715
Aprile	12,8	59,6%	881	-----	638	1519	1899	16,7	20,0	0,540

RISULTATI VERIFICA DELLA CONDENSA INTERSTIZIALE

Mese	T _e °C	φ _e %	T _i °C	φ _i %	g _c g/m ²	M _a g/m ²	Periodi	Stato
Ottobre	13,7	71,8%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Novembre	8,1	79,9%	20,0	65,0%	2,64 E-01	2,64 E-01	1	Condensa
Dicembre	4,0	79,9%	20,0	65,0%	4,72 E-01	7,36 E-01	1	Condensa
Gennaio	2,6	88,0%	20,0	65,0%	5,46 E-01	1	1	Condensa
Febbraio	4,4	73,1%	20,0	65,0%	4,40 E-01	2	1	Condensa
Marzo	8,4	66,8%	20,0	65,0%	2,13 E-01	2	1	Condensa
Aprile	12,8	59,6%	20,0	65,0%	-1,15 E-01	2	1	Essiccazione
Maggio	16,5	68,9%	18,0	65,0%	-5,30 E-01	1	1	Essiccazione
Giugno	20,8	62,7%	20,8	65,0%	-8,44 E-01	4,47 E-01	1	Essiccazione
Luglio	23,2	63,0%	23,2	65,0%	-4,47 E-01	0	2	Essiccazione
Agosto	22,7	63,8%	22,7	65,0%	0	0	1	Asciutto
Settembre	19,4	65,2%	19,4	65,0%	0	0	1	Asciutto

- T_i Temperatura dell'aria interna
- T_e Temperatura dell'aria esterna
- φ_i Umidità relativa dell'aria interna
- φ_e Umidità relativa dell'aria esterna
- Δp Diff. pressione parziale vapore
- P_e Pressione parziale del vapore superficiale esterna
- P_i Pressione parziale del vapore superficiale interna
- P_{sat}(T_{si}) Pressione sat. vapore superficiale interna
- T^{min}_{si} Temperatura superficiale interna minima
- f^{min}_{Rsi} Fattore di temperatura superficiale interna
- g_c Flusso di vapore condensato
- M_a Quantità di condensa accumulata
- Periodi Periodi del mese
- n Rinnovo d'aria

Flusso di vapore condensato e quantità di condensa



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 03 Parete verde**

Codice struttura

M4**VALORI CALCOLATI****Pressione parziale del vapore - P (Pa)**

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
Int.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
1	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
2	1424	1091	828	752	851	1113	1483	1871	2444	1834	1784	1465
3	1424	1091	828	752	851	1113	1483	1871	2444	1834	1784	1465
4	1424	1091	828	752	851	1113	1483	1871	2444	1834	1784	1465
5	1424	1091	828	752	850	1113	1483	1871	2445	1834	1784	1465
6	1424	1090	827	751	850	1112	1483	1871	2446	1834	1784	1465
7	1423	1086	820	743	843	1108	1482	1877	2454	1833	1784	1465
8	1423	1085	819	742	842	1108	1482	1877	2455	1833	1784	1465
9	1396	1065	804	734	821	1074	1427	1824	2372	1829	1782	1465
10	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469
Est.	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Pressione di saturazione del vapore - Psat (Pa)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2455	2842	2757	2252
Int.	2313	2292	2277	2272	2278	2293	2310	2058	2455	2842	2757	2252
1	2308	2283	2265	2259	2267	2285	2304	2057	2455	2842	2757	2252
2	2308	2283	2265	2259	2267	2285	2304	2057	2455	2842	2757	2252
3	2255	2184	2133	2116	2138	2188	2243	2045	2455	2842	2757	2252
4	2051	1824	1671	1622	1686	1835	2013	1999	2455	2842	2757	2252
5	1734	1317	1071	996	1093	1337	1660	1921	2455	2842	2757	2252
6	1726	1305	1057	983	1079	1325	1651	1919	2455	2842	2757	2252
7	1579	1096	830	753	853	1118	1490	1879	2455	2842	2757	2252
8	1571	1085	819	742	842	1108	1482	1877	2455	2842	2757	2252
9	1570	1083	817	740	840	1105	1480	1877	2455	2842	2757	2252
10	1570	1083	817	740	840	1105	1480	1877	2455	2842	2757	2252
Est.	1567	1080	813	736	836	1102	1477	1876	2455	2842	2757	2252

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Temperatura - T (°C)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
Int.	19,8	19,7	19,6	19,5	19,6	19,7	19,8	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
1	19,8	19,6	19,5	19,5	19,5	19,6	19,8	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
2	19,8	19,6	19,5	19,5	19,5	19,6	19,8	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
3	19,4	18,9	18,5	18,4	18,6	18,9	19,3	17,9	20,8	23,2	22,7	19,4
4	17,9	16,1	14,7	14,2	14,8	16,2	17,6	17,5	20,8	23,2	22,7	19,4
5	15,3	11,1	8,0	6,9	8,3	11,3	14,6	16,9	20,8	23,2	22,7	19,4
6	15,2	10,9	7,8	6,7	8,1	11,1	14,5	16,9	20,8	23,2	22,7	19,4
7	13,8	8,3	4,3	2,9	4,7	8,6	12,9	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
8	13,7	8,2	4,1	2,7	4,5	8,5	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
9	13,7	8,1	4,1	2,7	4,5	8,4	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
10	13,7	8,1	4,1	2,7	4,5	8,4	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
Est.	13,7	8,1	4,0	2,6	4,4	8,4	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

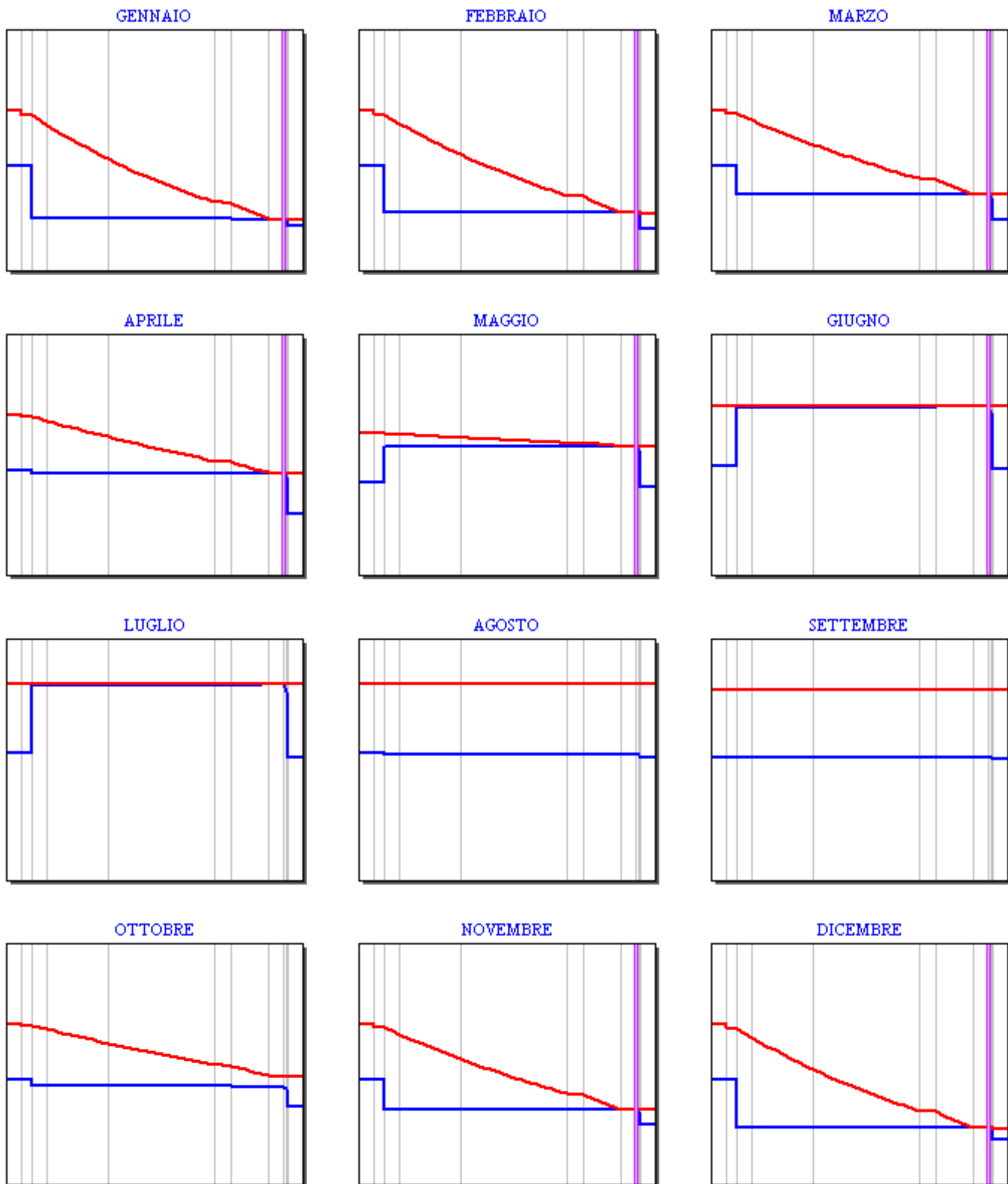
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO
GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)

Tipo di struttura: CO 03 Parete verde

Codice struttura

M4

GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)

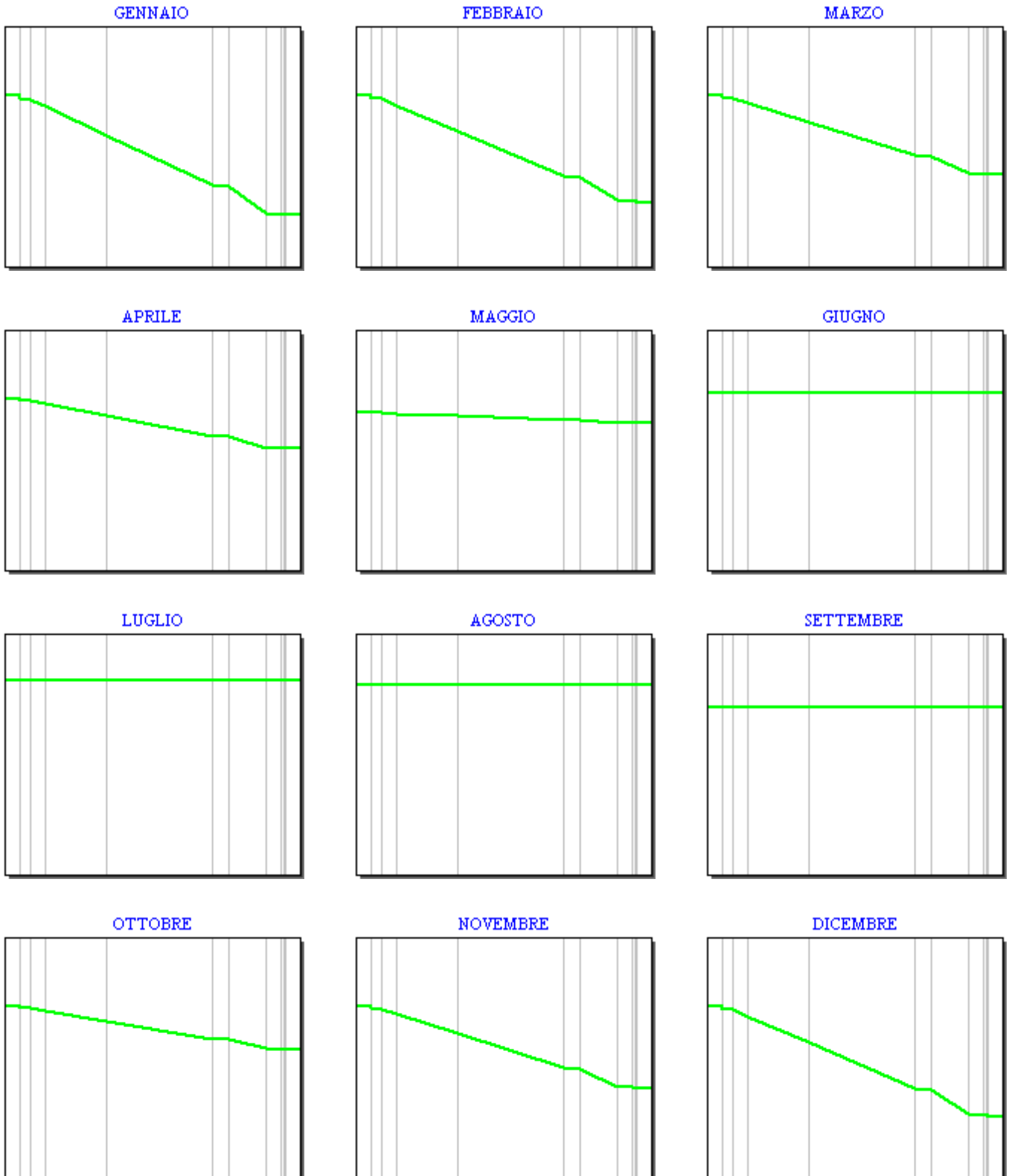


CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)

Tipo di struttura: **CO 03 Parete verde**

Codice struttura **M4**

GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO.

secondo UNI TS 11300-1 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **Porta**

Codice struttura

M5

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'interno verso l'esterno)	s [mm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	ρ [kg/m ³]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Legno di noce flusso perpendicolare alle fibre	50	0,170	3,400	600	3,333	3,333	0,294

Spessore totale [mm]	50	Conduttanza unitaria superficiale interna	7,692	Resistenza unitaria superficiale interna	0,130
Massa superficiale [kg/m ²]	30	Conduttanza unitaria superficiale esterna	16,115	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,062
Trasmittanza periodica [W/m ² K]	1,882	TRASMITTANZA TOTALE [W/m²K]	2,057	RESISTENZA TERMICA TOTALE [m²K/W]	0,486



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1454	2,6	648
Estiva (luglio)	23,2	1847	23,2	1790

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 0 [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a _____ [g/m²]
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a _____ [Pa]

Simbologia

s	Spessore dello strato	δa	Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%	Ti	Temperatura interna
λ	Conduttività	δu	Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%	Te	Temperatura esterna
C	Conduttanza	R	Resistenza termica dello strato	Pi	Pressione parziale interna
ρ	Massa volumica			Pe	Pressione parziale esterna

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **Porta**

Codice struttura

M5

N.	Descrizione	ρ [kg/m ³]	μ	m [%]	s [mm]	Calcolo per		POTENZA		ENERGIA	
						λ [W/mK]	R [m ² K/W]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]		
	Vento					m/s		3,800		1,900	
	Resistenza superficiale interna					m ² K/W		0,130		0,130	
	Resistenza superficiale esterna					m ² K/W		0,040		0,062	
	Maggiorazione isolante / non isolante					%		100% / 100%		100% / 100%	
1	Legno di noce flusso perpendicolare alle fibre	600	60	20	50	0,170	0,294	0,170	0,294		

Spessore totale **50** mm

R m²K/W

0,464

0,486

Massa superficiale **30** kg/m²

U W/m²K

2,155

2,057



CARATTERISTICHE TERMICHE DINAMICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 13786 - UNI 6946

Trasmittanza periodica **1,882** W/m²K

Fattore di attenuazione **0,915** -

Sfasamento dell'onda **-2,257** h

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **Porta**

Codice struttura

M5

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **-5,0 °C**

- T e UR esterne verifica termoigrometrica:
- T e UR variabili, medie mensili.
 - T fissa, media annuale ____ °C UR fissa pari a ____ %
 - T fissa, pari a ____ °C UR fissa pari a ____ %

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

- Classe concentrazione del vapore:
- Umidità relativa interna costante: **60,0% + 5%**
- Ricambio d'aria costante e produzione di vapore nota:
- Ricambio d'aria variabile e produzione vapore nota:

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **66,667** 10^{-12} kg/sm² Pa

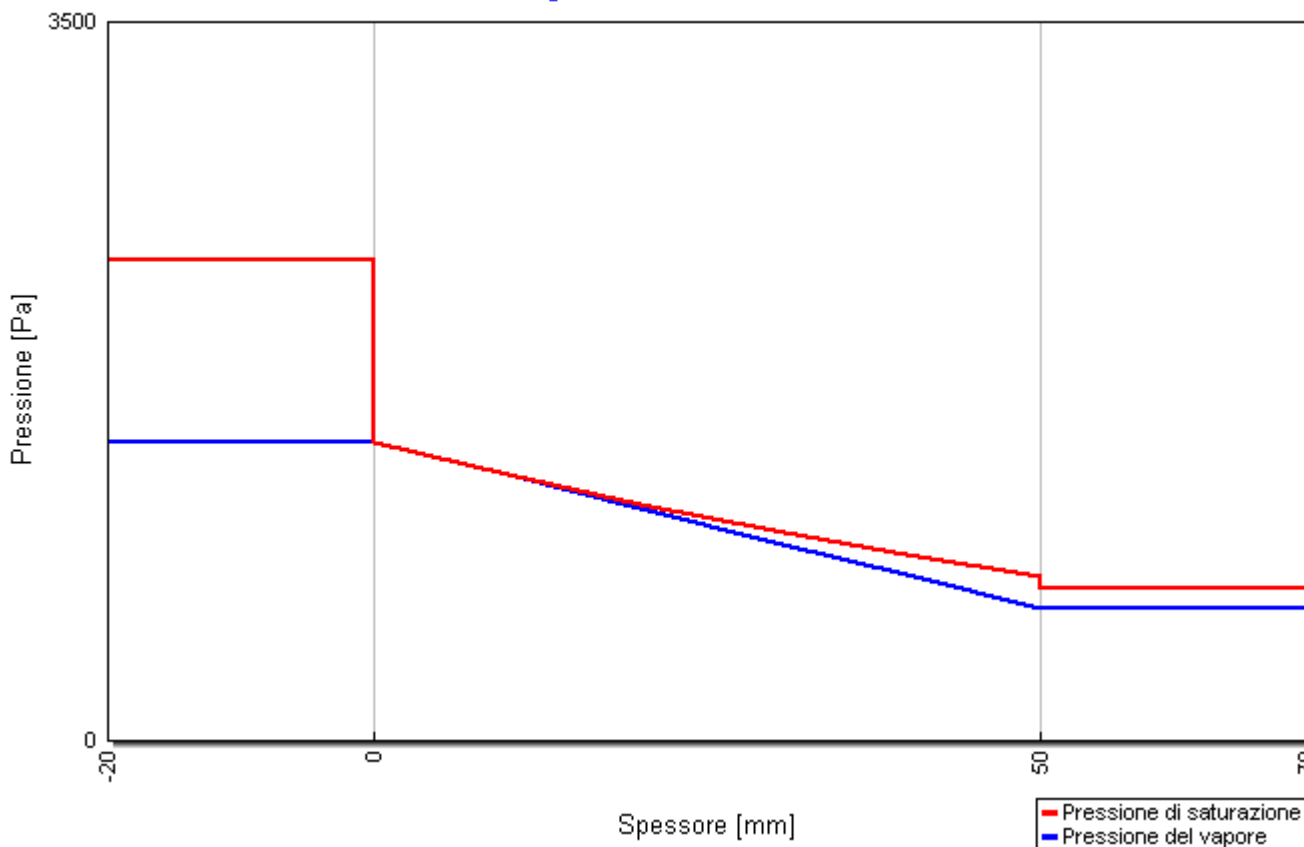
Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,040** m²K/W

Verifica criticità di condensa superficiale: **Negativa** per UR_{sup. amm} **80,0%**
 Mese critico **Gennaio** f_{Rsi}^{max} **0,810** ≤ f_{Rsi} **0,572**

Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**

Verifica termoigrometrica: Nessuna condensazione

Grafico delle pressioni del mese di GENNAIO



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **Porta**

Codice struttura

M5**RISULTATI VERIFICA DI CRITICITA' DELL'UMIDITA' SUPERFICIALE**

Mese	T_e °C	φ_e %	P_e Pa	n h^{-1}	$\Delta p \times 1.1$ Pa	P_i Pa	$P_{sat}(T_{si})$ Pa	T_{si}^{min} °C	T_i °C	f_{Rsi}^{min} -
Ottobre	13,7	71,8%	1125	-----	394	1519	1899	16,7	20,0	0,474
Novembre	8,1	79,9%	862	-----	657	1519	1899	16,7	20,0	0,722
Dicembre	4,0	79,9%	650	-----	862	1512	1890	16,7	20,0	0,793
Gennaio	2,6	88,0%	648	-----	806	1454	1817	16,7	20,0	0,810
Febbraio	4,4	73,1%	611	-----	908	1519	1899	16,7	20,0	0,788
Marzo	8,4	66,8%	736	-----	783	1519	1899	16,7	20,0	0,715
Aprile	12,8	59,6%	881	-----	638	1519	1899	16,7	20,0	0,540

RISULTATI VERIFICA DELLA CONDENSA INTERSTIZIALE

Mese	T_e °C	φ_e %	T_i °C	φ_i %	g_c g/m ²	M_a g/m ²	Periodi	Stato
Ottobre	13,7	71,8%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Novembre	8,1	79,9%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Dicembre	4,0	79,9%	20,0	64,7%	0	0	1	Asciutto
Gennaio	2,6	88,0%	20,0	62,2%	0	0	1	Asciutto
Febbraio	4,4	73,1%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Marzo	8,4	66,8%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Aprile	12,8	59,6%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Maggio	16,5	68,9%	18,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Giugno	20,8	62,7%	20,8	65,0%	0	0	1	Asciutto
Luglio	23,2	63,0%	23,2	65,0%	0	0	1	Asciutto
Agosto	22,7	63,8%	22,7	65,0%	0	0	1	Asciutto
Settembre	19,4	65,2%	19,4	65,0%	0	0	1	Asciutto

 T_i Temperatura dell'aria interna P_e Pressione parziale del vapore superficiale esterna g_c Flusso di vapore condensato T_e Temperatura dell'aria esterna P_i Pressione parziale del vapore superficiale interna M_a Quantità di condensa accumulata φ_i Umidità relativa dell'aria interna $P_{sat}(T_{si})$ Pressione sat. vapore superficiale interna

Periodi Periodi del mese

 φ_e Umidità relativa dell'aria esterna T_{si}^{min} Temperatura superficiale interna minima n Rinnovo d'aria Δp Diff. pressione parziale vapore f_{Rsi}^{min} Fattore di temperatura superficiale interna

Nessuna formazione di condensa interstiziale

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **Porta**

Codice struttura

M5**VALORI CALCOLATI****Pressione parziale del vapore - P (Pa)**

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	1519	1519	1512	1454	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
Int.	1519	1519	1512	1454	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
1	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469
Est.	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Pressione di saturazione del vapore - Psat (Pa)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2455	2842	2757	2252
Int.	1974	1694	1512	1454	1529	1708	1927	1981	2455	2842	2757	2252
1	1611	1141	878	801	901	1163	1526	1888	2455	2842	2757	2252
Est.	1567	1080	813	736	836	1102	1477	1876	2455	2842	2757	2252

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Temperatura - T (°C)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
Int.	17,3	14,9	13,2	12,6	13,3	15,0	16,9	17,4	20,8	23,2	22,7	19,4
1	14,1	8,9	5,1	3,8	5,5	9,2	13,3	16,6	20,8	23,2	22,7	19,4
Est.	13,7	8,1	4,0	2,6	4,4	8,4	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

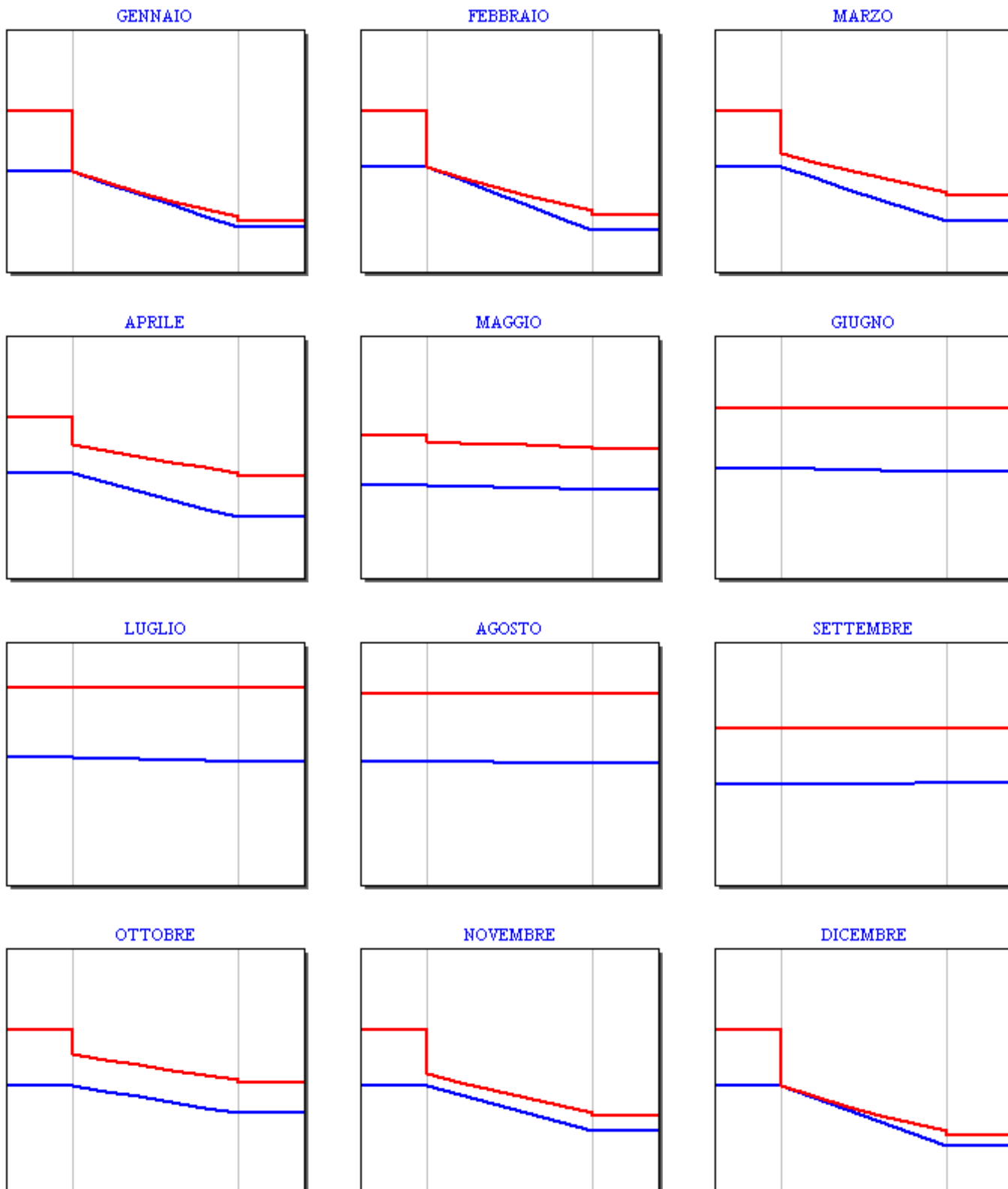
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)

Tipo di struttura: **Porta**

Codice struttura

M5

GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)



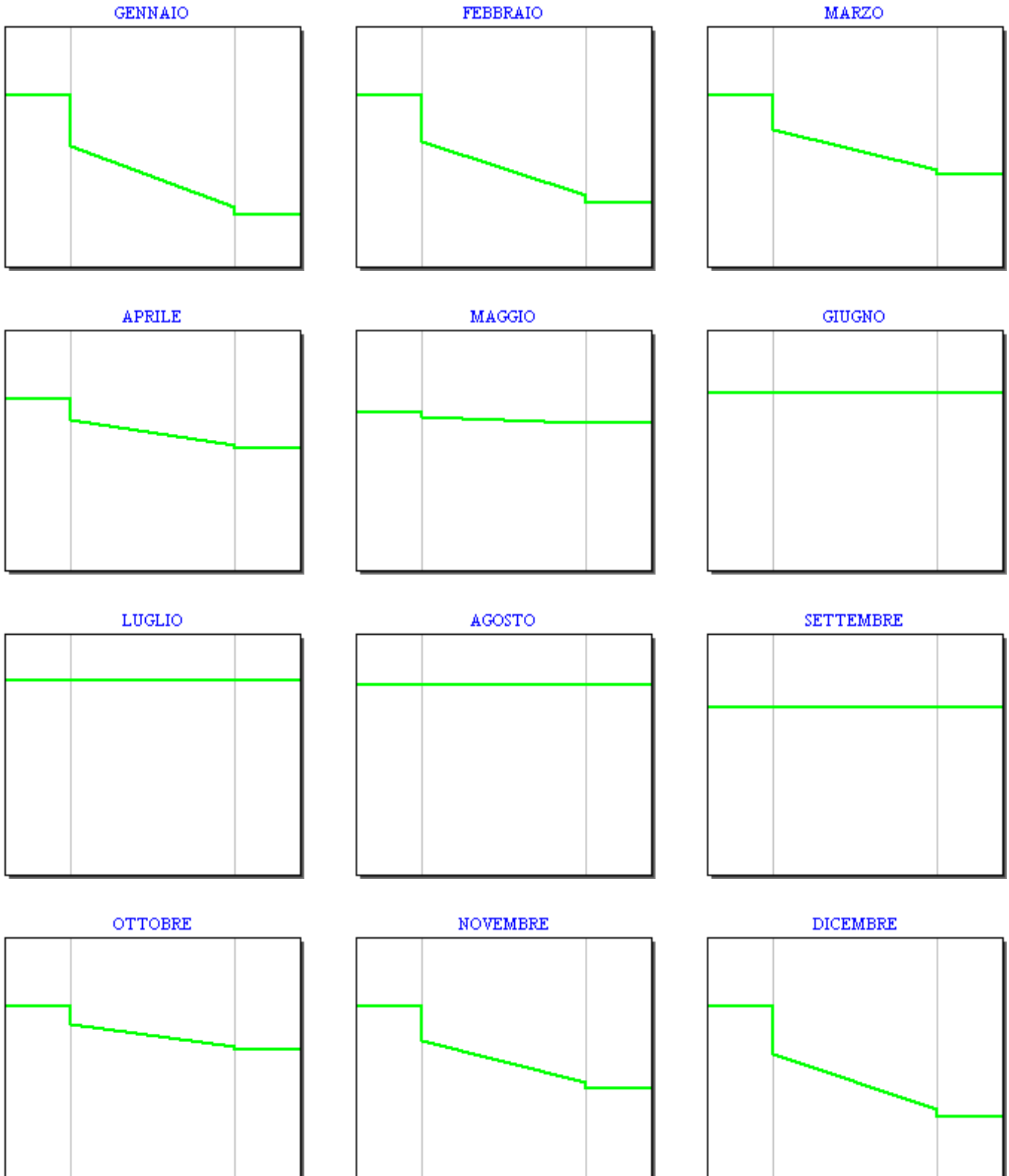
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
 GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)

Tipo di struttura: **Porta**

Codice struttura

M5

GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO.

secondo UNI TS 11300-1 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

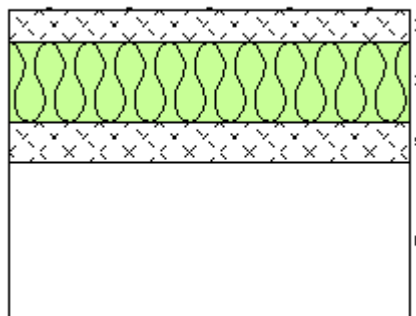
Tipo di struttura: **CO 01 Chiusura controterra**

Codice struttura

P1

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'alto verso il basso)	s [mm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	ρ [kg/m ³]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Linoleum	2	0,170	85,000	1200	0,200	0,250	0,012
2	C.l.s. di argilla espansa sottofondi non aerati	40	0,320	8,000	600	33,333	50,000	0,125
3	Poliuretano espanso in fabbrica fra lamiere sigillate	100	0,024	0,240	40	1,429	1,429	4,167
4	Barriera vapore in fogli di P.V.C.	0,2	0,160	800	1400	0,020	0,020	0,001
5	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	50	1,490	29,800	2200	2,857	2,857	0,034
6	Aria fortemente ventilata	200	-	-	0	-	-	-

Spessore totale [mm]	392	Conduttanza unitaria superficiale interna	5,882	Resistenza unitaria superficiale interna	0,170
Massa superficiale [kg/m ²]	141	Conduttanza unitaria superficiale esterna	5,882	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,170
Trasmittanza periodica [W/m ² K]	0,121	TRASMITTANZA TOTALE [W/m²K]	0,214	RESISTENZA TERMICA TOTALE [m²K/W]	4,673



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	13,1	1507
Estiva (luglio)	23,2	1847	13,1	1507

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a _____ [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 5 [g/m²]
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 767 [Pa]

Simbologia

s	Spessore dello strato	δa	Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%	Ti	Temperatura interna
λ	Conduttività	δu	Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%	Te	Temperatura esterna
C	Conduttanza	R	Resistenza termica dello strato	Pi	Pressione parziale interna
ρ	Massa volumica			Pe	Pressione parziale esterna

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

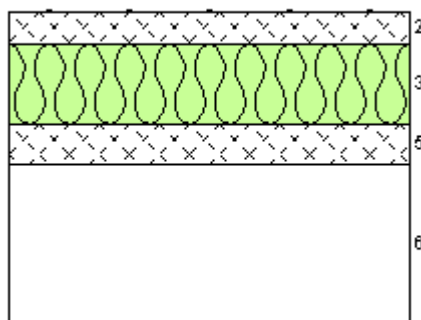
Tipo di struttura: **CO 01 Chiusura controterra**

Codice struttura

P1

N.	Descrizione	ρ [kg/m ³]	μ	m [%]	s [mm]	Calcolo per		POTENZA	ENERGIA
						λ [W/mK]	R [m ² K/W]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
	Vento					m/s		3,800	1,900
	Resistenza superficiale interna					m ² K/W		0,170	0,170
	Resistenza superficiale esterna					m ² K/W		0,170	0,170
	Maggiorazione isolante / non isolante					%		100% / 100%	100% / 100%
1	Linoleum	1200	1000	0	2			0,170	0,012
2	C.I.s. di argilla espansa sottofondi non aerati	600	6	100	40			0,320	0,125
3	Poliuretano espanso in fabbrica fra lamiere sigillate	40	140	15	100			0,024	4,167
4	Barriera vapore in fogli di P.V.C.	1400	10000	0	0,2			0,160	0,001
5	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	2200	70	20	50			1,490	0,034
6	Aria fortemente ventilata	0	-	0	200			-	-

Spessore totale	392 mm	R	m²K/W	4,678	4,678
Massa superficiale	141 kg/m ²	U	W/m²K	0,214	0,214



CARATTERISTICHE TERMICHE DINAMICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 13786 - UNI 6946

Trasmittanza periodica	0,121 W/m ² K
Fattore di attenuazione	0,567 -
Sfasamento dell'onda	-6,200 h

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 01 Chiusura controterra**

Codice struttura

P1

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **-5,0 °C**

T e UR esterne verifica termoigrometrica:

- T e UR variabili, medie mensili.
- T fissa, media annuale 13,10 °C UR fissa pari a 100,00 %
- T fissa, pari a ____ °C UR fissa pari a ____ %

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

Classe concentrazione del vapore: Umidità relativa interna costante: **60,0% + 5%**

Ricambio d'aria costante e produzione di vapore nota: Ricambio d'aria variabile e produzione vapore nota:

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **9,200** 10^{-12} kg/sm² Pa

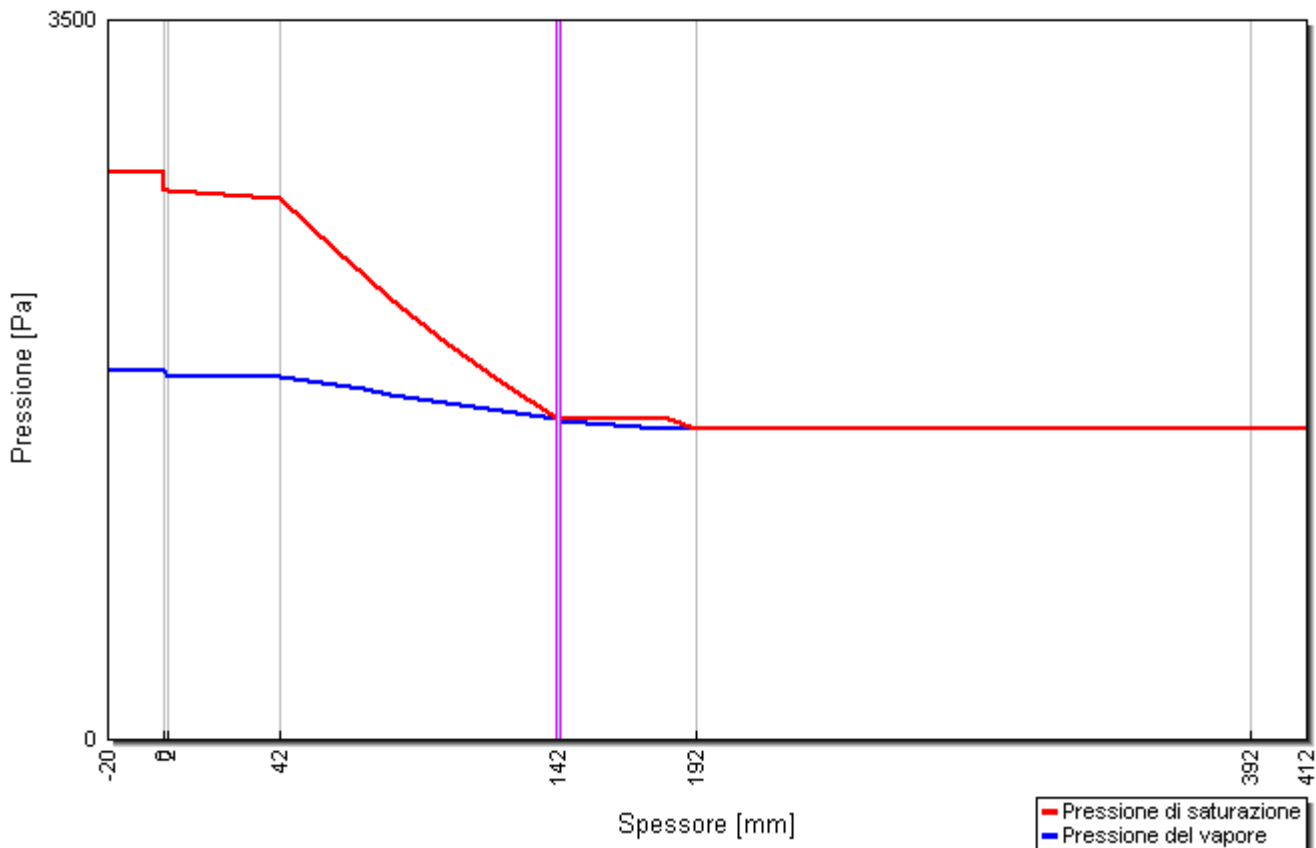
Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,250** m²K/W

Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva** per UR_{sup. amm} **80,0%**
 Mese critico **Ottobre** f^{max}_{Rsi} **0,520** ≤ f_{Rsi} **0,948**

Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**
 Mese con massima condensa accumulata: **Agosto**

Verifica termoigrometrica:
 Quantità di condensa ammissibile: **80** g/m²
 Q.tà massima di condensa durante l'anno: **5** g/m²
 L'evaporazione alla fine della stagione è: **Completa**

Grafico delle pressioni del mese di AGOSTO



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 01 Chiusura controterra**

Codice struttura

P1

RISULTATI VERIFICA DI CRITICITA' DELL'UMIDITA' SUPERFICIALE

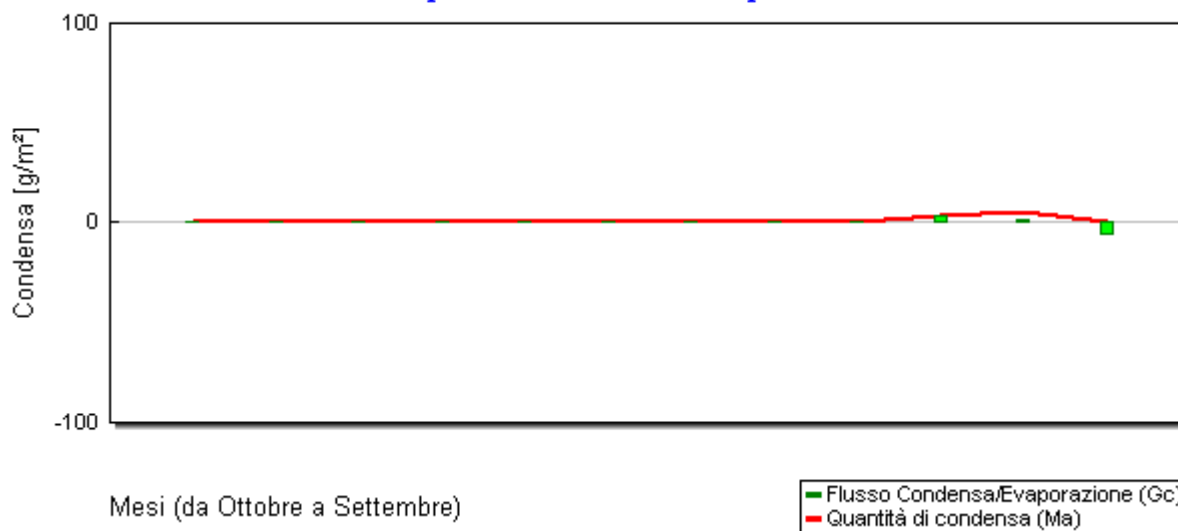
Mese	T _e °C	φ _e %	P _e Pa	n h ⁻¹	Δ p x 1.1 Pa	P _i Pa	P _{sat} (T _{si}) Pa	T _{si} ^{min} °C	T _i °C	f ^{min} _{Rsi} -
Ottobre	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520
Novembre	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520
Dicembre	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520
Gennaio	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520
Febbraio	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520
Marzo	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520
Aprile	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520

RISULTATI VERIFICA DELLA CONDENSA INTERSTIZIALE

Mese	T _e °C	φ _e %	T _i °C	φ _i %	g _c g/m ²	M _a g/m ²	Periodi	Stato
Ottobre	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Novembre	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Dicembre	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Gennaio	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Febbraio	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Marzo	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Aprile	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Maggio	13,1	100,0%	18,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Giugno	13,1	100,0%	20,8	65,0%	0	0	1	Asciutto
Luglio	13,1	100,0%	23,2	65,0%	3	3	1	Condensa
Agosto	13,1	100,0%	22,7	65,0%	2	5	1	Condensa
Settembre	13,1	100,0%	19,4	65,0%	-5	0	2	Essiccazione

- T_i Temperatura dell'aria interna
- T_e Temperatura dell'aria esterna
- φ_i Umidità relativa dell'aria interna
- φ_e Umidità relativa dell'aria esterna
- Δp Diff. pressione parziale vapore
- P_e Pressione parziale del vapore superficiale esterna
- P_i Pressione parziale del vapore superficiale interna
- P_{sat}(T_{si}) Pressione sat. vapore superficiale interna
- T_{si}^{min} Temperatura superficiale interna minima
- f_{Rsi}^{min} Fattore di temperatura superficiale interna
- g_c Flusso di vapore condensato
- M_a Quantità di condensa accumulata
- Periodi Periodi del mese
- n Rinnovo d'aria

Flusso di vapore condensato e quantità di condensa



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 01 Chiusura controterra**

Codice struttura

P1**VALORI CALCOLATI****Pressione parziale del vapore - P (Pa)**

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
Int.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
1	1518	1518	1518	1518	1518	1518	1518	1356	1588	1813	1764	1467
2	1518	1518	1518	1518	1518	1518	1518	1358	1587	1809	1761	1468
3	1510	1510	1510	1510	1510	1510	1510	1465	1529	1566	1563	1496
4	1509	1509	1509	1509	1509	1509	1509	1480	1521	1545	1543	1500
5	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507
6	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507
Est.	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Pressione di saturazione del vapore - Psat (Pa)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2455	2842	2757	2252
Int.	2286	2286	2286	2286	2286	2286	2286	2030	2396	2754	2675	2206
1	2283	2283	2283	2283	2283	2283	2283	2029	2393	2750	2672	2204
2	2258	2258	2258	2258	2258	2258	2258	2013	2364	2706	2632	2182
3	1547	1547	1547	1547	1547	1547	1547	1535	1552	1566	1563	1544
4	1547	1547	1547	1547	1547	1547	1547	1535	1552	1566	1563	1544
5	1542	1542	1542	1542	1542	1542	1542	1532	1546	1559	1556	1539
6	1542	1542	1542	1542	1542	1542	1542	1532	1546	1559	1556	1539
Est.	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Temperatura - T (°C)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
Int.	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	17,7	20,4	22,7	22,2	19,1
1	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	17,7	20,4	22,7	22,2	19,1
2	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	17,6	20,2	22,4	21,9	18,9
3	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,4	13,6	13,7	13,7	13,5
4	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,4	13,6	13,7	13,7	13,5
5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,4	13,5	13,6	13,6	13,4
6	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,4	13,5	13,6	13,6	13,4
Est.	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

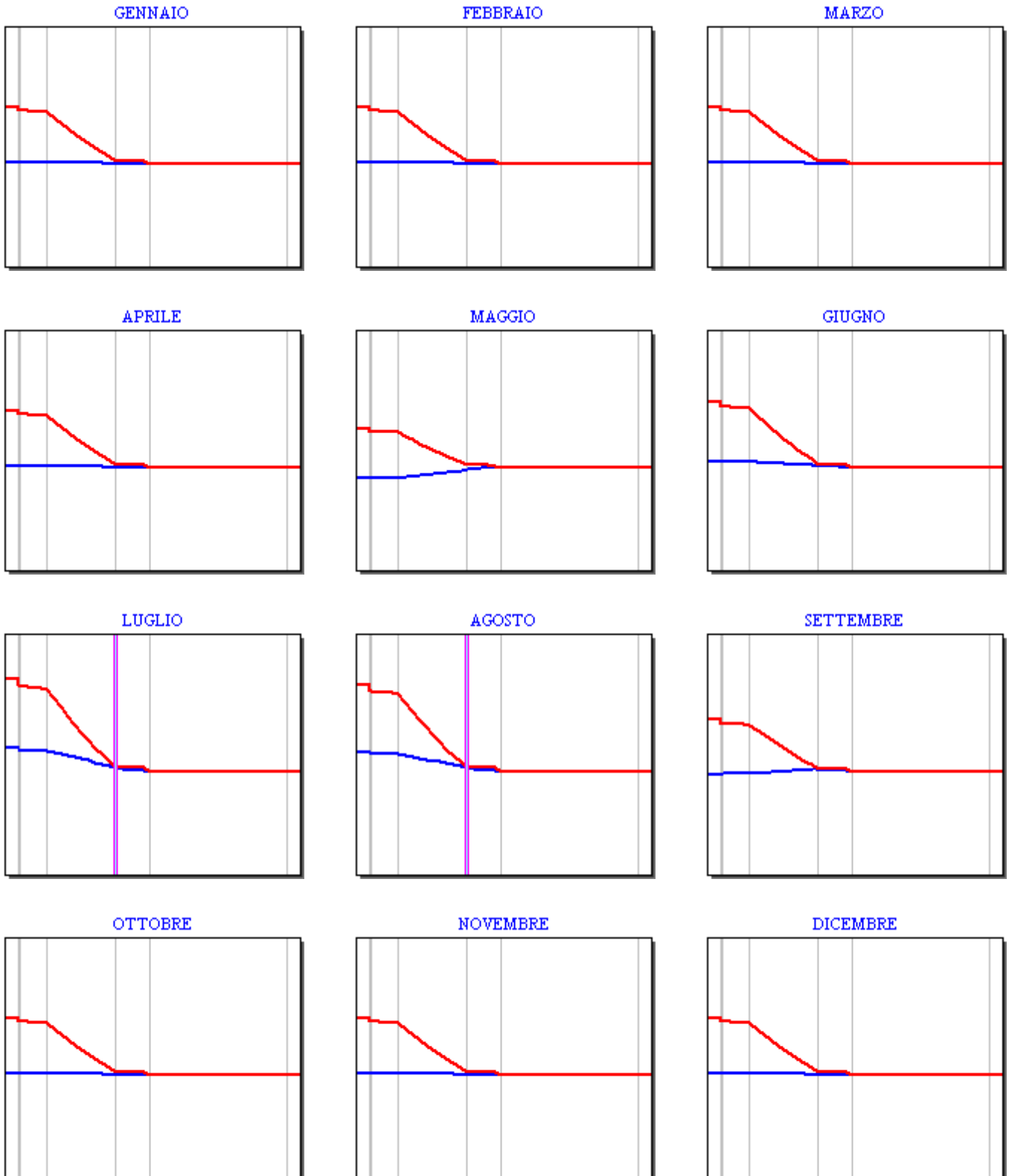
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
 GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)

Tipo di struttura: **CO 01 Chiusura controterra**

Codice struttura

P1

GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)

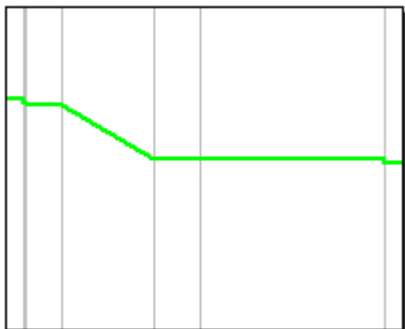
Tipo di struttura: **CO 01 Chiusura controterra**

Codice struttura

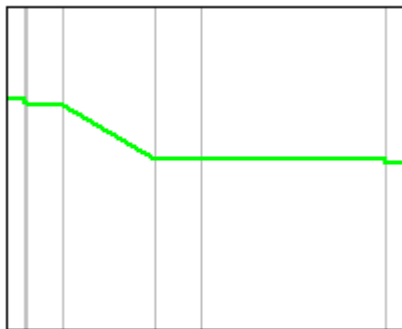
P1

GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)

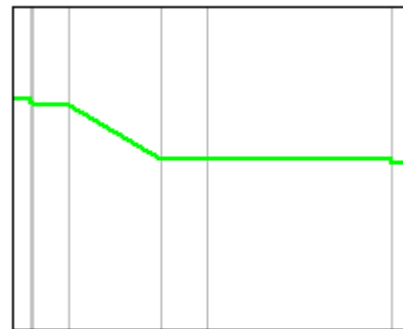
GENNAIO



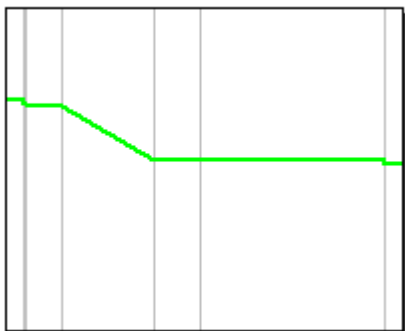
FEBBRAIO



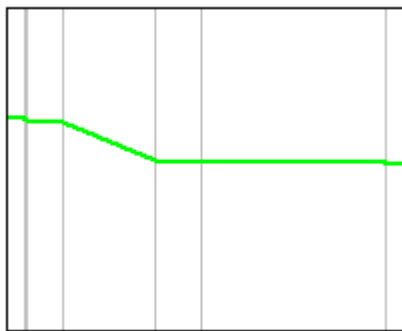
MARZO



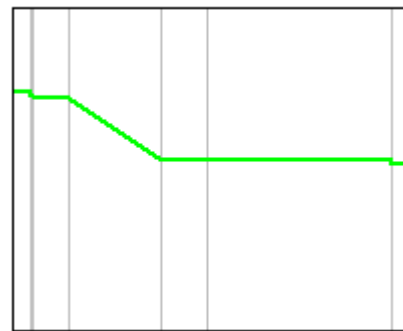
APRILE



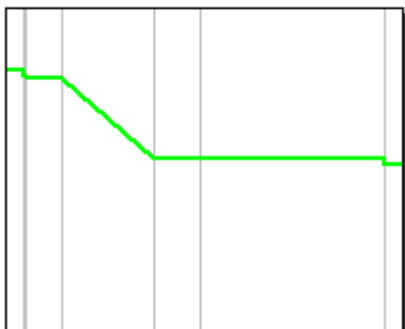
MAGGIO



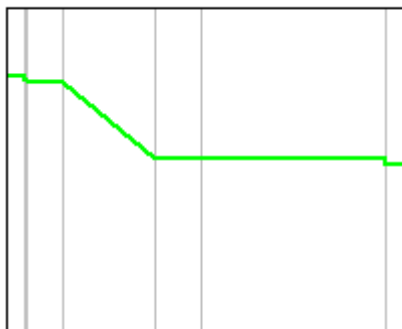
GIUGNO



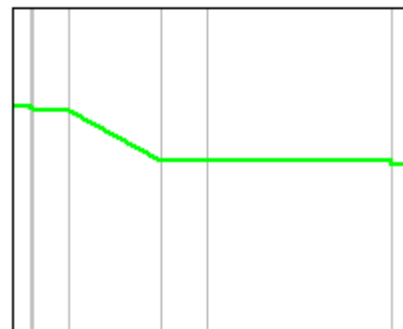
LUGLIO



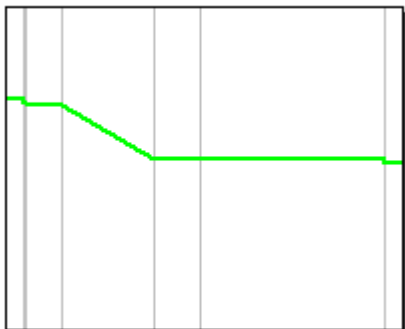
AGOSTO



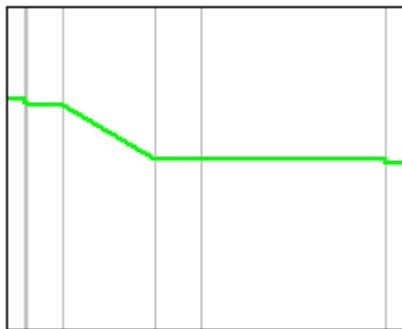
SETTEMBRE



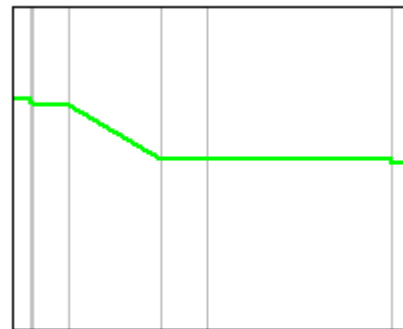
OTTOBRE



NOVEMBRE



DICEMBRE



DATI PER IL CALCOLO DI STRUTTURA CONTROTERRA.

secondo UNI EN ISO 13370

Tipo di struttura: **CO 01 Chiusura controterra**

Codice struttura

P1**Piano interrato**

Area del pavimento	493,00	m ²
Perimetro disperdente del pavimento	165,00	m
Spessore pareti perimetrali esterne	0,502	m
Conduttività termica del terreno	2,00	W/mK
Profondità interramento	4,000	m
Codice parete controterra	M1	
- Trasm.U Potenza (controterra)	0,111	W/m ² K
- Trasm.U Energia (controterra)	0,111	W/m ² K
- Trasm.UNI 10344 (controterra)		W/m ² K

Trasmittanza pavimento

Trasm.U Potenza (controterra)	0,137	W/m ² K
Trasm.U Energia (controterra)	0,137	W/m ² K
Trasm.UNI 10344 (controterra)		W/m ² K

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO.

secondo UNI TS 11300-1 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

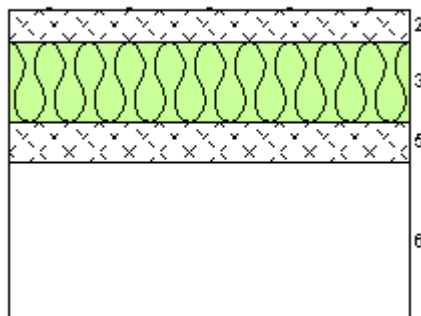
Tipo di struttura: **CO01 Chiusura controterra NON INTERR**

Codice struttura

P2

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'alto verso il basso)	s [mm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	ρ [kg/m ³]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Linoleum	2	0,170	85,000	1200	0,200	0,250	0,012
2	C.l.s. di argilla espansa sottofondi non aerati	40	0,320	8,000	600	33,333	50,000	0,125
3	Poliuretano espanso in fabbrica fra lamiere sigillate	100	0,024	0,240	40	1,429	1,429	4,167
4	Barriera vapore in fogli di P.V.C.	0,2	0,160	800	1400	0,020	0,020	0,001
5	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	50	1,490	29,800	2200	2,857	2,857	0,034
6	Aria fortemente ventilata	200	-	-	0	-	-	-

Spessore totale [mm]	392	Conduttanza unitaria superficiale interna	5,882	Resistenza unitaria superficiale interna	0,170
Massa superficiale [kg/m ²]	141	Conduttanza unitaria superficiale esterna	5,882	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,170
Trasmittanza periodica [W/m ² K]	0,121	TRASMITTANZA TOTALE [W/m²K]	0,214	RESISTENZA TERMICA TOTALE [m²K/W]	4,673



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	13,1	1507
Estiva (luglio)	23,2	1847	13,1	1507

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a _____ [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 5 [g/m²]. Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 767 [Pa]

Simbologia

s	Spessore dello strato	δa	Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%	Ti	Temperatura interna
λ	Conduttività	δu	Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%	Te	Temperatura esterna
C	Conduttanza	R	Resistenza termica dello strato	Pi	Pressione parziale interna
ρ	Massa volumica			Pe	Pressione parziale esterna

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

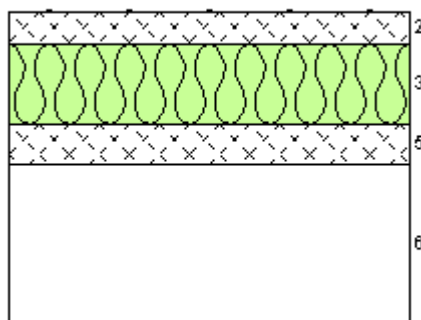
Tipo di struttura: **CO01 Chiusura controterra NON INTERR**

Codice struttura

P2

N.	Descrizione	ρ [kg/m ³]	μ	m [%]	s [mm]	Calcolo per		POTENZA		ENERGIA	
						λ [W/mK]	R [m ² K/W]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]		
	Vento					m/s		3,800		1,900	
	Resistenza superficiale interna					m ² K/W		0,170		0,170	
	Resistenza superficiale esterna					m ² K/W		0,170		0,170	
	Maggiorazione isolante / non isolante					%		100% / 100%		100% / 100%	
1	Linoleum	1200	1000	0	2	0,170	0,012	0,170	0,012	0,170	0,012
2	C.I.s. di argilla espansa sottofondi non aerati	600	6	100	40	0,320	0,125	0,320	0,125	0,320	0,125
3	Poliuretano espanso in fabbrica fra lamiere sigillate	40	140	15	100	0,024	4,167	0,024	4,167	0,024	4,167
4	Barriera vapore in fogli di P.V.C.	1400	10000	0	0,2	0,160	0,001	0,160	0,001	0,160	0,001
5	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	2200	70	20	50	1,490	0,034	1,490	0,034	1,490	0,034
6	Aria fortemente ventilata	0	-	0	200	-	-	-	-	-	-

Spessore totale	392 mm	R	m²K/W	4,678	4,678
Massa superficiale	141 kg/m ²	U	W/m²K	0,214	0,214



CARATTERISTICHE TERMICHE DINAMICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 13786 - UNI 6946

Trasmittanza periodica	0,121 W/m ² K
Fattore di attenuazione	0,567 -
Sfasamento dell'onda	-6,200 h

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO01 Chiusura controterra NON INTERR**

Codice struttura

P2

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **-5,0 °C**

T e UR esterne verifica termoigrometrica:

- T e UR variabili, medie mensili.
- T fissa, media annuale 13,10 °C UR fissa pari a 100,00 %
- T fissa, pari a ____ °C UR fissa pari a ____ %

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

Classe concentrazione del vapore: Umidità relativa interna costante: **60,0% + 5%**

Ricambio d'aria costante e produzione di vapore nota: Ricambio d'aria variabile e produzione vapore nota:

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **9,200** 10^{-12} kg/sm² Pa

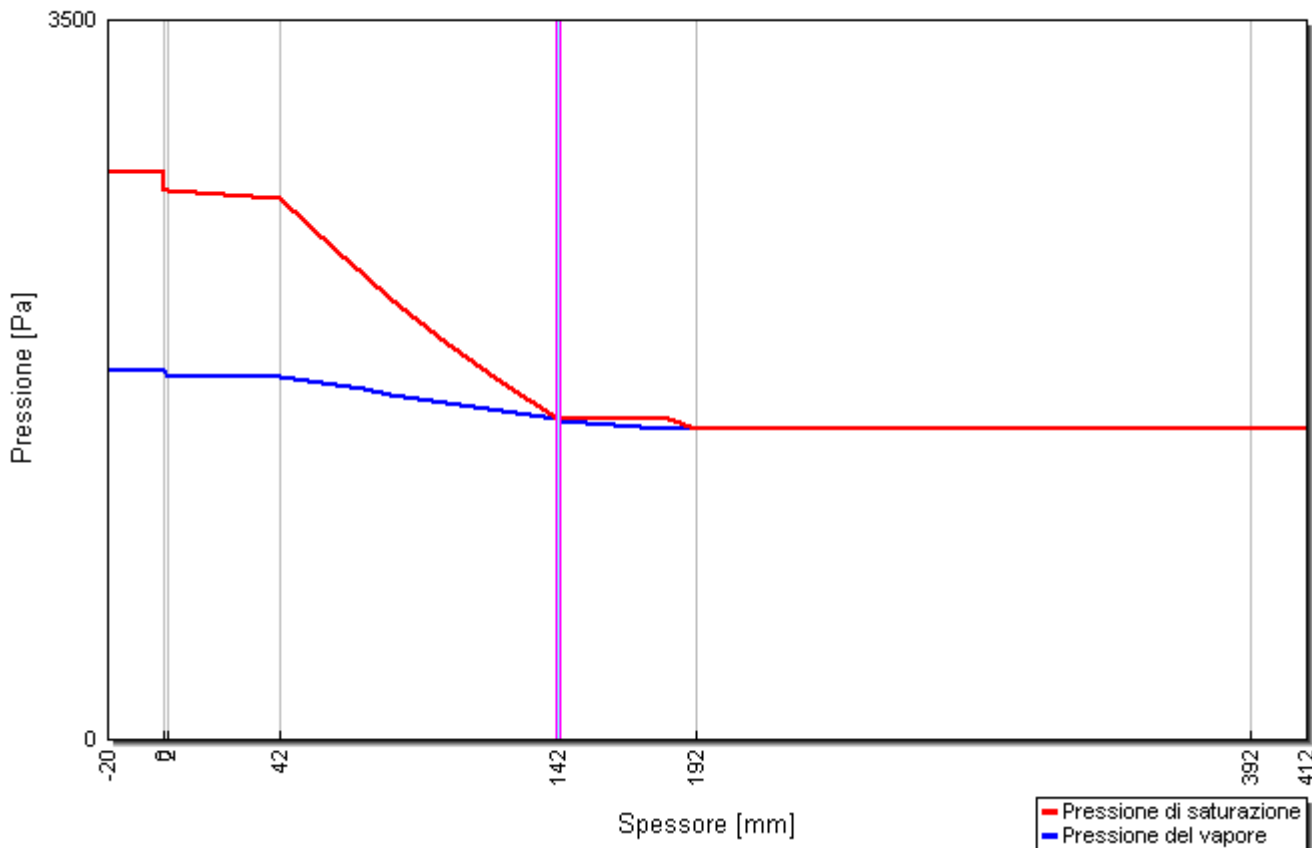
Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,250** m²K/W

Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva** per UR_{sup. amm} **80,0%**
 Mese critico **Ottobre** f^{max}_{Rsi} **0,520** ≤ f_{Rsi} **0,948**

Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**
 Mese con massima condensa accumulata: **Agosto**

Verifica termoigrometrica:
 Quantità di condensa ammissibile: **80** g/m²
 Q.tà massima di condensa durante l'anno: **5** g/m²
 L'evaporazione alla fine della stagione è: **Completa**

Grafico delle pressioni del mese di AGOSTO



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO01 Chiusura controterra NON INTERR**

Codice struttura

P2

RISULTATI VERIFICA DI CRITICITA' DELL'UMIDITA' SUPERFICIALE

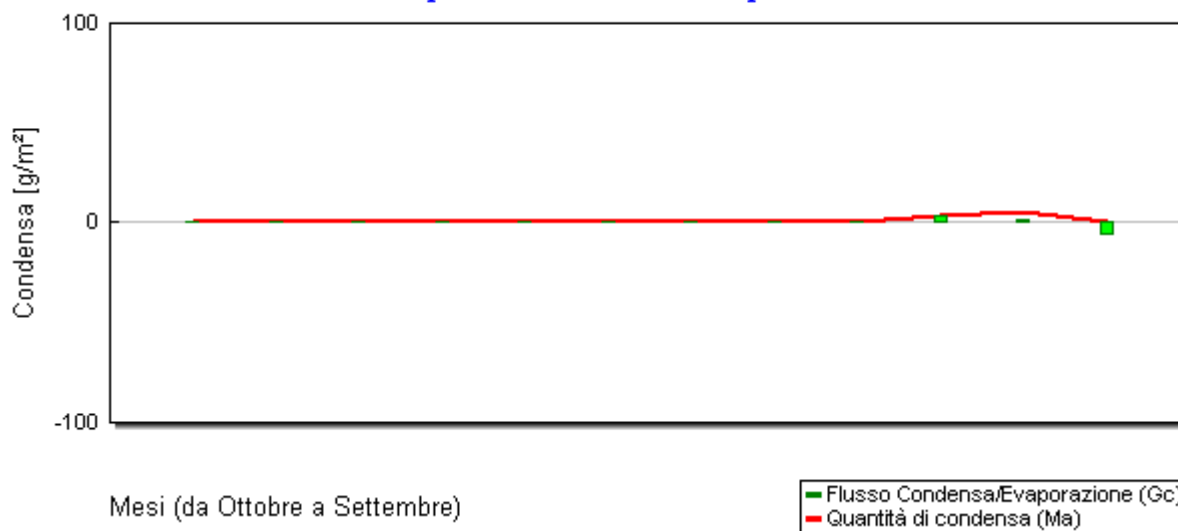
Mese	T _e °C	φ _e %	P _e Pa	n h ⁻¹	Δ p x 1.1 Pa	P _i Pa	P _{sat} (T _{si}) Pa	T ^{min} _{si} °C	T _i °C	f ^{min} _{Rsi} -
Ottobre	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520
Novembre	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520
Dicembre	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520
Gennaio	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520
Febbraio	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520
Marzo	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520
Aprile	13,1	100,0%	1507	-----	12	1519	1899	16,7	20,0	0,520

RISULTATI VERIFICA DELLA CONDENSA INTERSTIZIALE

Mese	T _e °C	φ _e %	T _i °C	φ _i %	g _c g/m ²	M _a g/m ²	Periodi	Stato
Ottobre	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Novembre	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Dicembre	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Gennaio	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Febbraio	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Marzo	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Aprile	13,1	100,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Maggio	13,1	100,0%	18,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Giugno	13,1	100,0%	20,8	65,0%	0	0	1	Asciutto
Luglio	13,1	100,0%	23,2	65,0%	3	3	1	Condensa
Agosto	13,1	100,0%	22,7	65,0%	2	5	1	Condensa
Settembre	13,1	100,0%	19,4	65,0%	-5	0	2	Essiccazione

- T_i Temperatura dell'aria interna
- T_e Temperatura dell'aria esterna
- φ_i Umidità relativa dell'aria interna
- φ_e Umidità relativa dell'aria esterna
- Δp Diff. pressione parziale vapore
- P_e Pressione parziale del vapore superficiale esterna
- P_i Pressione parziale del vapore superficiale interna
- P_{sat}(T_{si}) Pressione sat. vapore superficiale interna
- T^{min}_{si} Temperatura superficiale interna minima
- f^{min}_{Rsi} Fattore di temperatura superficiale interna
- g_c Flusso di vapore condensato
- M_a Quantità di condensa accumulata
- Periodi Periodi del mese
- n Rinnovo d'aria

Flusso di vapore condensato e quantità di condensa



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO01 Chiusura controterra NON INTERR**

Codice struttura

P2**VALORI CALCOLATI****Pressione parziale del vapore - P (Pa)**

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
Int.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
1	1518	1518	1518	1518	1518	1518	1518	1356	1588	1813	1764	1467
2	1518	1518	1518	1518	1518	1518	1518	1358	1587	1809	1761	1468
3	1510	1510	1510	1510	1510	1510	1510	1465	1529	1566	1563	1496
4	1509	1509	1509	1509	1509	1509	1509	1480	1521	1545	1543	1500
5	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507
6	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507
Est.	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Pressione di saturazione del vapore - Psat (Pa)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2455	2842	2757	2252
Int.	2286	2286	2286	2286	2286	2286	2286	2030	2396	2754	2675	2206
1	2283	2283	2283	2283	2283	2283	2283	2029	2393	2750	2672	2204
2	2258	2258	2258	2258	2258	2258	2258	2013	2364	2706	2632	2182
3	1547	1547	1547	1547	1547	1547	1547	1535	1552	1566	1563	1544
4	1547	1547	1547	1547	1547	1547	1547	1535	1552	1566	1563	1544
5	1542	1542	1542	1542	1542	1542	1542	1532	1546	1559	1556	1539
6	1542	1542	1542	1542	1542	1542	1542	1532	1546	1559	1556	1539
Est.	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Temperatura - T (°C)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
Int.	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	17,7	20,4	22,7	22,2	19,1
1	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	17,7	20,4	22,7	22,2	19,1
2	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	17,6	20,2	22,4	21,9	18,9
3	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,4	13,6	13,7	13,7	13,5
4	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,4	13,6	13,7	13,7	13,5
5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,4	13,5	13,6	13,6	13,4
6	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,4	13,5	13,6	13,6	13,4
Est.	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

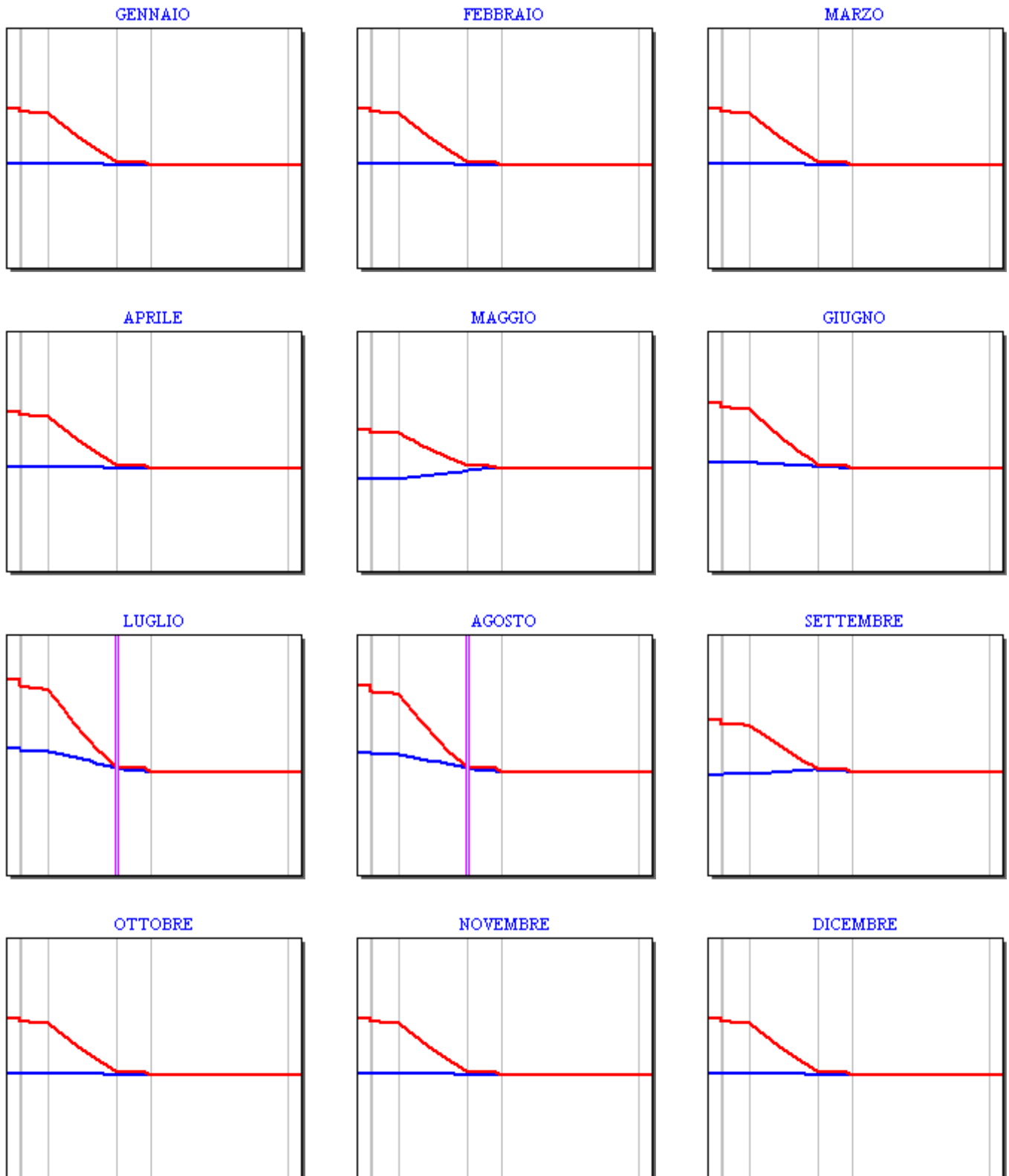
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
 GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)

Tipo di struttura: **CO01 Chiusura controterra NON INTERR**

Codice struttura

P2

GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)

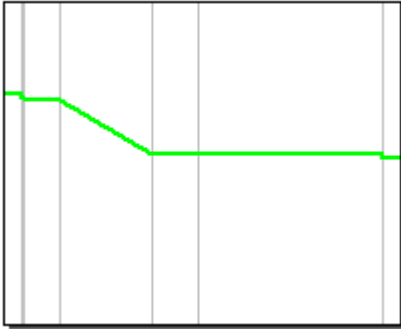
Tipo di struttura: **CO01 Chiusura controterra NON INTERR**

Codice struttura

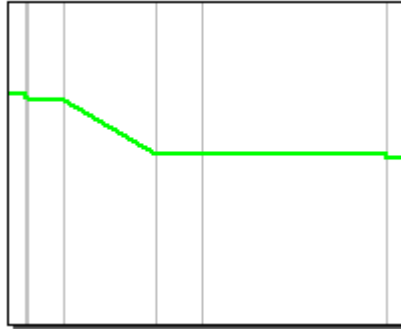
P2

GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)

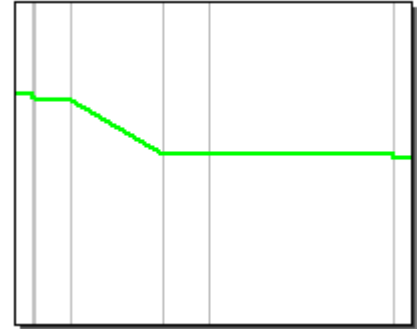
GENNAIO



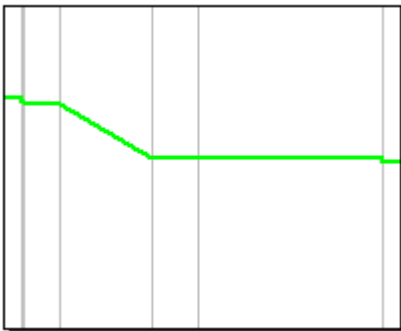
FEBBRAIO



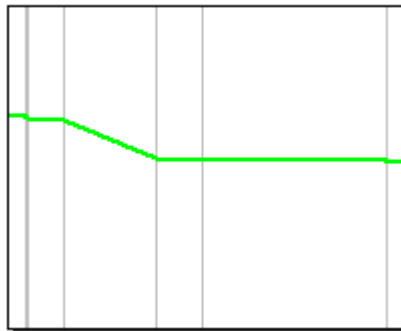
MARZO



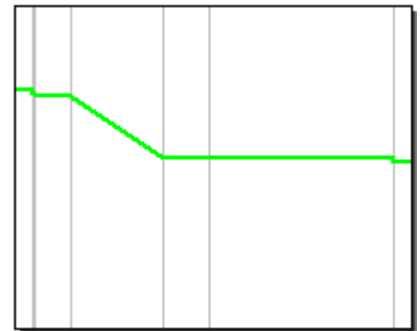
APRILE



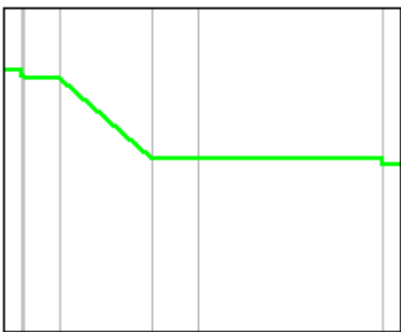
MAGGIO



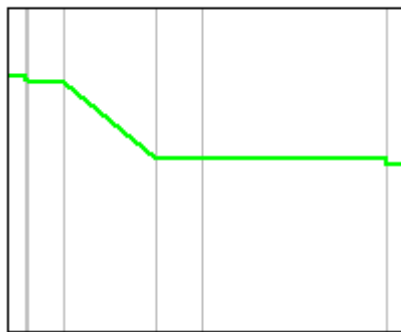
GIUGNO



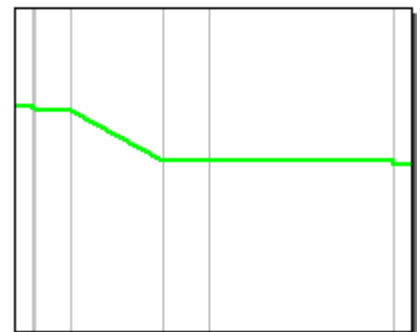
LUGLIO



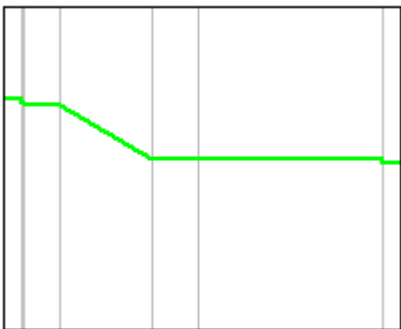
AGOSTO



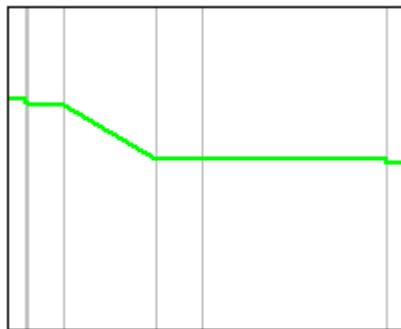
SETTEMBRE



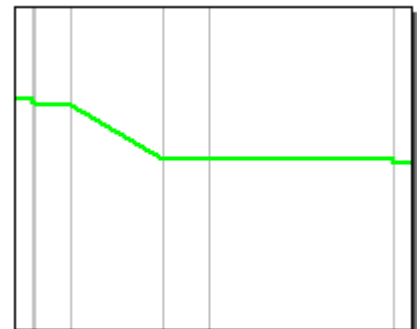
OTTOBRE



NOVEMBRE



DICEMBRE



DATI PER IL CALCOLO DI STRUTTURA CONTROTERRA.

secondo UNI EN ISO 13370

Tipo di struttura: **CO01 Chiusura controterra NON INTERR**

Codice struttura

P2**Pavimento appoggiato su terreno**

Area del pavimento	869,00 m ²
Perimetro disperdente del pavimento	189,00 m
Spessore pareti perimetrali esterne	0,503 m
Conduttività termica del terreno	2,00 W/mK

Posizione isolante	Assente
Larghezza dell'isolamento di bordo	0,000 m
Spessore dello strato isolante	0,000 m
Conduttività termica dell'isolante	0,000 W/mK

Trasmittanza pavimento

Trasm.U Potenza (controterra)	0,142 W/m ² K
Trasm.U Energia (controterra)	0,142 W/m ² K
Trasm.UNI 10344 (controterra)	W/m ² K

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO.

secondo UNI TS 11300-1 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

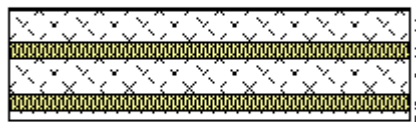
Tipo di struttura: **PO 01 Solaio interpiano**

Codice struttura

P3

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'alto verso il basso)	s [mm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	ρ [kg/m ³]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Linoleum	2	0,170	85,000	1200	0,200	0,250	0,012
2	C.i.s. di argilla espansa sottofondi non aerati	40	0,320	8,000	600	33,333	50,000	0,125
3	Anticalpestio RW SteprockLD	20	0,036	1,800	100	200,000	200,000	0,556
4	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	45	1,490	33,111	2200	2,857	2,857	0,030
5	Lana roccia RW211	20	0,035	1,750	40	200,000	200,000	0,571
6	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050

Spessore totale [mm]	140	Conduttanza unitaria superficiale interna	5,882	Resistenza unitaria superficiale interna	0,170
Massa superficiale [kg/m²]	128	Conduttanza unitaria superficiale esterna	5,882	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,170
Trasmittanza periodica [W/m²K]	0,194	TRASMITTANZA TOTALE [W/m²K]	0,594	RESISTENZA TERMICA TOTALE [m²K/W]	1,684



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	2,6	648
Estiva (luglio)	23,2	1847	23,2	1790

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 157 [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a _____ [g/m²]
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 498 [Pa]

Simbologia

s	Spessore dello strato	δa	Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%	Ti	Temperatura interna
λ	Conduttività	δu	Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%	Te	Temperatura esterna
C	Conduttanza	R	Resistenza termica dello strato	Pi	Pressione parziale interna
ρ	Massa volumica			Pe	Pressione parziale esterna

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **PO 01 Solaio interpiano**

Codice struttura

P3

N.	Descrizione	ρ [kg/m ³]	μ	m [%]	s [mm]	Calcolo per		POTENZA	ENERGIA
						λ [W/mK]	R [m ² K/W]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
	Resistenza superficiale interna							0,170	0,170
	Resistenza superficiale esterna							0,170	0,170
	Maggiorazione isolante / non isolante							100% / 100%	100% / 100%
1	Linoleum	1200	1000	0	2	0,170	0,012	0,170	0,012
2	C.I.s. di argilla espansa sottofondi non aerati	600	6	100	40	0,320	0,125	0,320	0,125
3	Anticalpestio RW SteprockLD	100	1	0	20	0,036	0,556	0,036	0,556
4	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	2200	70	20	45	1,490	0,030	1,490	0,030
5	Lana roccia RW211	40	1	0	20	0,035	0,571	0,035	0,571
6	Cartongesso in lastre	900	10	0	12,5	0,250	0,050	0,250	0,050

Spessore totale **140** mm

R m²K/W

1,684

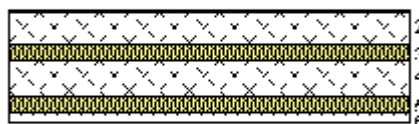
1,684

Massa superficiale **139** kg/m²

U W/m²K

0,594

0,594



CARATTERISTICHE TERMICHE DINAMICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 13786 - UNI 6946

Trasmittanza periodica **0,194** W/m²K

Fattore di attenuazione **0,326** -

Sfasamento dell'onda **-6,521** h

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **PO 01 Solaio interpiano**

Codice struttura

P3

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **-5,0 °C**

- T e UR esterne verifica termoigrometrica:
- T e UR variabili, medie mensili.
 - T fissa, media annuale ____ °C UR fissa pari a ____ %
 - T fissa, pari a ____ °C UR fissa pari a ____ %

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

- Classe concentrazione del vapore:
- Umidità relativa interna costante: **60,0% + 5%**
- Ricambio d'aria costante e produzione di vapore nota:
- Ricambio d'aria variabile e produzione vapore nota:

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **36,004** 10^{-12} kg/sm² Pa

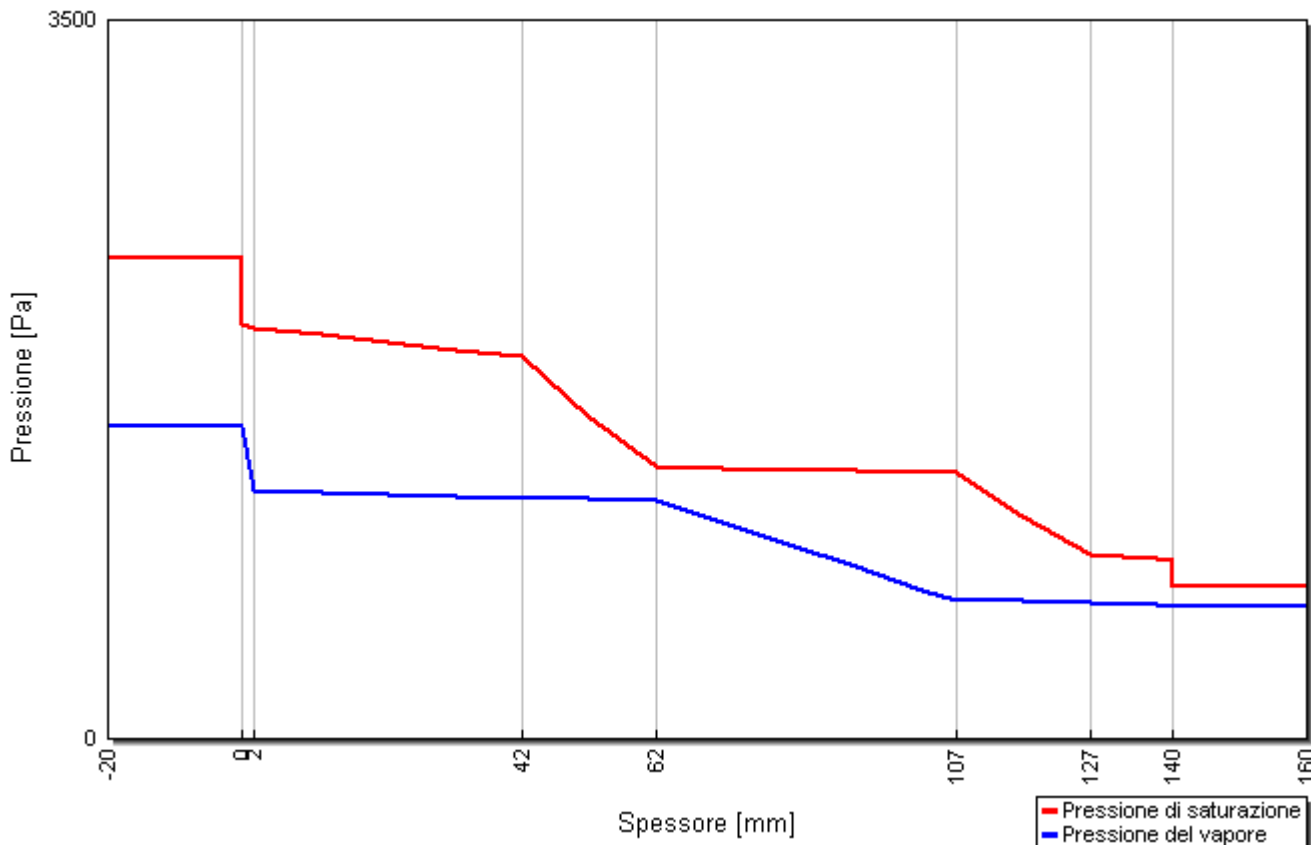
Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,250** m²K/W

Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva** per UR_{sup. amm} **80,0%**
 Mese critico **Gennaio** f_{Rsi}^{max} **0,810** ≤ f_{Rsi} **0,864**

Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**

Verifica termoigrometrica: Nessuna condensazione

Grafico delle pressioni del mese di GENNAIO



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **PO 01 Solaio interpiano**

Codice struttura

P3

RISULTATI VERIFICA DI CRITICITA' DELL'UMIDITA' SUPERFICIALE

Mese	T _e °C	φ _e %	P _e Pa	n h ⁻¹	Δ p x 1.1 Pa	P _i Pa	P _{sat} (T _{si}) Pa	T ^{min} _{si} °C	T _i °C	f ^{min} _{Rsi} -
Ottobre	13,7	71,8%	1125	-----	394	1519	1899	16,7	20,0	0,474
Novembre	8,1	79,9%	862	-----	657	1519	1899	16,7	20,0	0,722
Dicembre	4,0	79,9%	650	-----	869	1519	1899	16,7	20,0	0,793
Gennaio	2,6	88,0%	648	-----	871	1519	1899	16,7	20,0	0,810
Febbraio	4,4	73,1%	611	-----	908	1519	1899	16,7	20,0	0,788
Marzo	8,4	66,8%	736	-----	783	1519	1899	16,7	20,0	0,715
Aprile	12,8	59,6%	881	-----	638	1519	1899	16,7	20,0	0,540

RISULTATI VERIFICA DELLA CONDENSA INTERSTIZIALE

Mese	T _e °C	φ _e %	T _i °C	φ _i %	g _c g/m ²	M _a g/m ²	Periodi	Stato
Ottobre	13,7	71,8%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Novembre	8,1	79,9%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Dicembre	4,0	79,9%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Gennaio	2,6	88,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Febbraio	4,4	73,1%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Marzo	8,4	66,8%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Aprile	12,8	59,6%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Maggio	16,5	68,9%	18,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Giugno	20,8	62,7%	20,8	65,0%	0	0	1	Asciutto
Luglio	23,2	63,0%	23,2	65,0%	0	0	1	Asciutto
Agosto	22,7	63,8%	22,7	65,0%	0	0	1	Asciutto
Settembre	19,4	65,2%	19,4	65,0%	0	0	1	Asciutto

- T_i Temperatura dell'aria interna
- T_e Temperatura dell'aria esterna
- φ_i Umidità relativa dell'aria interna
- φ_e Umidità relativa dell'aria esterna
- Δp Diff. pressione parziale vapore
- P_e Pressione parziale del vapore superficiale esterna
- P_i Pressione parziale del vapore superficiale interna
- P_{sat}(T_{si}) Pressione sat. vapore superficiale interna
- T^{min}_{si} Temperatura superficiale interna minima
- f^{min}_{Rsi} Fattore di temperatura superficiale interna
- g_c Flusso di vapore condensato
- M_a Quantità di condensa accumulata
- Periodi Periodi del mese
- n Rinnovo d'aria

Nessuna formazione di condensa interstiziale

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **PO 01 Solaio interpiano**

Codice struttura

P3**VALORI CALCOLATI****Pressione parziale del vapore - P (Pa)**

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
Int.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
1	1377	1283	1206	1205	1192	1237	1289	1323	1575	1827	1780	1465
2	1360	1254	1169	1168	1153	1203	1262	1321	1573	1824	1778	1466
3	1359	1252	1165	1164	1150	1200	1259	1321	1573	1824	1778	1466
4	1135	879	672	670	635	756	897	1294	1540	1792	1759	1469
5	1134	877	669	667	632	753	895	1293	1540	1791	1759	1469
6	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469
Est.	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Pressione di saturazione del vapore - Psat (Pa)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2455	2842	2757	2252
Int.	2216	2114	2041	2017	2048	2119	2199	2037	2455	2842	2757	2252
1	2211	2103	2028	2003	2035	2109	2193	2035	2455	2842	2757	2252
2	2153	1999	1893	1858	1904	2007	2127	2022	2455	2842	2757	2252
3	1910	1589	1386	1321	1404	1605	1855	1965	2455	2842	2757	2252
4	1897	1569	1362	1297	1381	1586	1841	1962	2455	2842	2757	2252
5	1674	1230	974	898	997	1251	1595	1905	2455	2842	2757	2252
6	1656	1204	946	869	968	1225	1575	1901	2455	2842	2757	2252
Est.	1567	1080	813	736	836	1102	1477	1876	2455	2842	2757	2252

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Temperatura - T (°C)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
Int.	19,1	18,4	17,8	17,6	17,9	18,4	19,0	17,8	20,8	23,2	22,7	19,4
1	19,1	18,3	17,7	17,5	17,8	18,4	19,0	17,8	20,8	23,2	22,7	19,4
2	18,7	17,5	16,6	16,4	16,7	17,6	18,5	17,7	20,8	23,2	22,7	19,4
3	16,8	13,9	11,8	11,1	12,0	14,1	16,3	17,2	20,8	23,2	22,7	19,4
4	16,7	13,7	11,6	10,8	11,8	13,9	16,2	17,2	20,8	23,2	22,7	19,4
5	14,7	10,0	6,6	5,4	6,9	10,3	14,0	16,7	20,8	23,2	22,7	19,4
6	14,6	9,7	6,2	5,0	6,5	10,0	13,8	16,7	20,8	23,2	22,7	19,4
Est.	13,7	8,1	4,0	2,6	4,4	8,4	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

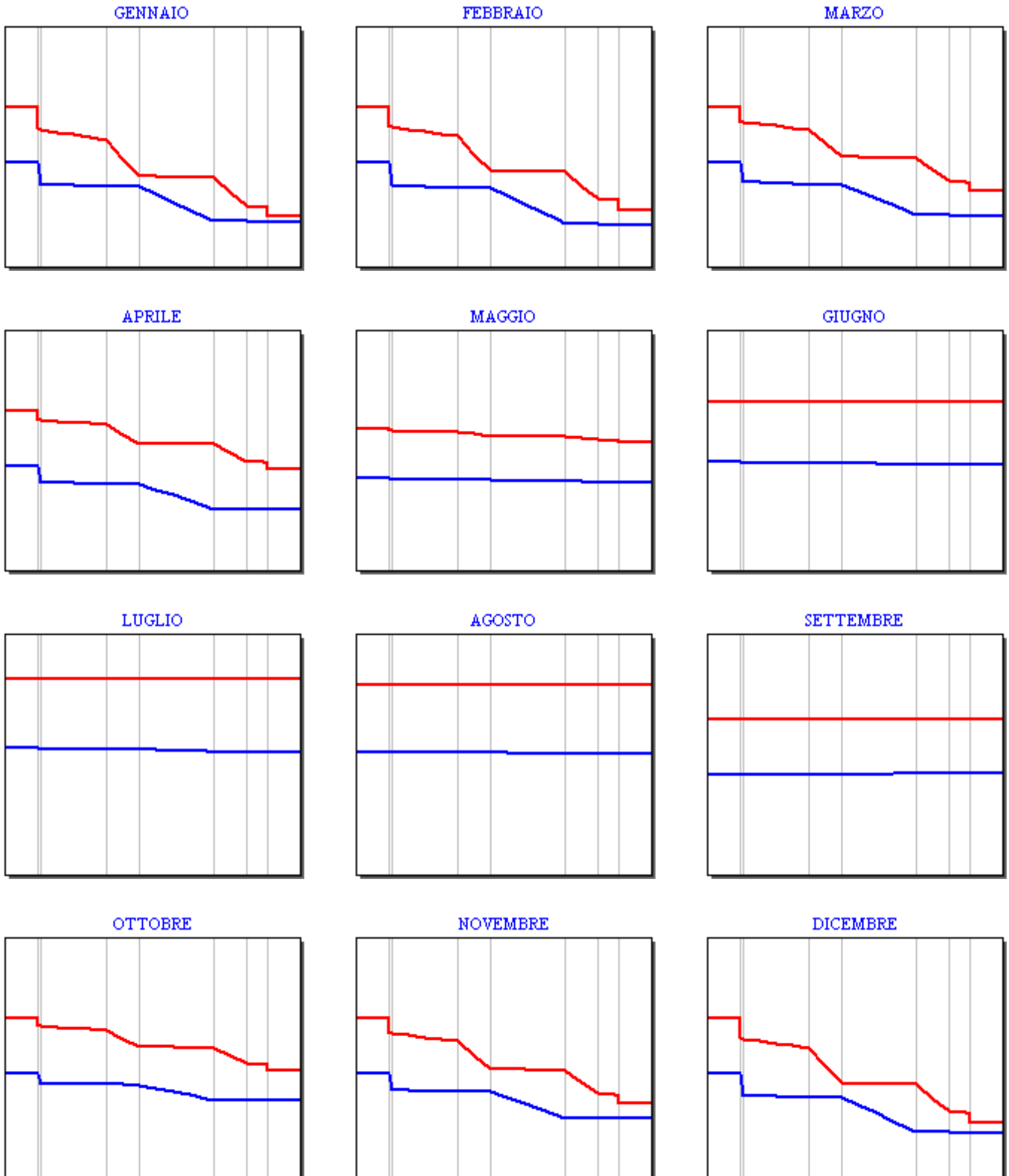
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
 GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)

Tipo di struttura: **PO 01 Solaio interpiano**

Codice struttura

P3

GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)

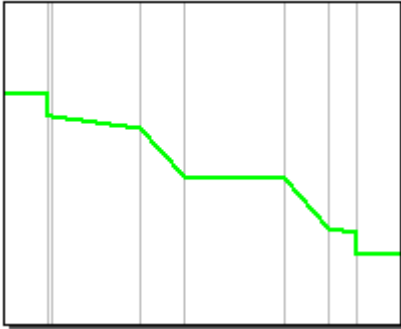
Tipo di struttura: **PO 01 Solaio interpiano**

Codice struttura

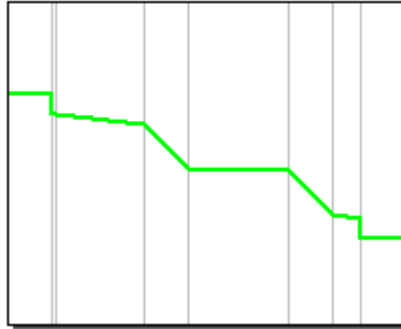
P3

GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)

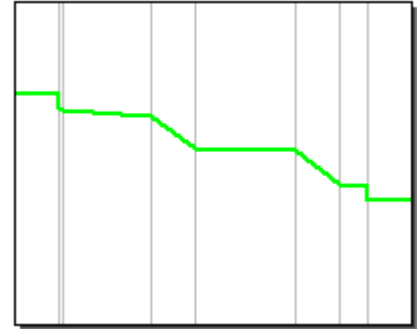
GENNAIO



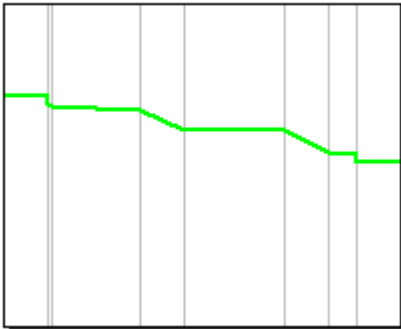
FEBBRAIO



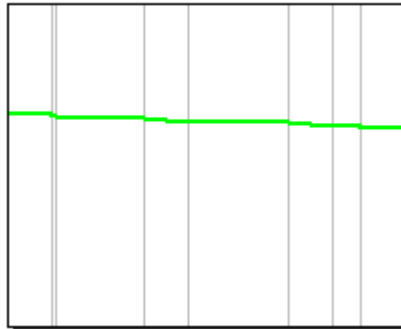
MARZO



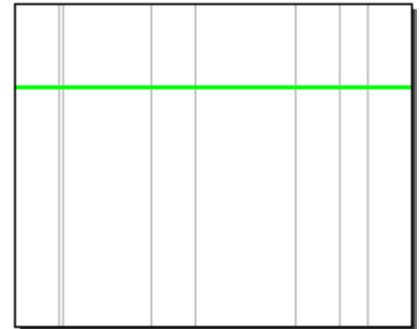
APRILE



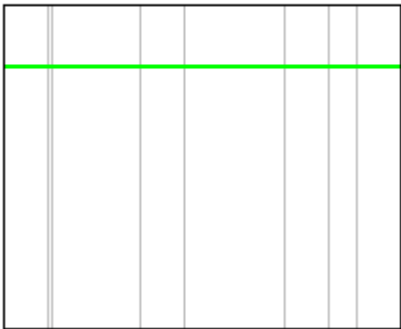
MAGGIO



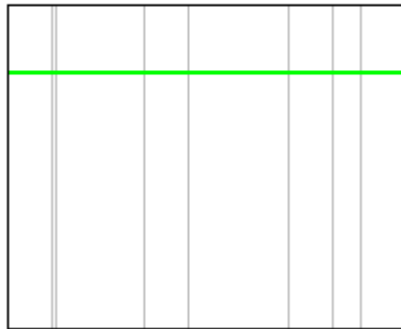
GIUGNO



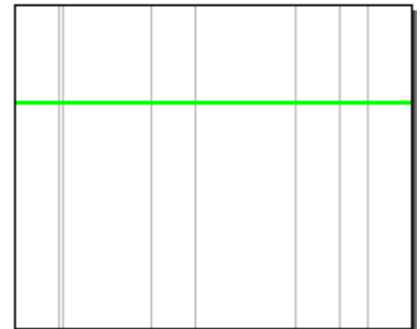
LUGLIO



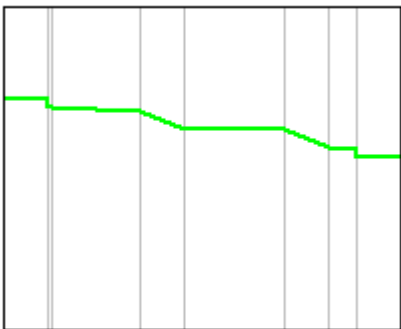
AGOSTO



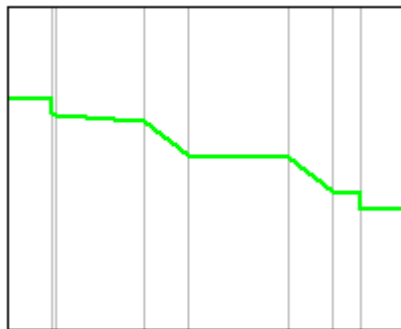
SETTEMBRE



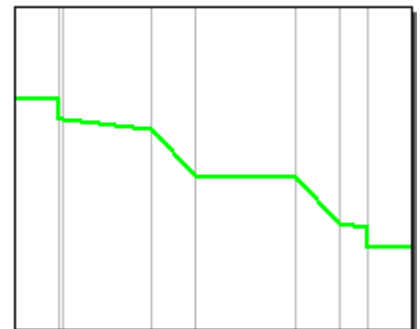
OTTOBRE



NOVEMBRE



DICEMBRE



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO.

secondo UNI TS 11300-1 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

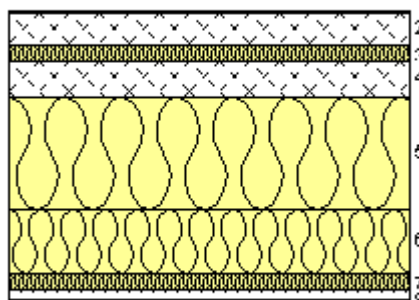
Tipo di struttura: **CO 05 Chiusura su spazi aperti**

Codice struttura

P4

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'alto verso il basso)	s [mm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	ρ [kg/m ³]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Linoleum	2	0,170	85,000	1200	0,200	0,250	0,012
2	C.l.s. di argilla espansa sottofondi non aerati	40	0,320	8,000	600	33,333	50,000	0,125
3	Anticalpestio RW SteprockLD	20	0,036	1,800	100	200,000	200,000	0,556
4	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	45	1,490	33,111	2200	2,857	2,857	0,030
5	Lana roccia RW211	140	0,035	0,250	40	200,000	200,000	4,000
6	Lana roccia RW225	80	0,035	0,438	70	200,000	200,000	2,286
7	Lana roccia RW211	20	0,035	1,750	40	200,000	200,000	0,571
8	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050

Spessore totale [mm]	360	Conduttanza unitaria superficiale interna	5,882	Resistenza unitaria superficiale interna	0,170
Massa superficiale [kg/m²]	139	Conduttanza unitaria superficiale esterna	16,115	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,062
Trasmittanza periodica [W/m²K]	0,019	TRASMITTANZA TOTALE [W/m²K]	0,127	RESISTENZA TERMICA TOTALE [m²K/W]	7,862



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	2,6	648
Estiva (luglio)	23,2	1847	23,2	1790

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 80 [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a _____ [g/m²]
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 740 [Pa]

Simbologia

s	Spessore dello strato	δa	Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%	Ti	Temperatura interna
λ	Conduttività	δu	Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%	Te	Temperatura esterna
C	Conduttanza	R	Resistenza termica dello strato	Pi	Pressione parziale interna
ρ	Massa volumica			Pe	Pressione parziale esterna

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 05 Chiusura su spazi aperti**

Codice struttura

P4

N.	Descrizione	ρ [kg/m ³]	μ	m [%]	s [mm]	Calcolo per		POTENZA	ENERGIA
						λ [W/mK]	R [m ² K/W]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
	Vento					m/s		3,800	1,900
	Resistenza superficiale interna					m ² K/W		0,170	0,170
	Resistenza superficiale esterna					m ² K/W		0,040	0,062
	Maggiorazione isolante / non isolante					%		100% / 100%	100% / 100%
1	Linoleum	1200	1000	0	2			0,170	0,012
2	C.I.s. di argilla espansa sottofondi non aerati	600	6	100	40			0,320	0,125
3	Anticalpestio RW SteprockLD	100	1	0	20			0,036	0,556
4	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	2200	70	20	45			1,490	0,030
5	Lana roccia RW211	40	1	0	140			0,035	4,000
6	Lana roccia RW225	70	1	0	80			0,035	2,286
7	Lana roccia RW211	40	1	0	20			0,035	0,571
8	Cartongesso in lastre	900	10	0	12,5			0,250	0,050

Spessore totale **360** mm

R m²K/W

7,840

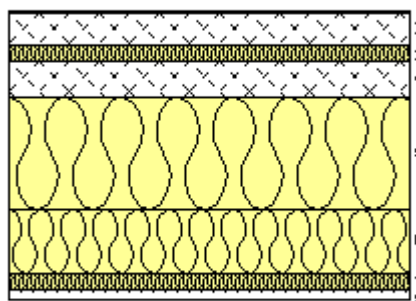
7,862

Massa superficiale **151** kg/m²

U W/m²K

0,128

0,127



CARATTERISTICHE TERMICHE DINAMICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 13786 - UNI 6946

Trasmittanza periodica **0,019** W/m²K

Fattore di attenuazione **0,147** -

Sfasamento dell'onda **-10,693** h

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 05 Chiusura su spazi aperti**

Codice struttura

P4

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **-5,0 °C**

- T e UR esterne verifica termoigrometrica:
- T e UR variabili, medie mensili.
 - T fissa, media annuale ____ °C UR fissa pari a ____ %
 - T fissa, pari a ____ °C UR fissa pari a ____ %

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

- Classe concentrazione del vapore:
- Ricambio d'aria costante e produzione di vapore nota:
- Umidità relativa interna costante: **60,0% + 5%**
- Ricambio d'aria variabile e produzione vapore nota:

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **34,632** 10^{-12} kg/sm² Pa

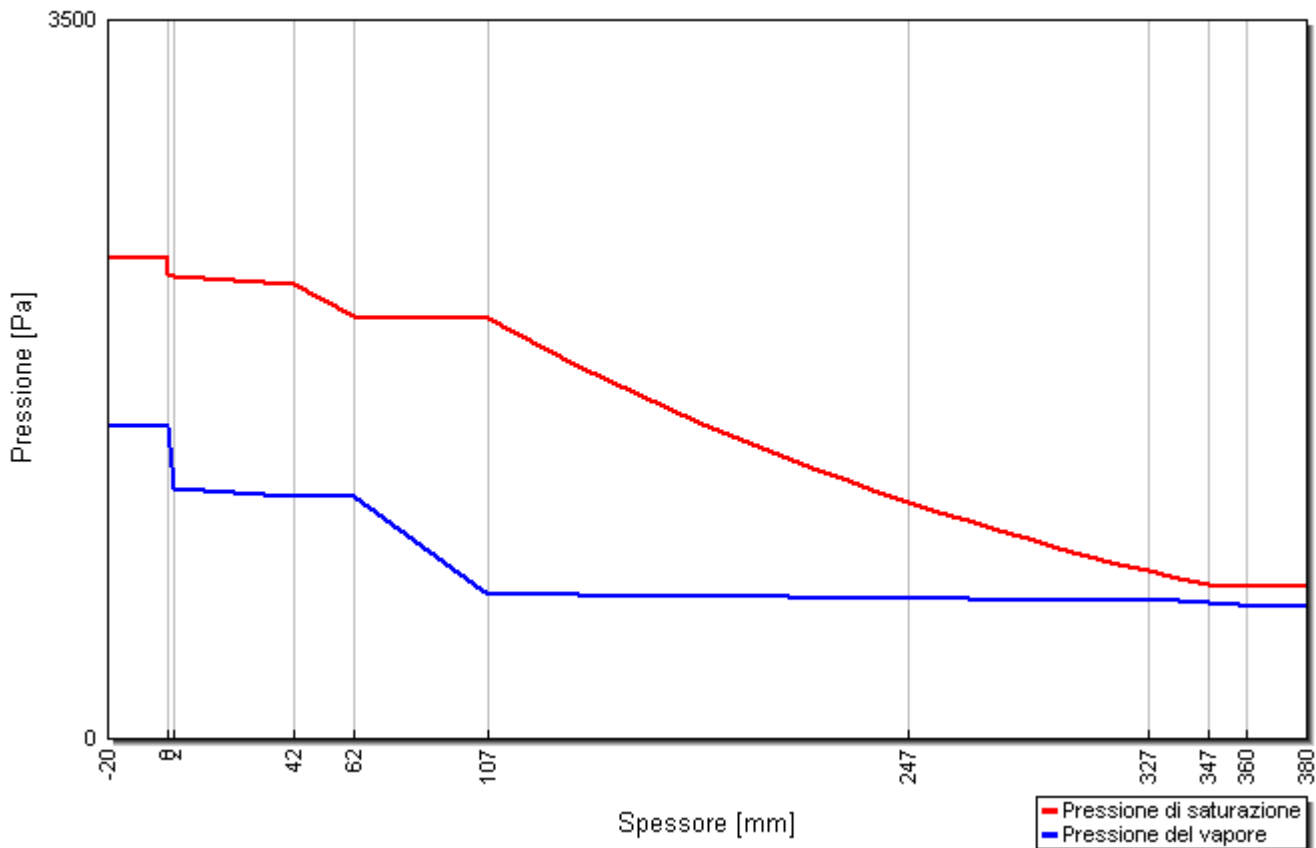
Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,040** m²K/W

Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva** per UR_{sup. amm} **80,0%**
 Mese critico **Gennaio** f_{Rsi}^{max} **0,810** ≤ f_{Rsi} **0,968**

Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**

Verifica termoigrometrica: Nessuna condensazione

Grafico delle pressioni del mese di GENNAIO



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 05 Chiusura su spazi aperti**

Codice struttura

P4

RISULTATI VERIFICA DI CRITICITA' DELL'UMIDITA' SUPERFICIALE

Mese	T _e °C	φ _e %	P _e Pa	n h ⁻¹	Δ p x 1.1 Pa	P _i Pa	P _{sat} (T _{si}) Pa	T ^{min} _{si} °C	T _i °C	f ^{min} _{Rsi} -
Ottobre	13,7	71,8%	1125	-----	394	1519	1899	16,7	20,0	0,474
Novembre	8,1	79,9%	862	-----	657	1519	1899	16,7	20,0	0,722
Dicembre	4,0	79,9%	650	-----	869	1519	1899	16,7	20,0	0,793
Gennaio	2,6	88,0%	648	-----	871	1519	1899	16,7	20,0	0,810
Febbraio	4,4	73,1%	611	-----	908	1519	1899	16,7	20,0	0,788
Marzo	8,4	66,8%	736	-----	783	1519	1899	16,7	20,0	0,715
Aprile	12,8	59,6%	881	-----	638	1519	1899	16,7	20,0	0,540

RISULTATI VERIFICA DELLA CONDENSA INTERSTIZIALE

Mese	T _e °C	φ _e %	T _i °C	φ _i %	g _c g/m ²	M _a g/m ²	Periodi	Stato
Ottobre	13,7	71,8%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Novembre	8,1	79,9%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Dicembre	4,0	79,9%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Gennaio	2,6	88,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Febbraio	4,4	73,1%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Marzo	8,4	66,8%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Aprile	12,8	59,6%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Maggio	16,5	68,9%	18,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Giugno	20,8	62,7%	20,8	65,0%	0	0	1	Asciutto
Luglio	23,2	63,0%	23,2	65,0%	0	0	1	Asciutto
Agosto	22,7	63,8%	22,7	65,0%	0	0	1	Asciutto
Settembre	19,4	65,2%	19,4	65,0%	0	0	1	Asciutto

T_i Temperatura dell'aria interna

P_e Pressione parziale del vapore superficiale esterna

g_c Flusso di vapore condensato

T_e Temperatura dell'aria esterna

P_i Pressione parziale del vapore superficiale interna

M_a Quantità di condensa accumulata

φ_i Umidità relativa dell'aria interna

P_{sat}(T_{si}) Pressione sat. vapore superficiale interna

Periodi Periodi del mese

φ_e Umidità relativa dell'aria esterna

T^{min}_{si} Temperatura superficiale interna minima

n Rinnovo d'aria

Δp Diff. pressione parziale vapore

f^{min}_{Rsi} Fattore di temperatura superficiale interna

Nessuna formazione di condensa interstiziale

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 05 Chiusura su spazi aperti**

Codice struttura

P4**VALORI CALCOLATI****Pressione parziale del vapore - P (Pa)**

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
Int.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
1	1383	1292	1218	1217	1205	1248	1298	1324	1576	1828	1780	1465
2	1366	1264	1182	1181	1167	1215	1271	1322	1574	1825	1779	1466
3	1365	1262	1179	1178	1164	1212	1269	1322	1574	1825	1779	1466
4	1150	904	705	703	669	785	921	1295	1543	1794	1760	1468
5	1140	888	684	682	647	766	906	1294	1541	1792	1759	1468
6	1135	879	672	669	634	755	897	1294	1540	1792	1759	1469
7	1133	876	669	666	631	753	895	1293	1540	1791	1759	1469
8	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469
Est.	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Pressione di saturazione del vapore - Psat (Pa)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2455	2842	2757	2252
Int.	2308	2283	2265	2259	2267	2285	2304	2057	2455	2842	2757	2252
1	2307	2281	2262	2255	2263	2282	2303	2056	2455	2842	2757	2252
2	2293	2254	2226	2217	2229	2256	2287	2053	2455	2842	2757	2252
3	2231	2140	2075	2054	2082	2145	2216	2040	2455	2842	2757	2252
4	2227	2134	2067	2045	2074	2139	2212	2039	2455	2842	2757	2252
5	1822	1451	1224	1153	1244	1469	1758	1944	2455	2842	2757	2252
6	1621	1155	893	816	916	1176	1537	1891	2455	2842	2757	2252
7	1574	1090	823	747	846	1112	1485	1878	2455	2842	2757	2252
8	1570	1084	817	741	841	1106	1481	1877	2455	2842	2757	2252
Est.	1567	1080	813	736	836	1102	1477	1876	2455	2842	2757	2252

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Temperatura - T (°C)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
Int.	19,8	19,6	19,5	19,5	19,5	19,6	19,8	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
1	19,8	19,6	19,5	19,4	19,5	19,6	19,8	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
2	19,7	19,4	19,2	19,2	19,2	19,4	19,6	17,9	20,8	23,2	22,7	19,4
3	19,3	18,6	18,1	17,9	18,1	18,6	19,1	17,8	20,8	23,2	22,7	19,4
4	19,2	18,5	18,0	17,9	18,1	18,6	19,1	17,8	20,8	23,2	22,7	19,4
5	16,0	12,5	10,0	9,1	10,2	12,7	15,5	17,1	20,8	23,2	22,7	19,4
6	14,2	9,1	5,3	4,1	5,7	9,4	13,4	16,6	20,8	23,2	22,7	19,4
7	13,8	8,2	4,2	2,8	4,6	8,5	12,9	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
8	13,7	8,2	4,1	2,7	4,5	8,5	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
Est.	13,7	8,1	4,0	2,6	4,4	8,4	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

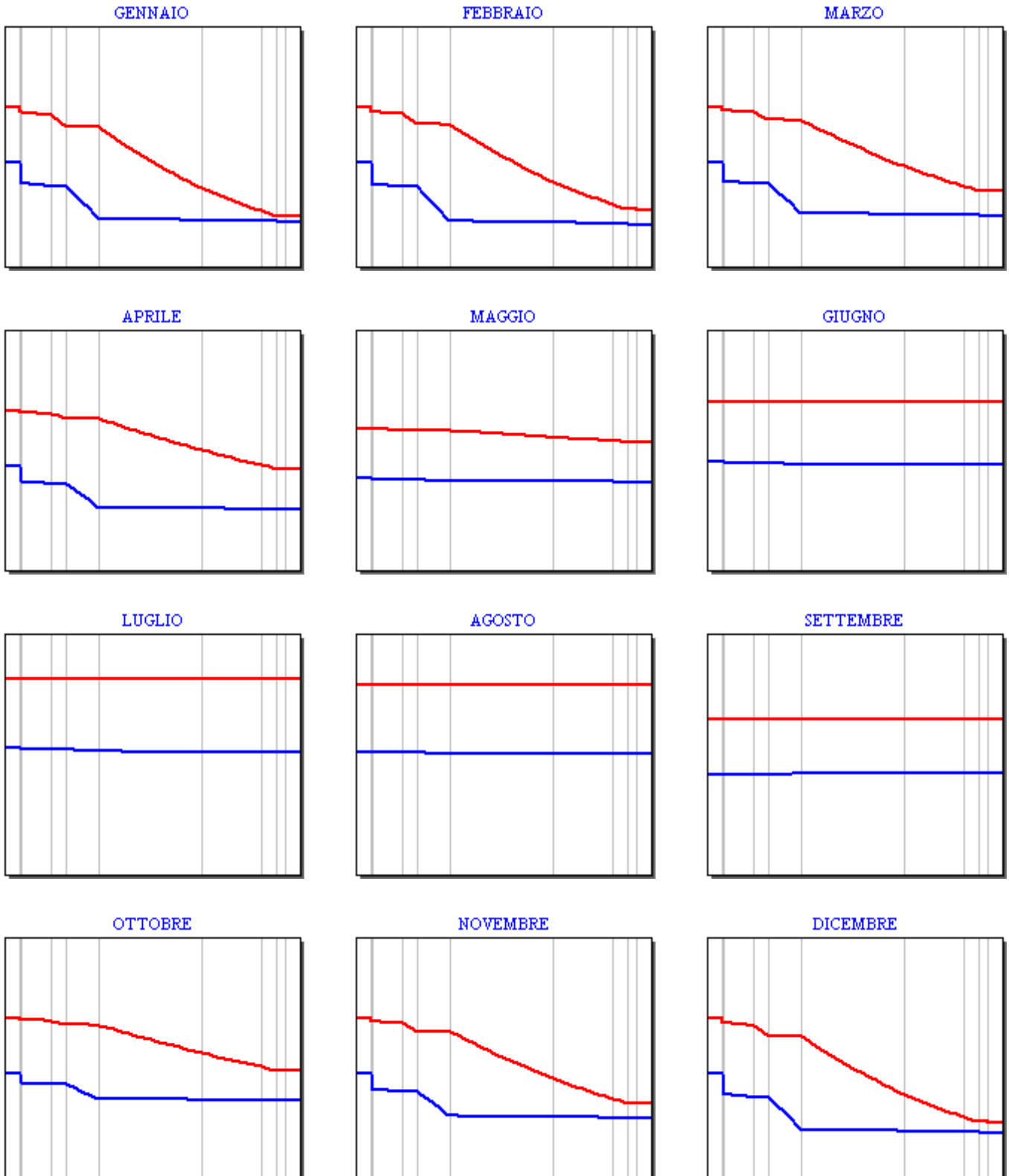
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO
 GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)

Tipo di struttura: **CO 05 Chiusura su spazi aperti**

Codice struttura

P4

GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)



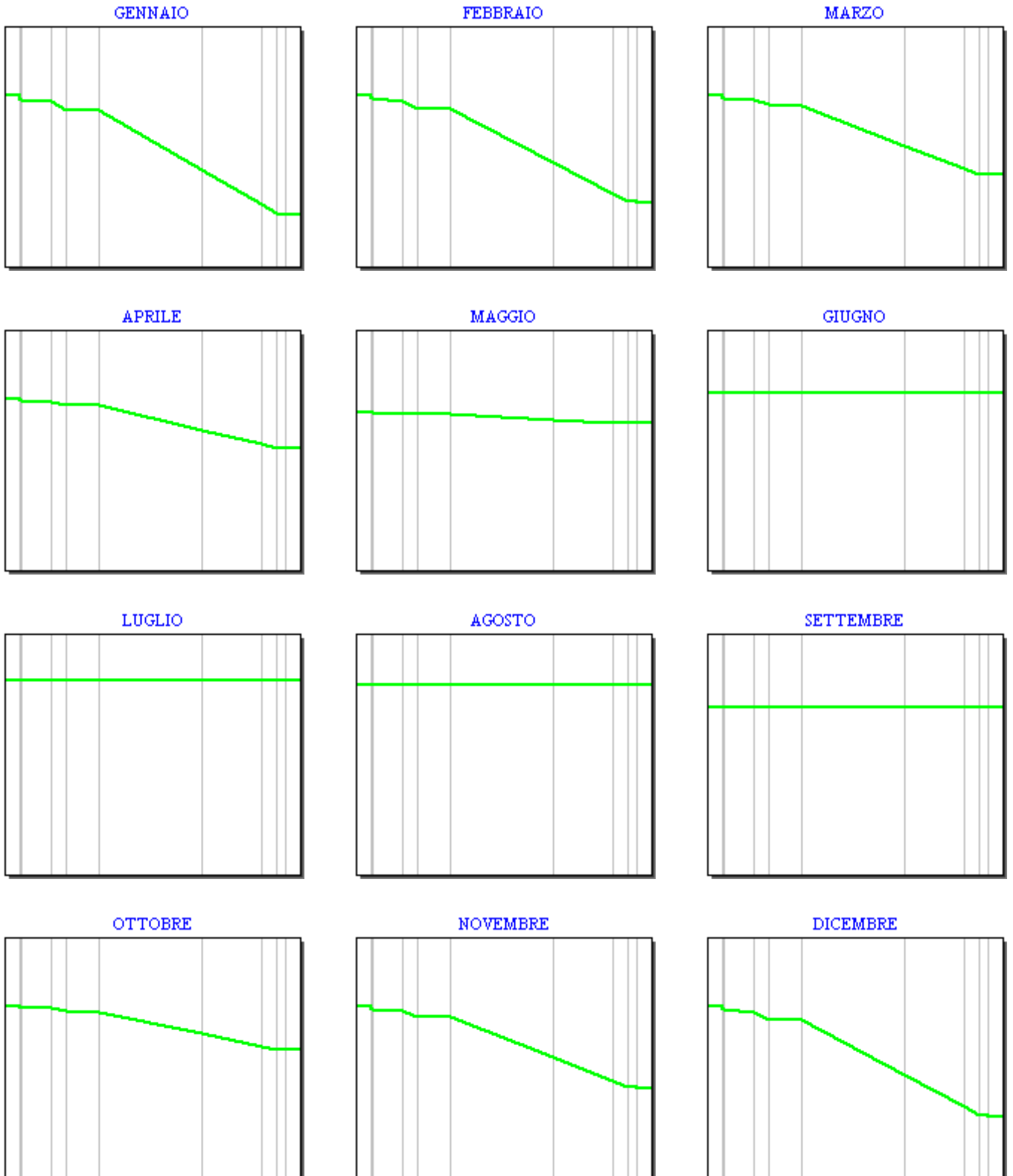
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
 GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)

Tipo di struttura: **CO 05 Chiusura su spazi aperti**

Codice struttura

P4

GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO.

secondo UNI TS 11300-1 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

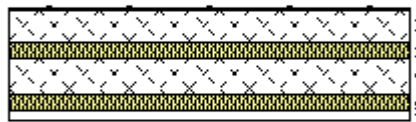
Tipo di struttura: **PO 01 Solaio interpiano**

Codice struttura

S1

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'alto verso il basso)	s [mm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	ρ [kg/m ³]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Linoleum	2	0,170	85,000	1200	0,200	0,250	0,012
2	C.l.s. di argilla espansa sottofondi non aerati	40	0,320	8,000	600	33,333	50,000	0,125
3	Anticalpestio RW SteprockLD	20	0,036	1,800	100	200,000	200,000	0,556
4	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	45	1,490	33,111	2200	2,857	2,857	0,030
5	Lana roccia RW211	20	0,035	1,750	40	200,000	200,000	0,571
6	Barriera vapore foglio di alluminio (.025-.05 mm)	1	220,0	220000	2700	0,000	0,000	0,000
7	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050

Spessore totale [mm]	141	Conduttanza unitaria superficiale interna	10,000	Resistenza unitaria superficiale interna	0,100
Massa superficiale [kg/m ²]	131	Conduttanza unitaria superficiale esterna	10,000	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,100
Trasmittanza periodica [W/m ² K]	0,235	TRASMITTANZA TOTALE [W/m²K]	0,648	RESISTENZA TERMICA TOTALE [m²K/W]	1,544



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	2,6	648
Estiva (luglio)	23,2	1847	23,2	1790

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 222 [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a _____ [g/m²]
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 498 [Pa]

Simbologia

s	Spessore dello strato	δa	Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%	Ti	Temperatura interna
λ	Conduttività	δu	Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%	Te	Temperatura esterna
C	Conduttanza	R	Resistenza termica dello strato	Pi	Pressione parziale interna
ρ	Massa volumica			Pe	Pressione parziale esterna

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

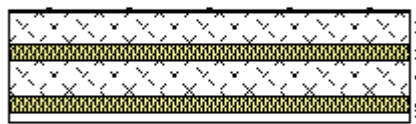
secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **PO 01 Solaio interpiano**

Codice struttura **S1**

N.	Descrizione	ρ [kg/m ³]	μ	m [%]	s [mm]	Calcolo per		POTENZA	ENERGIA
						λ [W/mK]	R [m ² K/W]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
	Resistenza superficiale interna							0,100	0,100
	Resistenza superficiale esterna							0,100	0,100
	Maggiorazione isolante / non isolante							100% / 100%	100% / 100%
1	Linoleum	1200	1000	0	2	0,170	0,012	0,170	0,012
2	C.I.s. di argilla espansa sottofondi non aerati	600	6	100	40	0,320	0,125	0,320	0,125
3	Anticalpestio RW SteprockLD	100	1	0	20	0,036	0,556	0,036	0,556
4	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	2200	70	20	45	1,490	0,030	1,490	0,030
5	Lana roccia RW211	40	1	0	20	0,035	0,571	0,035	0,571
6	Barriera vapore foglio di alluminio (.025-.05 mm)	2700	700000	0	1	220,000	0,000	220,000	0,000
7	Cartongesso in lastre	900	10	0	12,5	0,250	0,050	0,250	0,050

Spessore totale	141 mm	R	m²K/W	1,544	1,544
Massa superficiale	142 kg/m ²	U	W/m²K	0,648	0,648



CARATTERISTICHE TERMICHE DINAMICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 13786 - UNI 6946

Trasmittanza periodica	0,235 W/m ² K
Fattore di attenuazione	0,363 -
Sfasamento dell'onda	-6,076 h

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **PO 01 Solaio interpiano**

Codice struttura

S1

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **-5,0 °C**

- T e UR esterne verifica termoigrometrica:
- T e UR variabili, medie mensili.
 - T fissa, media annuale ____ °C UR fissa pari a ____ %
 - T fissa, pari a ____ °C UR fissa pari a ____ %

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

- Classe concentrazione del vapore:
- Ricambio d'aria costante e produzione di vapore nota:
- Umidità relativa interna costante: **60,0% + 5%**
- Ricambio d'aria variabile e produzione vapore nota:

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **0,283** 10^{-12} kg/sm² Pa

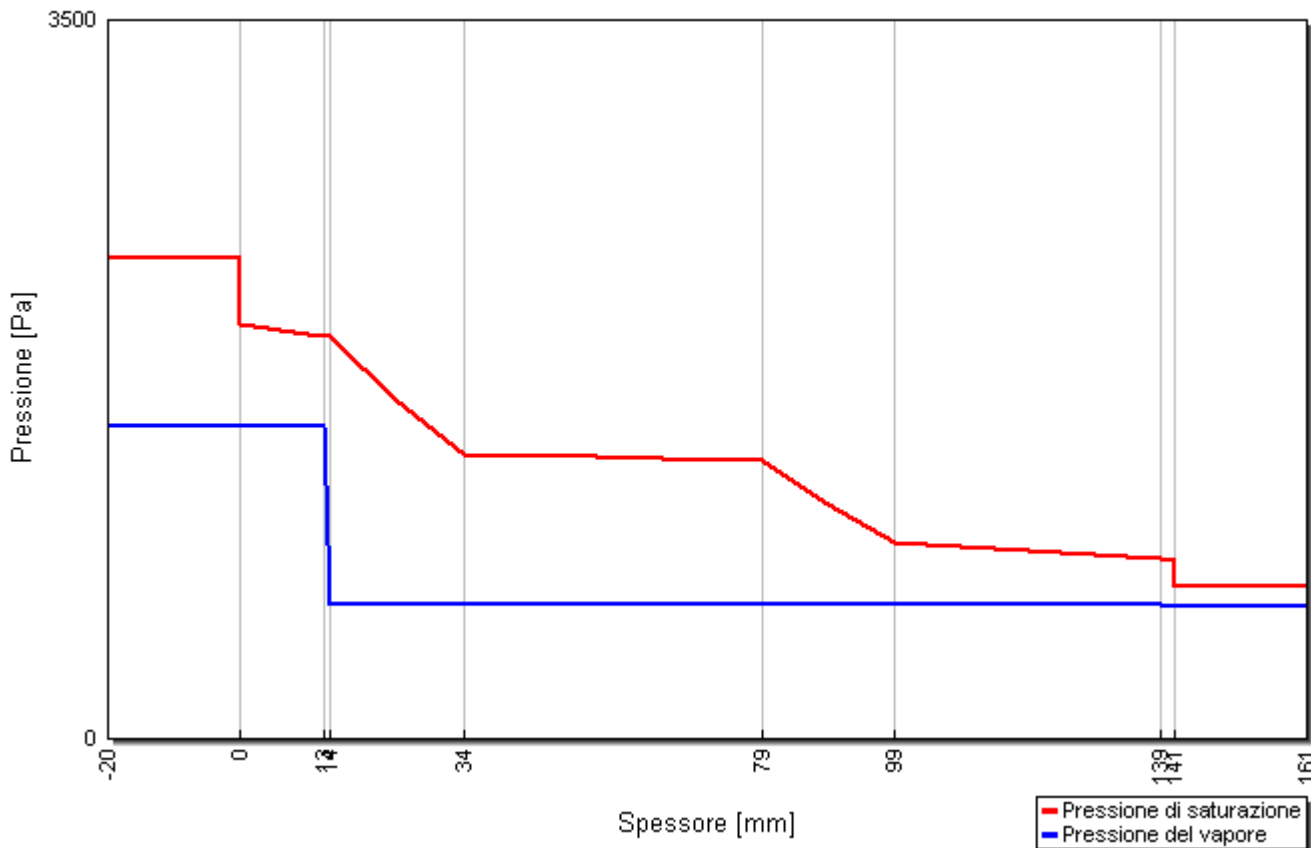
Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,250** m²K/W

Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva** per UR_{sup. amm} **80,0%**
 Mese critico **Gennaio** f_{Rsi}^{max} **0,810** ≤ f_{Rsi} **0,864**

Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**

Verifica termoigrometrica: Nessuna condensazione

Grafico delle pressioni del mese di GENNAIO



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **PO 01 Solaio interpiano**

Codice struttura

SI

RISULTATI VERIFICA DI CRITICITA' DELL'UMIDITA' SUPERFICIALE

Mese	T _e °C	φ _e %	P _e Pa	n h ⁻¹	Δ p x 1.1 Pa	P _i Pa	P _{sat} (T _{si}) Pa	T ^{min} _{si} °C	T _i °C	f ^{min} _{Rsi} -
Ottobre	13,7	71,8%	1125	-----	394	1519	1899	16,7	20,0	0,474
Novembre	8,1	79,9%	862	-----	657	1519	1899	16,7	20,0	0,722
Dicembre	4,0	79,9%	650	-----	869	1519	1899	16,7	20,0	0,793
Gennaio	2,6	88,0%	648	-----	871	1519	1899	16,7	20,0	0,810
Febbraio	4,4	73,1%	611	-----	908	1519	1899	16,7	20,0	0,788
Marzo	8,4	66,8%	736	-----	783	1519	1899	16,7	20,0	0,715
Aprile	12,8	59,6%	881	-----	638	1519	1899	16,7	20,0	0,540

RISULTATI VERIFICA DELLA CONDENSA INTERSTIZIALE

Mese	T _e °C	φ _e %	T _i °C	φ _i %	g _c g/m ²	M _a g/m ²	Periodi	Stato
Ottobre	13,7	71,8%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Novembre	8,1	79,9%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Dicembre	4,0	79,9%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Gennaio	2,6	88,0%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Febbraio	4,4	73,1%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Marzo	8,4	66,8%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Aprile	12,8	59,6%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Maggio	16,5	68,9%	18,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Giugno	20,8	62,7%	20,8	65,0%	0	0	1	Asciutto
Luglio	23,2	63,0%	23,2	65,0%	0	0	1	Asciutto
Agosto	22,7	63,8%	22,7	65,0%	0	0	1	Asciutto
Settembre	19,4	65,2%	19,4	65,0%	0	0	1	Asciutto

T_i Temperatura dell'aria interna

P_e Pressione parziale del vapore superficiale esterna

g_c Flusso di vapore condensato

T_e Temperatura dell'aria esterna

P_i Pressione parziale del vapore superficiale interna

M_a Quantità di condensa accumulata

φ_i Umidità relativa dell'aria interna

P_{sat}(T_{si}) Pressione sat. vapore superficiale interna

Periodi Periodi del mese

φ_e Umidità relativa dell'aria esterna

T^{min}_{si} Temperatura superficiale interna minima

n Rinnovo d'aria

Δp Diff. pressione parziale vapore

f^{min}_{Rsi} Fattore di temperatura superficiale interna

Nessuna formazione di condensa interstiziale

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **PO 01 Solaio interpiano**

Codice struttura

SI**VALORI CALCOLATI****Pressione parziale del vapore - P (Pa)**

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
Int.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
7	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
6	1128	867	656	654	618	742	886	1293	1539	1791	1758	1469
5	1128	867	656	654	618	742	886	1293	1539	1791	1758	1469
4	1126	864	653	650	614	738	883	1292	1539	1790	1758	1469
3	1126	864	653	650	614	738	883	1292	1539	1790	1758	1469
2	1126	864	652	650	614	738	883	1292	1539	1790	1758	1469
1	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469
Est.	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Pressione di saturazione del vapore - Psat (Pa)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2455	2842	2757	2252
Int.	2216	2114	2041	2017	2048	2119	2199	2037	2455	2842	2757	2252
7	2193	2071	1986	1958	1994	2077	2173	2031	2455	2842	2757	2252
6	2193	2071	1986	1957	1994	2077	2173	2031	2455	2842	2757	2252
5	1939	1637	1443	1381	1461	1652	1888	1973	2455	2842	2757	2252
4	1927	1617	1418	1356	1437	1632	1874	1970	2455	2842	2757	2252
3	1707	1277	1026	951	1048	1298	1630	1914	2455	2842	2757	2252
2	1660	1210	952	876	975	1231	1579	1902	2455	2842	2757	2252
1	1656	1204	946	869	968	1225	1575	1901	2455	2842	2757	2252
Est.	1567	1080	813	736	836	1102	1477	1876	2455	2842	2757	2252

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Temperatura - T (°C)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
Int.	19,1	18,4	17,8	17,6	17,9	18,4	19,0	17,8	20,8	23,2	22,7	19,4
7	19,0	18,1	17,4	17,2	17,5	18,1	18,8	17,8	20,8	23,2	22,7	19,4
6	19,0	18,1	17,4	17,2	17,5	18,1	18,8	17,8	20,8	23,2	22,7	19,4
5	17,0	14,4	12,4	11,8	12,6	14,5	16,6	17,3	20,8	23,2	22,7	19,4
4	16,9	14,2	12,2	11,5	12,4	14,3	16,5	17,3	20,8	23,2	22,7	19,4
3	15,0	10,6	7,4	6,2	7,7	10,8	14,3	16,8	20,8	23,2	22,7	19,4
2	14,6	9,8	6,3	5,1	6,6	10,0	13,8	16,7	20,8	23,2	22,7	19,4
1	14,6	9,7	6,2	5,0	6,5	10,0	13,8	16,7	20,8	23,2	22,7	19,4
Est.	13,7	8,1	4,0	2,6	4,4	8,4	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

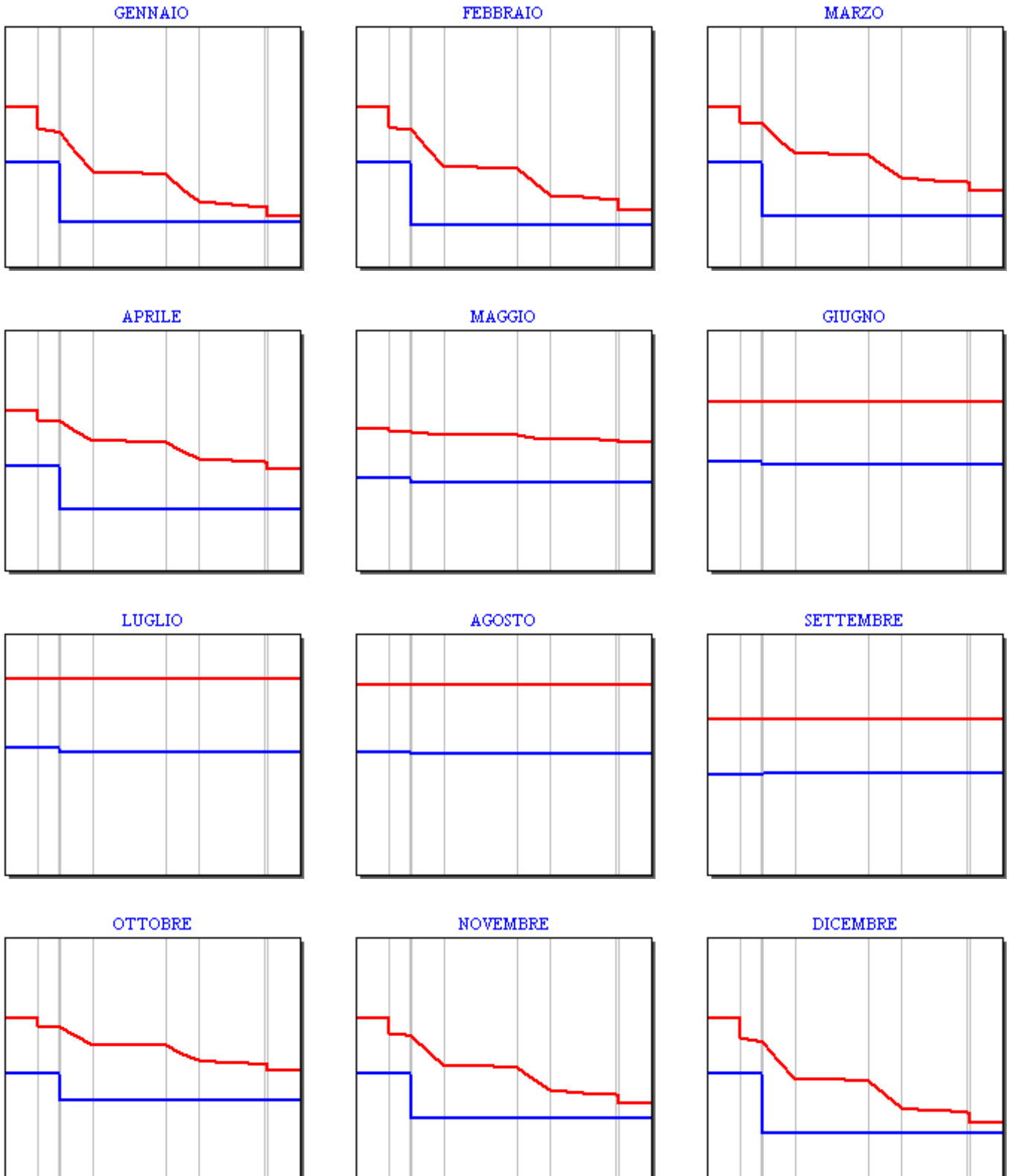
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO
 GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)

Tipo di struttura: **PO 01 Solaio interpiano**

Codice struttura

SI

GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)



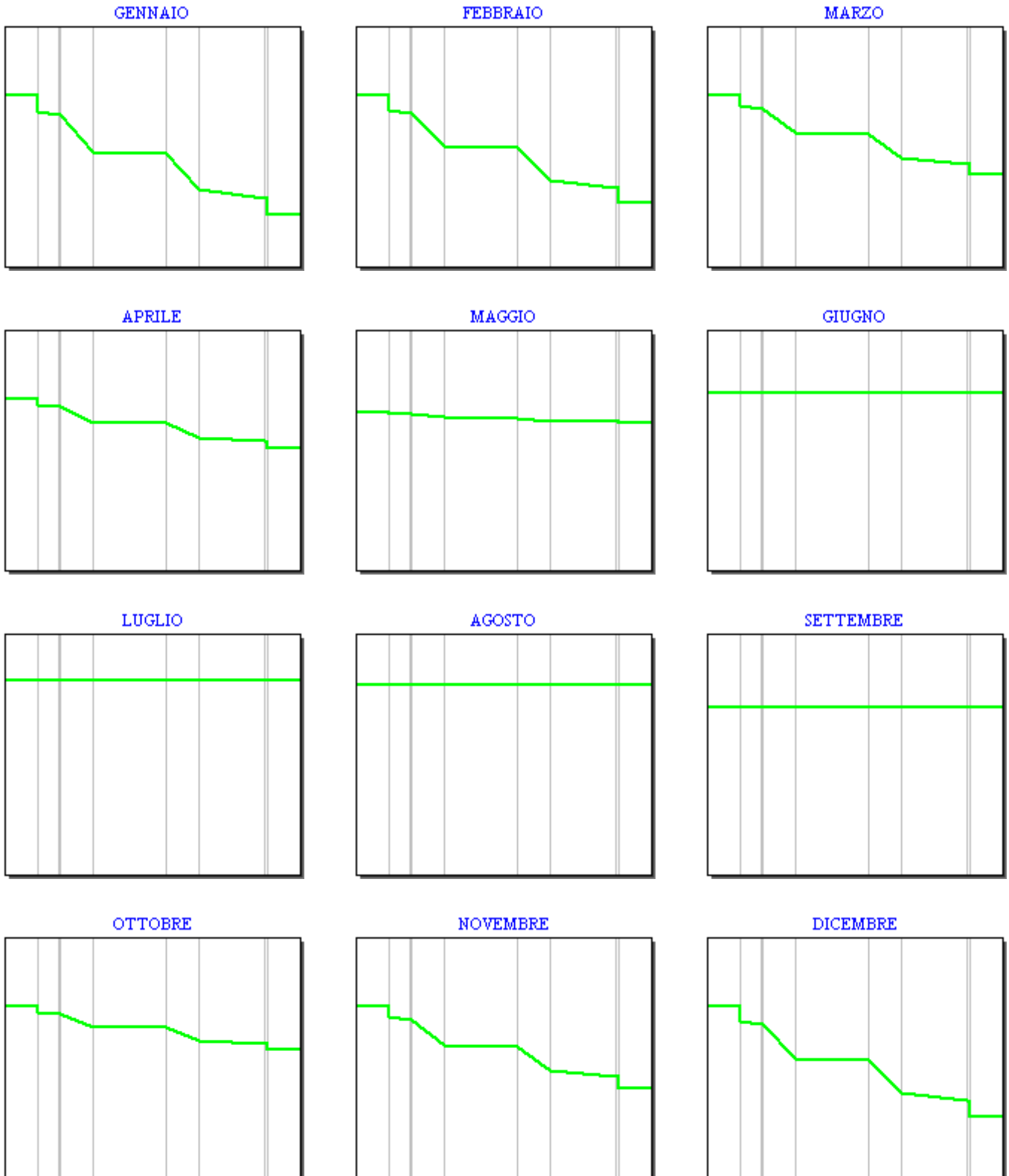
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
 GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)

Tipo di struttura: **PO 01 Solaio interpiano**

Codice struttura

SI

GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO.

secondo UNI TS 11300-1 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

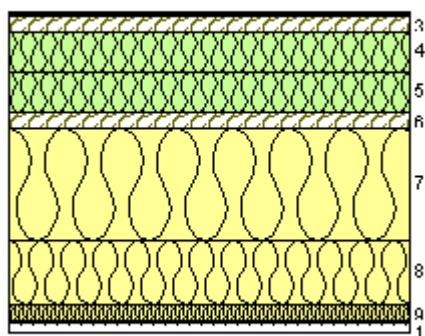
Tipo di struttura: **CO 02 Copertura kalzip**

Codice struttura

S2

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'alto verso il basso)	s [mm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	ρ [kg/m ³]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Alluminio	1	220,0	220000	2700	0,000	0,000	0,000
2	Barriera vapore in bitume feltro /foglio	4	0,230	57,500	1100	0,004	0,004	0,017
3	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	20	0,120	6,000	450	0,311	0,935	0,167
4	Poliuretano espanso in fabbrica fra lamiere sigillate	50	0,024	0,480	40	1,429	1,429	2,083
5	Poliuretano espanso in fabbrica fra lamiere sigillate	50	0,024	0,480	40	1,429	1,429	2,083
6	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	20	0,120	6,000	450	0,311	0,935	0,167
7	Lana roccia RW211	140	0,035	0,250	40	200,000	200,000	4,000
8	Lana roccia RW225	80	0,035	0,438	70	200,000	200,000	2,286
9	Lana roccia RW211	20	0,035	1,750	40	200,000	200,000	0,571
10	Barriera vapore in fogli di polietilene	2	0,350	175	950	0,004	0,004	0,006
11	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050

Spessore totale [mm]	400	Conduttanza unitaria superficiale interna	10,000	Resistenza unitaria superficiale interna	0,100
Massa superficiale [kg/m ²]	43	Conduttanza unitaria superficiale esterna	16,115	Resistenza unitaria superficiale esterna	0,062
Trasmittanza periodica [W/m ² K]	0,011	TRASMITTANZA TOTALE [W/m²K]	0,086	RESISTENZA TERMICA TOTALE [m²K/W]	11,592



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	2,6	648
Estiva (luglio)	23,2	1847	23,2	1790

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a _____ [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 12 [g/m²]
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 765 [Pa]

Simbologia

s	Spessore dello strato	δa	Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%	Ti	Temperatura interna
λ	Conduttività	δu	Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%	Te	Temperatura esterna
C	Conduttanza	R	Resistenza termica dello strato	Pi	Pressione parziale interna
ρ	Massa volumica			Pe	Pressione parziale esterna

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

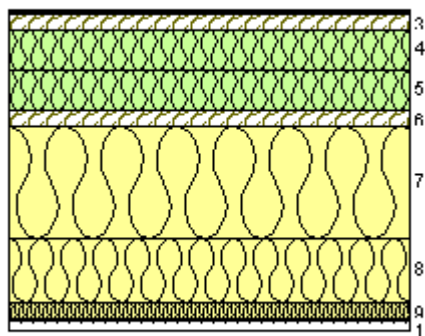
Tipo di struttura: **CO 02 Copertura kalzip**

Codice struttura

S2

N.	Descrizione	ρ [kg/m ³]	μ	m [%]	s [mm]	Calcolo per		POTENZA		ENERGIA	
						λ [W/mK]	R [m ² K/W]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]		
	Vento					m/s		3,800		1,900	
	Resistenza superficiale interna					m ² K/W		0,100		0,100	
	Resistenza superficiale esterna					m ² K/W		0,040		0,062	
	Maggiorazione isolante / non isolante					%		100% / 100%		100% / 100%	
1	Alluminio	2700	200000 0	0	1	220,000	0,000				
2	Barriera vapore in bitume feltro /foglio	1100	50000	0	4	0,230	0,017				
3	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	450	643	20	20	0,120	0,167				
4	Poliuretano espanso in fabbrica fra lamiere sigillate	40	140	15	50	0,024	2,083				
5	Poliuretano espanso in fabbrica fra lamiere sigillate	40	140	15	50	0,024	2,083				
6	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	450	643	20	20	0,120	0,167				
7	Lana roccia RW211	40	1	0	140	0,035	4,000				
8	Lana roccia RW225	70	1	0	80	0,035	2,286				
9	Lana roccia RW211	40	1	0	20	0,035	0,571				
10	Barriera vapore in fogli di polietilene	950	50000	0	2	0,350	0,006				
11	Cartongesso in lastre	900	10	0	12,5	0,250	0,050				

Spessore totale	400 mm	R	m²K/W	11,570	11,592
Massa superficiale	54 kg/m ²	U	W/m²K	0,086	0,086



CARATTERISTICHE TERMICHE DINAMICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 13786 - UNI 6946

Trasmittanza periodica	0,011 W/m ² K
Fattore di attenuazione	0,129 -
Sfasamento dell'onda	-12,092 h

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 02 Copertura kalzip**

Codice struttura

S2

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **-5,0 °C**

T e UR esterne verifica termoigrometrica:

- T e UR variabili, medie mensili.
- T fissa, media annuale ____ °C UR fissa pari a ____ %
- T fissa, pari a ____ °C UR fissa pari a ____ %

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

Classe concentrazione del vapore: Umidità relativa interna costante: **60,0% + 5%**

Ricambio d'aria costante e produzione di vapore nota: Ricambio d'aria variabile e produzione vapore nota:

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **0,085** 10^{-12} kg/sm² Pa

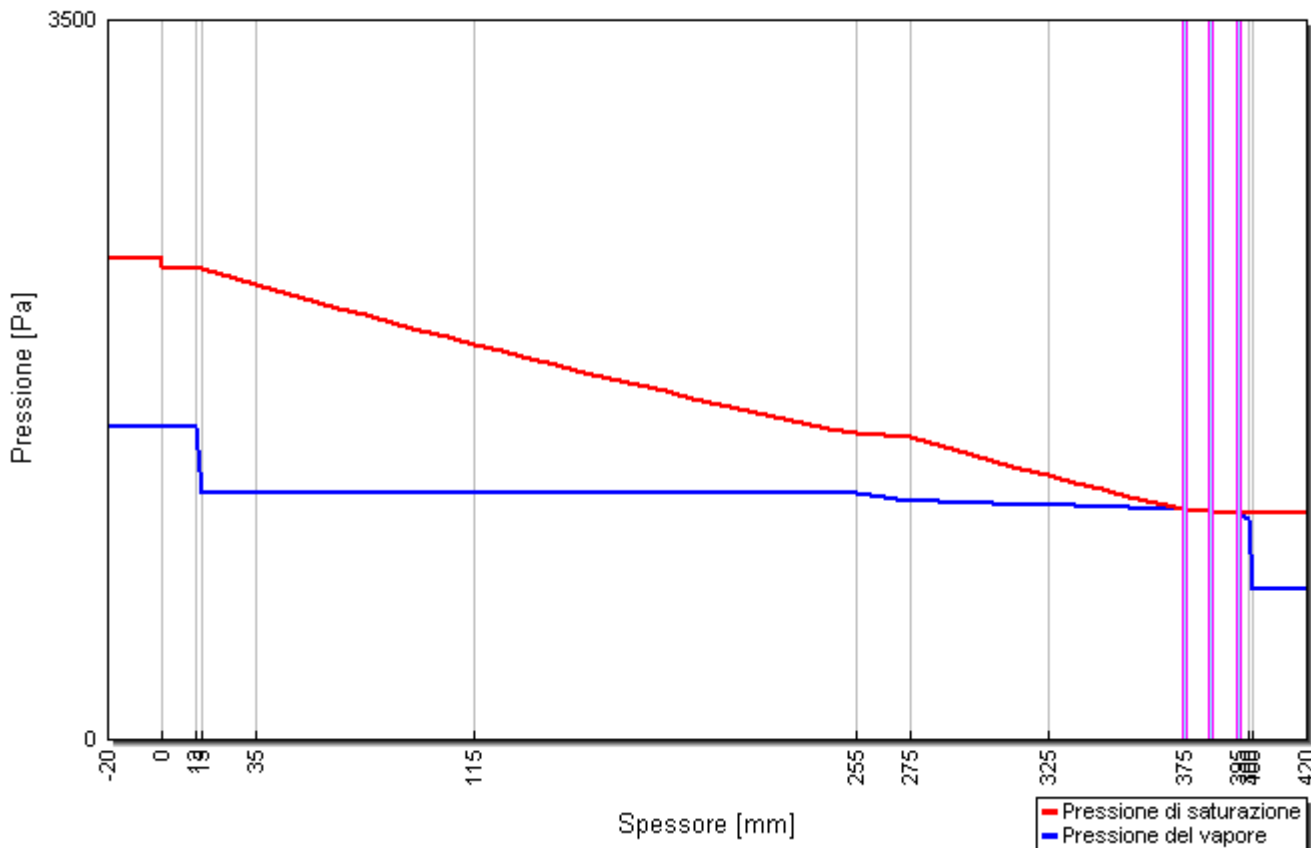
Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,040** m²K/W

Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva** per UR_{sup. amm} **80,0%**
 Mese critico **Gennaio** f^{max}_{Rsi} **0,810** ≤ f_{Rsi} **0,979**

Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**

Verifica termoigrometrica: Mese con massima condensa accumulata: **Marzo**
 Quantità di condensa ammissibile: **40** g/m²
 Q.tà massima di condensa durante l'anno: **12** g/m²
 L'evaporazione alla fine della stagione è: **Completa**

Grafico delle pressioni del mese di MARZO



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 02 Copertura kalzip**

Codice struttura

S2

RISULTATI VERIFICA DI CRITICITA' DELL'UMIDITA' SUPERFICIALE

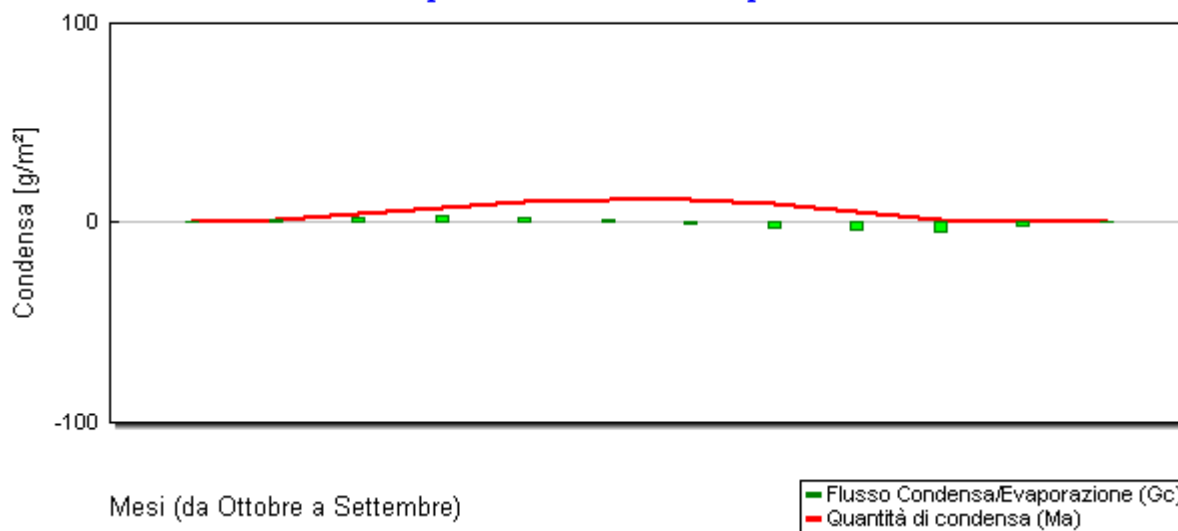
Mese	T _e °C	φ _e %	P _e Pa	n h ⁻¹	Δ p x 1.1 Pa	P _i Pa	P _{sat} (T _{si}) Pa	T ^{min} _{si} °C	T _i °C	f ^{min} _{Rsi} -
Ottobre	13,7	71,8%	1125	-----	394	1519	1899	16,7	20,0	0,474
Novembre	8,1	79,9%	862	-----	657	1519	1899	16,7	20,0	0,722
Dicembre	4,0	79,9%	650	-----	869	1519	1899	16,7	20,0	0,793
Gennaio	2,6	88,0%	648	-----	871	1519	1899	16,7	20,0	0,810
Febbraio	4,4	73,1%	611	-----	908	1519	1899	16,7	20,0	0,788
Marzo	8,4	66,8%	736	-----	783	1519	1899	16,7	20,0	0,715
Aprile	12,8	59,6%	881	-----	638	1519	1899	16,7	20,0	0,540

RISULTATI VERIFICA DELLA CONDENSA INTERSTIZIALE

Mese	T _e °C	φ _e %	T _i °C	φ _i %	g _c g/m ²	M _a g/m ²	Periodi	Stato
Ottobre	13,7	71,8%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Novembre	8,1	79,9%	20,0	65,0%	2	2	1	Condensa
Dicembre	4,0	79,9%	20,0	65,0%	3	4	1	Condensa
Gennaio	2,6	88,0%	20,0	65,0%	3	8	1	Condensa
Febbraio	4,4	73,1%	20,0	65,0%	3	10	1	Condensa
Marzo	8,4	66,8%	20,0	65,0%	2	12	1	Condensa
Aprile	12,8	59,6%	20,0	65,0%	-2,67 E-02	12	1	Essiccazione
Maggio	16,5	68,9%	18,0	65,0%	-2	9	1	Essiccazione
Giugno	20,8	62,7%	20,8	65,0%	-4	6	1	Essiccazione
Luglio	23,2	63,0%	23,2	65,0%	-4	1	3	Essiccazione
Agosto	22,7	63,8%	22,7	65,0%	-1	0	2	Essiccazione
Settembre	19,4	65,2%	19,4	65,0%	0	0	1	Asciutto

- T_i Temperatura dell'aria interna
- T_e Temperatura dell'aria esterna
- φ_i Umidità relativa dell'aria interna
- φ_e Umidità relativa dell'aria esterna
- Δp Diff. pressione parziale vapore
- P_e Pressione parziale del vapore superficiale esterna
- P_i Pressione parziale del vapore superficiale interna
- P_{sat}(T_{si}) Pressione sat. vapore superficiale interna
- T^{min}_{si} Temperatura superficiale interna minima
- f^{min}_{Rsi} Fattore di temperatura superficiale interna
- g_c Flusso di vapore condensato
- M_a Quantità di condensa accumulata
- Periodi Periodi del mese
- n Rinnovo d'aria

Flusso di vapore condensato e quantità di condensa



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 02 Copertura kalzip**

Codice struttura

S2**VALORI CALCOLATI****Pressione parziale del vapore - P (Pa)**

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
Int.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
11	1519	1519	1518	1518	1518	1519	1519	1341	1597	1848	1792	1464
10	1502	1186	977	917	995	1204	1497	1765	2272	2558	1791	1464
9	1502	1186	977	917	995	1204	1497	1765	2272	2558	1791	1464
8	1502	1186	977	916	995	1203	1497	1765	2273	2559	1791	1464
7	1502	1186	976	915	994	1203	1497	1766	2274	2560	1791	1464
6	1500	1143	906	838	927	1163	1494	1820	2361	2651	1791	1464
5	1499	1120	868	796	890	1141	1492	1850	2408	2701	1790	1464
4	1498	1096	831	754	854	1118	1491	1880	2455	2751	1790	1464
3	1495	1084	817	741	841	1106	1481	1877	2455	2842	1790	1464
2	1462	1064	802	732	820	1072	1426	1824	2372	2746	1787	1464
1	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469
Est.	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Pressione di saturazione del vapore - Psat (Pa)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2455	2842	2757	2252
Int.	2318	2300	2288	2284	2289	2301	2315	2059	2455	2842	2757	2252
11	2314	2293	2278	2273	2280	2294	2310	2058	2455	2842	2757	2252
10	2313	2292	2277	2272	2279	2294	2310	2058	2455	2842	2757	2252
9	2270	2211	2169	2155	2173	2214	2260	2048	2455	2842	2757	2252
8	2102	1911	1781	1738	1793	1921	2070	2011	2455	2842	2757	2252
7	1835	1470	1246	1176	1266	1488	1771	1947	2455	2842	2757	2252
6	1824	1454	1227	1157	1248	1472	1760	1944	2455	2842	2757	2252
5	1698	1264	1012	936	1034	1285	1620	1912	2455	2842	2757	2252
4	1579	1096	831	754	854	1118	1491	1880	2455	2842	2757	2252
3	1570	1084	817	741	841	1106	1481	1877	2455	2842	2757	2252
2	1569	1083	816	739	839	1105	1480	1877	2455	2842	2757	2252
1	1569	1083	816	739	839	1105	1480	1877	2455	2842	2757	2252
Est.	1567	1080	813	736	836	1102	1477	1876	2455	2842	2757	2252

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Temperatura - T (°C)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
Int.	19,9	19,7	19,7	19,6	19,7	19,8	19,8	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
11	19,8	19,7	19,6	19,6	19,6	19,7	19,8	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
10	19,8	19,7	19,6	19,5	19,6	19,7	19,8	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
9	19,5	19,1	18,8	18,7	18,8	19,1	19,5	17,9	20,8	23,2	22,7	19,4
8	18,3	16,8	15,7	15,3	15,8	16,9	18,1	17,6	20,8	23,2	22,7	19,4
7	16,1	12,7	10,2	9,4	10,5	12,9	15,6	17,1	20,8	23,2	22,7	19,4
6	16,1	12,6	10,0	9,1	10,2	12,7	15,5	17,1	20,8	23,2	22,7	19,4
5	14,9	10,4	7,1	6,0	7,5	10,7	14,2	16,8	20,8	23,2	22,7	19,4
4	13,8	8,3	4,3	2,9	4,7	8,6	12,9	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
3	13,7	8,2	4,1	2,7	4,5	8,5	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
2	13,7	8,1	4,1	2,7	4,5	8,4	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
1	13,7	8,1	4,1	2,7	4,5	8,4	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
Est.	13,7	8,1	4,0	2,6	4,4	8,4	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

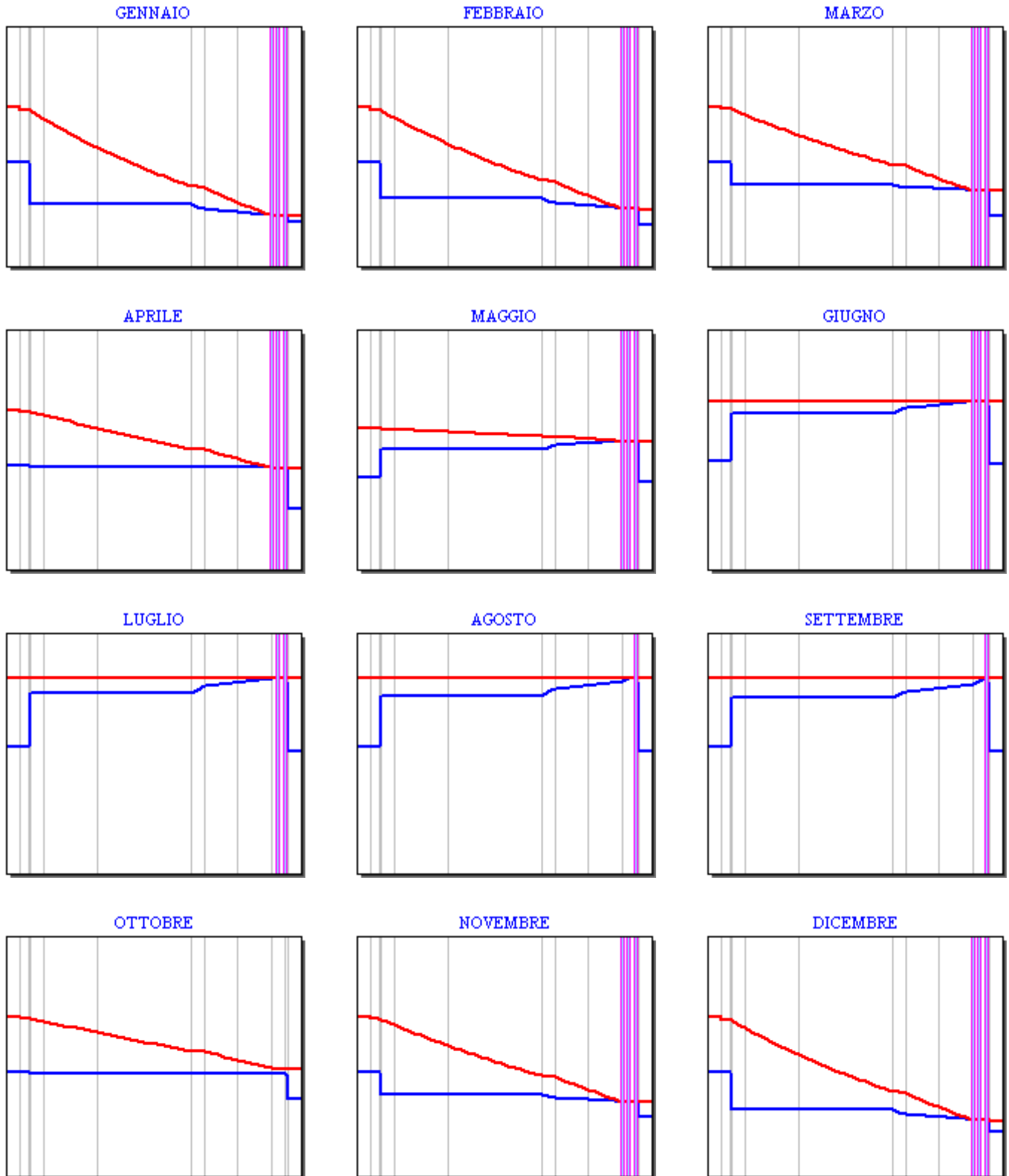
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
 GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)

Tipo di struttura: **CO 02 Copertura kalzip**

Codice struttura

S2

GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)



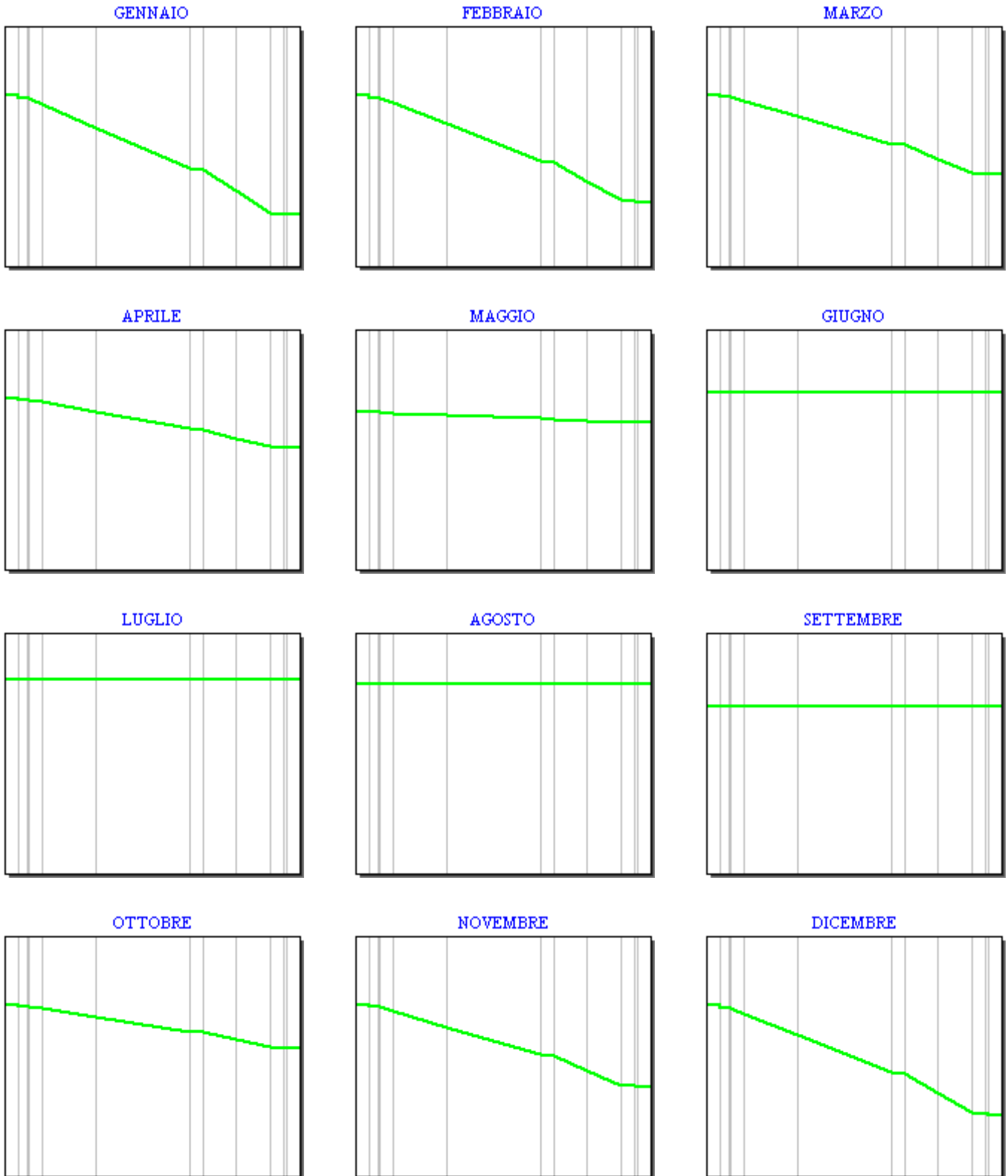
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
 GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)

Tipo di struttura: **CO 02 Copertura kalzip**

Codice struttura

S2

GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO.

secondo UNI TS 11300-1 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 04 Chiusura piana con ghiaia**

Codice struttura

S3

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'alto verso il basso)	s [mm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	ρ [kg/m ³]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Ghiaietto	50	1,400	28,000	1800	40,000	40,000	0,036
2	Impermeabilizzazione con bitume	5	0,170	34,000	1200	0,004	0,004	0,029
3	P.V.C. espanso rigido in lastre	50	0,041	0,820	40	1,000	1,000	1,220
4	Impermeabilizzazione con bitume	5	0,170	34,000	1200	0,004	0,004	0,029
5	Sottofondo di cemento magro	50	0,900	18,000	1800	6,667	6,667	0,056
6	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	20	0,120	6,000	450	0,311	0,935	0,167
7	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	45	1,490	33,111	2200	2,857	2,857	0,030
8	Lana roccia RW211	140	0,035	0,250	40	200,000	200,000	4,000
9	Lana roccia RW225	80	0,035	0,438	70	200,000	200,000	2,286
10	Lana roccia RW211	20	0,035	1,750	40	200,000	200,000	0,571
11	Barriera vapore in fogli di polietilene	2	0,350	175	950	0,004	0,004	0,006
12	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050

Spessore totale [mm]

480

Conduttanza unitaria
superficiale interna

10,000

Resistenza unitaria
superficiale interna

0,100

Massa superficiale [kg/m²]

316

Conduttanza unitaria
superficiale esterna

16,115

Resistenza unitaria
superficiale esterna

0,062

Trasmittanza periodica [W/m²K]

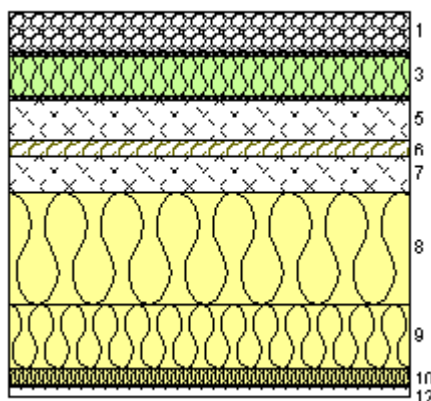
0,004

**TRASMITTANZA
TOTALE [W/m²K]**

0,116

**RESISTENZA TERMICA
TOTALE [m²K/W]**

8,641



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	2,6	648
Estiva (luglio)	23,2	1847	23,2	1790

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a _____ [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 9 [g/m²]. Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 747 [Pa]

Simbologia

s Spessore dello strato
 λ Conduttività
 C Conduttanza
 ρ Massa volumica

δa Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%
 δu Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%
 R Resistenza termica dello strato

Ti Temperatura interna
 Te Temperatura esterna
 Pi Pressione parziale interna
 Pe Pressione parziale esterna

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

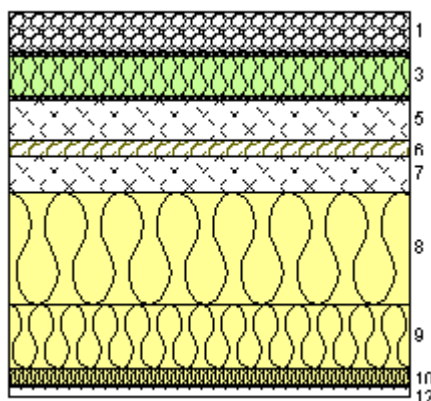
Tipo di struttura: **CO 04 Chiusura piana con ghiaia**

Codice struttura **S3**

		Calcolo per	POTENZA	ENERGIA
Vento	m/s	3,800	1,900	
Resistenza superficiale interna	m²K/W	0,100	0,100	
Resistenza superficiale esterna	m²K/W	0,040	0,062	
Maggiorazione isolante / non isolante	%	100% / 100%	100% / 100%	

N.	Descrizione	ρ [kg/m³]	μ	m [%]	s [mm]	λ [W/mK]	R [m²K/W]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
1	Ghiaietto	1800	5	100	50	1,400	0,036	1,400	0,036
2	Impermeabilizzazione con bitume	1200	50000	0	5	0,170	0,029	0,170	0,029
3	P.V.C. espanso rigido in lastre	40	200	20	50	0,041	1,220	0,041	1,220
4	Impermeabilizzazione con bitume	1200	50000	0	5	0,170	0,029	0,170	0,029
5	Sottofondo di cemento magro	1800	30	20	50	0,900	0,056	0,900	0,056
6	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	450	643	20	20	0,120	0,167	0,120	0,167
7	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	2200	70	20	45	1,490	0,030	1,490	0,030
8	Lana roccia RW211	40	1	0	140	0,035	4,000	0,035	4,000
9	Lana roccia RW225	70	1	0	80	0,035	2,286	0,035	2,286
10	Lana roccia RW211	40	1	0	20	0,035	0,571	0,035	0,571
11	Barriera vapore in fogli di polietilene	950	50000	0	2	0,350	0,006	0,350	0,006
12	Cartongesso in lastre	900	10	0	12,5	0,250	0,050	0,250	0,050

Spessore totale	480 mm	R	m²K/W	8,619	8,641
Massa superficiale	327 kg/m²	U	W/m²K	0,116	0,116



CARATTERISTICHE TERMICHE DINAMICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 13786 - UNI 6946

Trasmittanza periodica	0,004 W/m²K
Fattore di attenuazione	0,036 -
Sfasamento dell'onda	-14,707 h

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 04 Chiusura piana con ghiaia**

Codice struttura

S3

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **-5,0 °C**

T e UR esterne verifica termoigrometrica:

- T e UR variabili, medie mensili.
- T fissa, media annuale ____ °C UR fissa pari a ____ %
- T fissa, pari a ____ °C UR fissa pari a ____ %

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

Classe concentrazione del vapore: Umidità relativa interna costante: **60,0% + 5%**

Ricambio d'aria costante e produzione di vapore nota: Ricambio d'aria variabile e produzione vapore nota:

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **0,318** 10^{-12} kg/sm² Pa

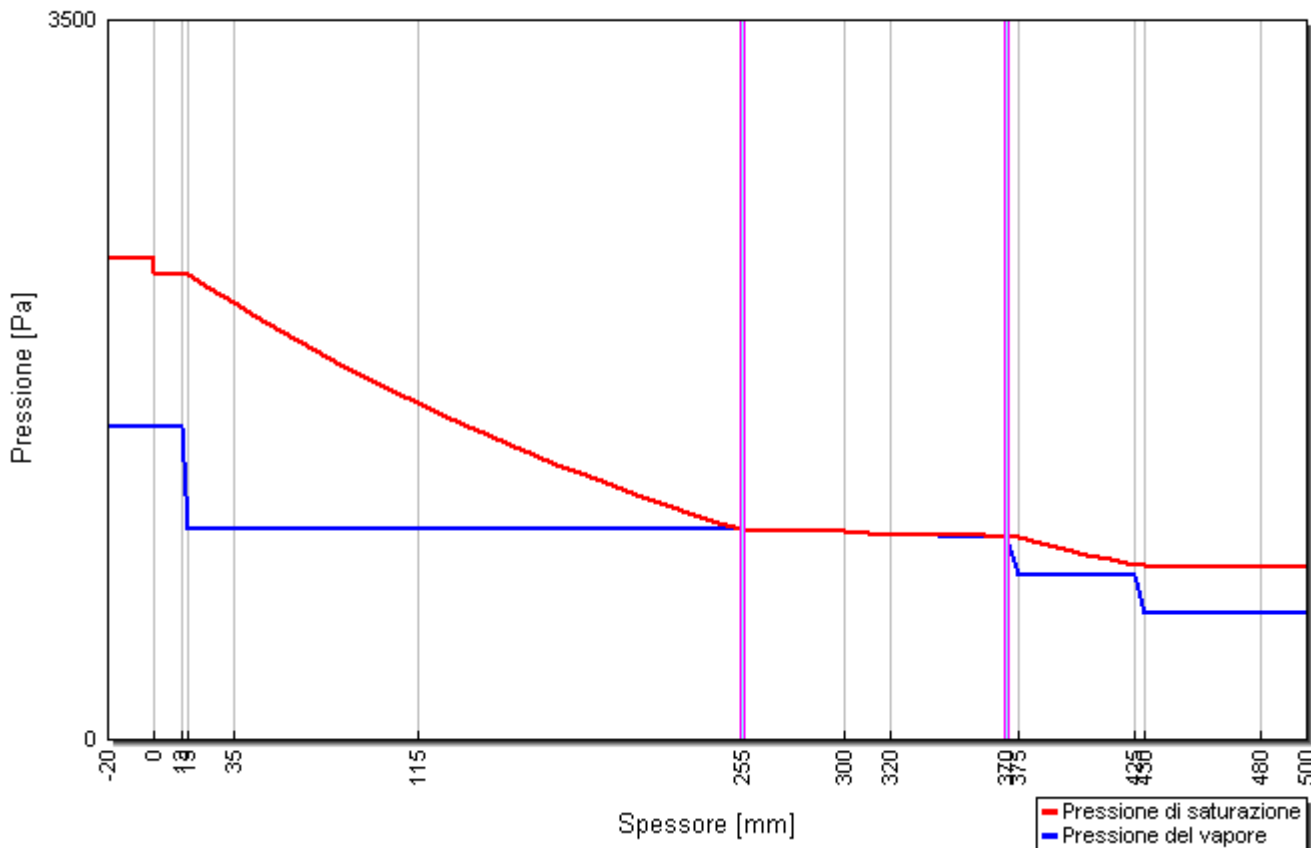
Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,040** m²K/W

Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva** per UR_{sup. amm} **80,0%**
 Mese critico **Gennaio** f^{max}_{Rsi} **0,810** ≤ f_{Rsi} **0,971**

Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**

Verifica termoigrometrica: Mese con massima condensa accumulata: **Marzo**
 Quantità di condensa ammissibile: **100** g/m²
 Q.tà massima di condensa durante l'anno: **9** g/m²
 L'evaporazione alla fine della stagione è: **Completa**

Grafico delle pressioni del mese di MARZO



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 04 Chiusura piana con ghiaia**

Codice struttura **S3**

RISULTATI VERIFICA DI CRITICITA' DELL'UMIDITA' SUPERFICIALE

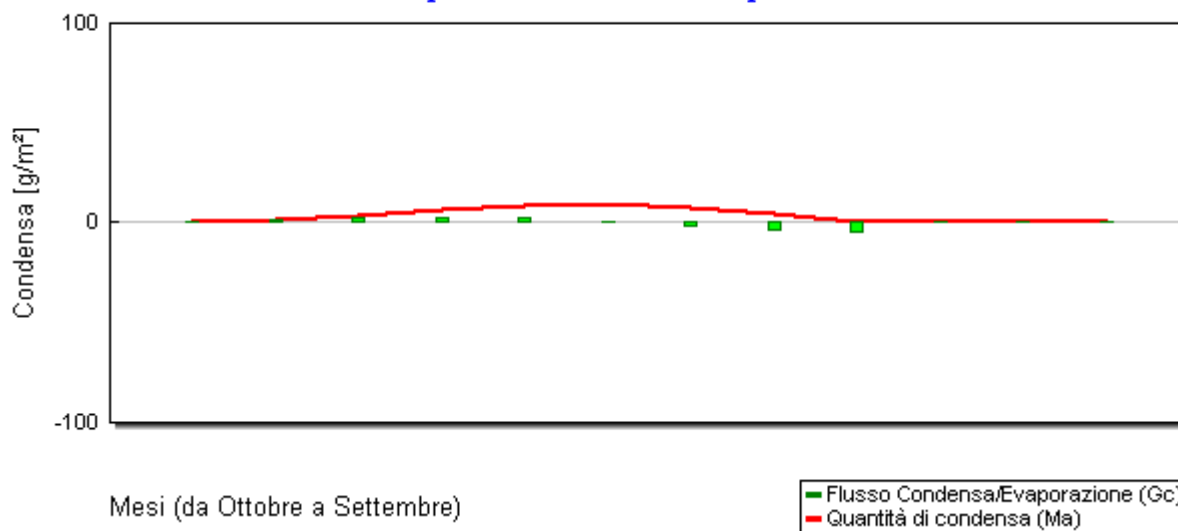
Mese	T _e °C	φ _e %	P _e Pa	n h ⁻¹	Δ p x 1.1 Pa	P _i Pa	P _{sat} (T _{si}) Pa	T ^{min} _{si} °C	T _i °C	f ^{min} _{Rsi} -
Ottobre	13,7	71,8%	1125	-----	394	1519	1899	16,7	20,0	0,474
Novembre	8,1	79,9%	862	-----	657	1519	1899	16,7	20,0	0,722
Dicembre	4,0	79,9%	650	-----	869	1519	1899	16,7	20,0	0,793
Gennaio	2,6	88,0%	648	-----	871	1519	1899	16,7	20,0	0,810
Febbraio	4,4	73,1%	611	-----	908	1519	1899	16,7	20,0	0,788
Marzo	8,4	66,8%	736	-----	783	1519	1899	16,7	20,0	0,715
Aprile	12,8	59,6%	881	-----	638	1519	1899	16,7	20,0	0,540

RISULTATI VERIFICA DELLA CONDENSA INTERSTIZIALE

Mese	T _e °C	φ _e %	T _i °C	φ _i %	g _c g/m ²	M _a g/m ²	Periodi	Stato
Ottobre	13,7	71,8%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Novembre	8,1	79,9%	20,0	65,0%	1	1	1	Condensa
Dicembre	4,0	79,9%	20,0	65,0%	2	3	1	Condensa
Gennaio	2,6	88,0%	20,0	65,0%	3	6	1	Condensa
Febbraio	4,4	73,1%	20,0	65,0%	2	8	2	Condensa
Marzo	8,4	66,8%	20,0	65,0%	7,65 E-01	9	1	Condensa
Aprile	12,8	59,6%	20,0	65,0%	-1	8	1	Essiccazione
Maggio	16,5	68,9%	18,0	65,0%	-4	4	1	Essiccazione
Giugno	20,8	62,7%	20,8	65,0%	-4	0	3	Essiccazione
Luglio	23,2	63,0%	23,2	65,0%	0	0	1	Asciutto
Agosto	22,7	63,8%	22,7	65,0%	0	0	1	Asciutto
Settembre	19,4	65,2%	19,4	65,0%	0	0	1	Asciutto

- T_i Temperatura dell'aria interna
- T_e Temperatura dell'aria esterna
- φ_i Umidità relativa dell'aria interna
- φ_e Umidità relativa dell'aria esterna
- Δp Diff. pressione parziale vapore
- P_e Pressione parziale del vapore superficiale esterna
- P_i Pressione parziale del vapore superficiale interna
- P_{sat}(T_{si}) Pressione sat. vapore superficiale interna
- T^{min}_{si} Temperatura superficiale interna minima
- f^{min}_{Rsi} Fattore di temperatura superficiale interna
- g_c Flusso di vapore condensato
- M_a Quantità di condensa accumulata
- Periodi Periodi del mese
- n Rinnovo d'aria

Flusso di vapore condensato e quantità di condensa



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 04 Chiusura piana con ghiaia**

Codice struttura

S3**VALORI CALCOLATI****Pressione parziale del vapore - P (Pa)**

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
Int.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
12	1519	1519	1518	1518	1518	1519	1519	1342	1596	1847	1792	1464
11	1456	1251	998	922	1020	1272	1610	1908	1587	1838	1787	1464
10	1456	1251	998	922	1020	1272	1610	1908	1587	1838	1787	1464
9	1456	1251	997	922	1020	1272	1610	1908	1587	1838	1787	1464
8	1456	1251	997	921	1019	1271	1610	1909	1587	1838	1787	1464
7	1454	1245	991	915	1014	1266	1606	1908	1587	1838	1787	1464
6	1446	1225	968	892	991	1246	1590	1904	1585	1837	1786	1464
5	1445	1222	966	889	988	1243	1589	1904	1585	1837	1786	1464
4	1288	1046	811	753	804	995	1242	1604	1563	1814	1772	1467
3	1282	1039	805	747	796	985	1228	1592	1562	1813	1772	1467
2	1125	862	650	648	611	736	881	1293	1539	1790	1758	1469
1	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469
Est.	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Pressione di saturazione del vapore - Psat (Pa)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2455	2842	2757	2252
Int.	2311	2288	2272	2266	2273	2290	2307	2057	2455	2842	2757	2252
12	2306	2279	2259	2252	2261	2280	2302	2056	2455	2842	2757	2252
11	2305	2278	2257	2251	2259	2279	2301	2056	2455	2842	2757	2252
10	2247	2170	2115	2097	2121	2174	2235	2043	2455	2842	2757	2252
9	2028	1784	1622	1569	1637	1796	1987	1994	2455	2842	2757	2252
8	1688	1251	997	921	1019	1271	1610	1909	2455	2842	2757	2252
7	1686	1247	993	917	1015	1268	1608	1909	2455	2842	2757	2252
6	1673	1228	972	896	995	1249	1593	1905	2455	2842	2757	2252
5	1669	1222	966	889	988	1243	1589	1904	2455	2842	2757	2252
4	1667	1219	962	886	985	1240	1586	1903	2455	2842	2757	2252
3	1575	1090	824	747	847	1112	1486	1878	2455	2842	2757	2252
2	1572	1087	821	744	844	1109	1484	1878	2455	2842	2757	2252
1	1570	1084	817	740	840	1106	1481	1877	2455	2842	2757	2252
Est.	1567	1080	813	736	836	1102	1477	1876	2455	2842	2757	2252

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Temperatura - T (°C)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
Int.	19,8	19,7	19,5	19,5	19,6	19,7	19,8	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
12	19,8	19,6	19,5	19,4	19,5	19,6	19,8	17,9	20,8	23,2	22,7	19,4
11	19,8	19,6	19,4	19,4	19,5	19,6	19,7	17,9	20,8	23,2	22,7	19,4
10	19,4	18,8	18,4	18,3	18,4	18,8	19,3	17,8	20,8	23,2	22,7	19,4
9	17,7	15,7	14,2	13,7	14,4	15,8	17,4	17,5	20,8	23,2	22,7	19,4
8	14,9	10,3	6,9	5,8	7,3	10,5	14,1	16,8	20,8	23,2	22,7	19,4
7	14,8	10,2	6,9	5,7	7,2	10,5	14,1	16,8	20,8	23,2	22,7	19,4
6	14,7	10,0	6,6	5,4	6,9	10,3	14,0	16,7	20,8	23,2	22,7	19,4
5	14,7	9,9	6,5	5,3	6,8	10,2	13,9	16,7	20,8	23,2	22,7	19,4
4	14,7	9,9	6,4	5,2	6,8	10,2	13,9	16,7	20,8	23,2	22,7	19,4
3	13,8	8,2	4,2	2,8	4,6	8,5	12,9	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
2	13,8	8,2	4,1	2,8	4,5	8,5	12,9	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4

EC601 - [ScuolaElementare]

1	13,7	8,2	4,1	2,7	4,5	8,5	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
Est.	13,7	8,1	4,0	2,6	4,4	8,4	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

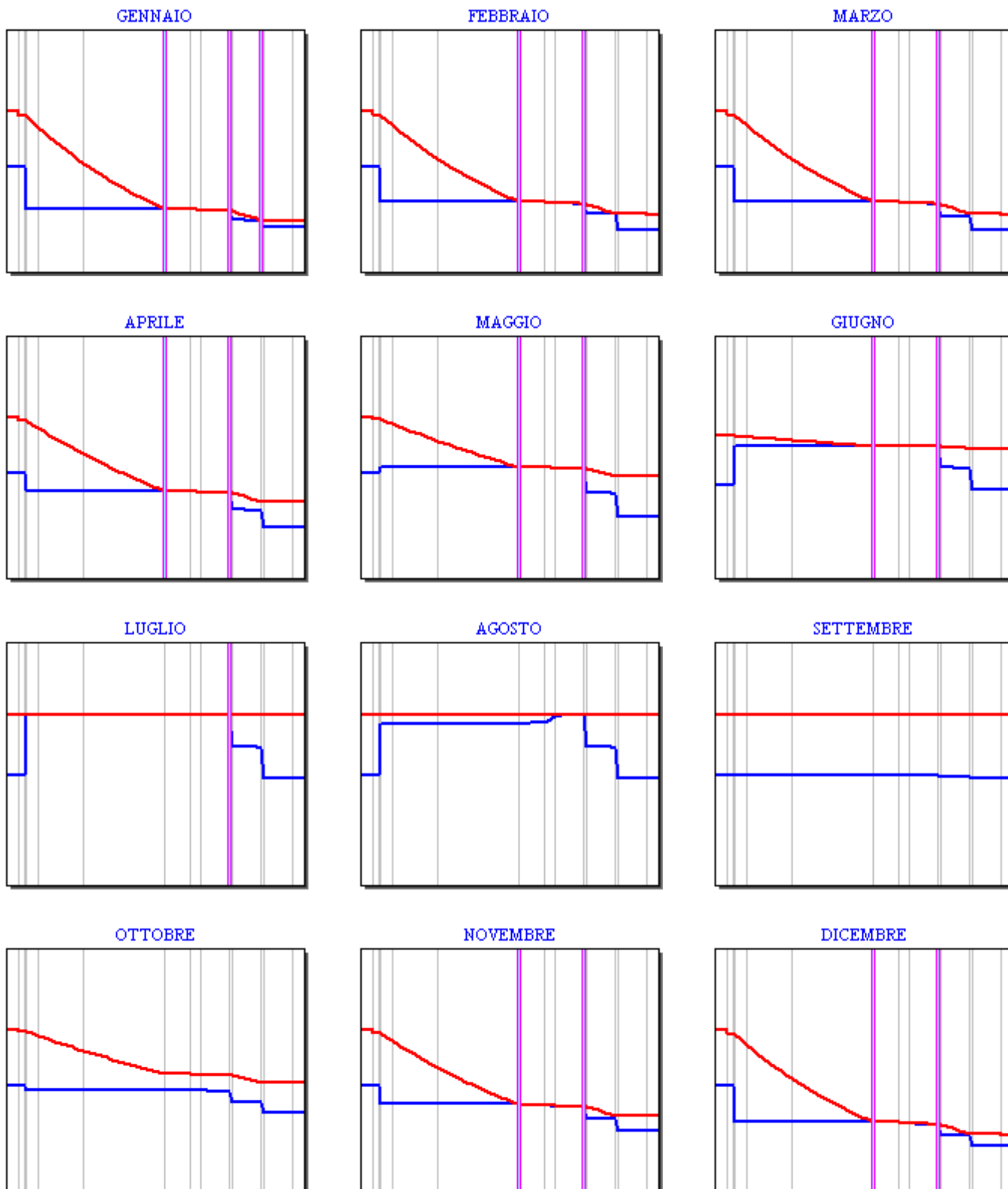
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)

Tipo di struttura: **CO 04 Chiusura piana con ghiaia**

Codice struttura

S3

GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)



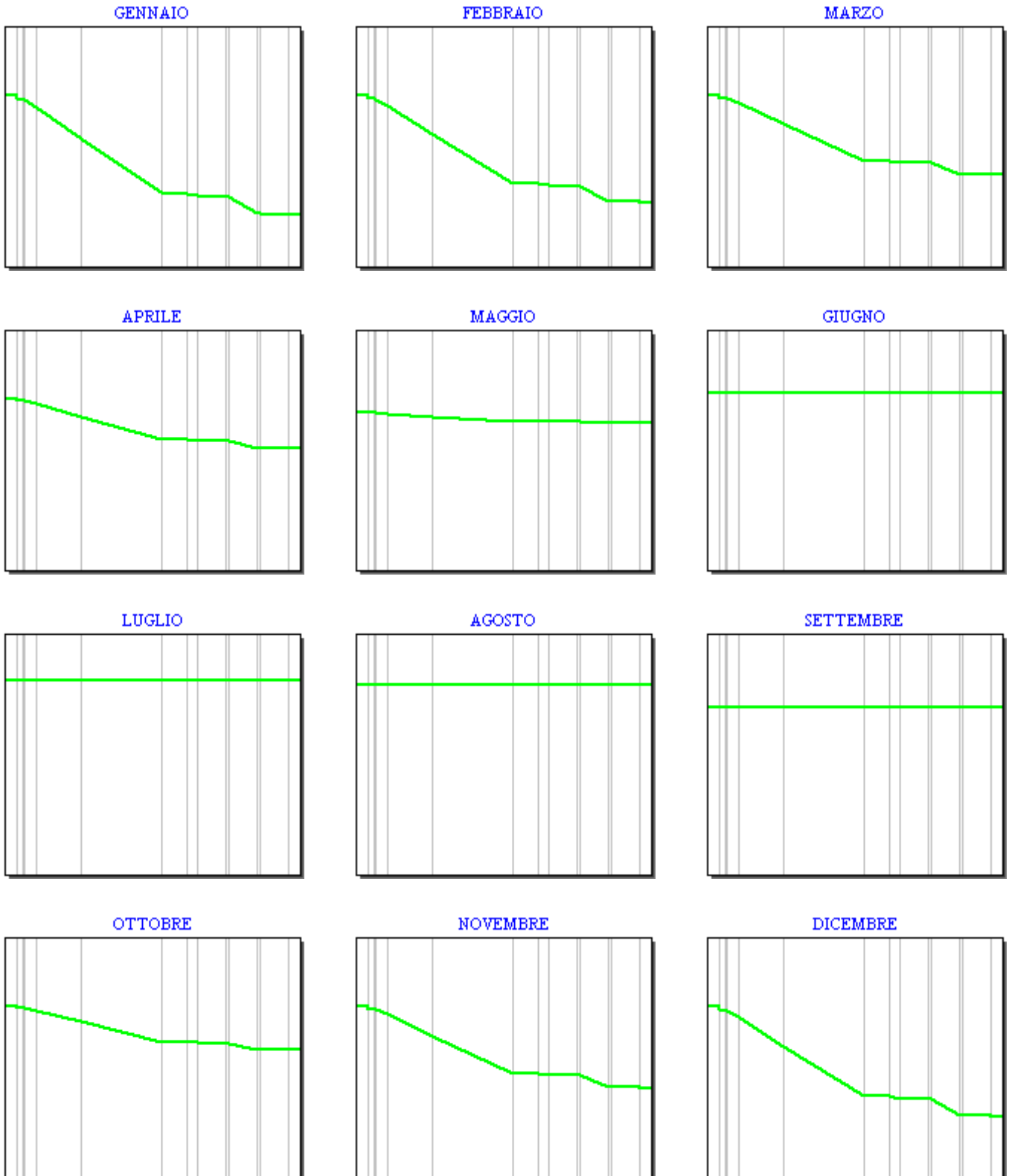
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
 GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)

Tipo di struttura: **CO 04 Chiusura piana con ghiaia**

Codice struttura

S3

GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'INVOLUCRO EDILIZIO.

secondo UNI TS 11300-1 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: CO 06 Copertura piana verde

Codice struttura

S4

N.	DESCRIZIONE STRATO (dall'alto verso il basso)	s [mm]	λ [W/mK]	C [W/m ² K]	ρ [kg/m ³]	$\delta a \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	$\delta u \times 10^{-12}$ [kg/msPa]	R [m ² K/W]
1	Terreno umido	80	2,000	25,000	2600	200,000	200,000	0,040
2	Ghiaietto	50	1,400	28,000	1800	40,000	40,000	0,036
3	Impermeabilizzazione con bitume	5	0,170	34,000	1200	0,004	0,004	0,029
4	Poliuretano espanso in fabbrica fra lamiere sigillate	50	0,024	0,480	40	1,429	1,429	2,083
5	Impermeabilizzazione con bitume	5	0,170	34,000	1200	0,004	0,004	0,029
6	Sottofondo di cemento magro	50	0,900	18,000	1800	6,667	6,667	0,056
7	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	20	0,120	6,000	450	0,311	0,935	0,167
8	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	45	1,490	33,111	2200	2,857	2,857	0,030
9	Lana roccia RW211	140	0,035	0,250	40	200,000	200,000	4,000
10	Lana roccia RW225	0	1,000	-	70	200,000	200,000	0,000
11	Lana roccia RW211	20	0,035	1,750	40	200,000	200,000	0,571
12	Barriera vapore in fogli di polietilene	2	0,350	175	950	0,004	0,004	0,006
13	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050

Spessore totale [mm]

480

Conduttanza unitaria
superficiale interna

10,000

Resistenza unitaria
superficiale interna

0,100

Massa superficiale [kg/m²]

518

Conduttanza unitaria
superficiale esterna

16,115

Resistenza unitaria
superficiale esterna

0,062

Trasmittanza periodica [W/m²K]

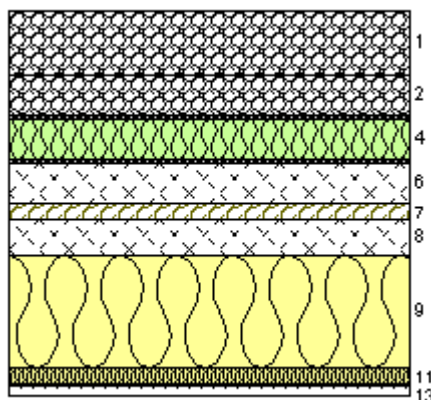
0,003

**TRASMITTANZA
TOTALE [W/m²K]**

0,138

**RESISTENZA TERMICA
TOTALE [m²K/W]**

7,259



VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	2,6	648
Estiva (luglio)	23,2	1847	23,2	1790

- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a _____ [Pa]
- La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale. La quantità stagionale di condensato è pari a 5 [g/m²]
Tale quantità può rievaporare durante la stagione estiva.
- La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale. La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a 734 [Pa]

Simbologia

s Spessore dello strato
 λ Conduttività
C Conduttanza

δa Permeabilità al vapore nell'intervallo 0-50%
 δu Permeabilità al vapore nell'intervallo 50-95%
R Resistenza termica dello strato

Ti Temperatura interna
Te Temperatura esterna
Pi Pressione parziale interna

ρ Massa volumica

P_e Pressione parziale esterna

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

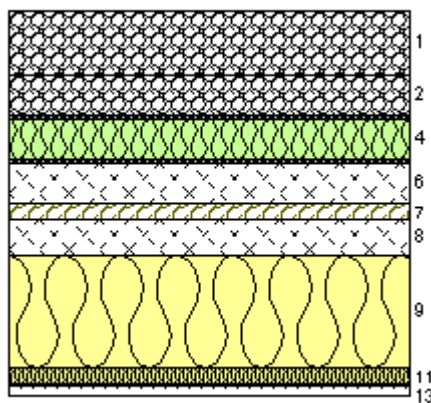
Tipo di struttura: **CO 06 Copertura piana verde**

Codice struttura **S4**

		Calcolo per	POTENZA	ENERGIA
Vento	m/s	3,800	1,900	
Resistenza superficiale interna	m²K/W	0,100	0,100	
Resistenza superficiale esterna	m²K/W	0,040	0,062	
Maggiorazione isolante / non isolante	%	100% / 100%	100% / 100%	

N.	Descrizione	ρ [kg/m³]	μ	m [%]	s [mm]	λ [W/mK]	R [m²K/W]	λ [W/mK]	R [m²K/W]
1	Terreno umido	2600	1	50	80	2,000	0,040	2,000	0,040
2	Ghiaietto	1800	5	100	50	1,400	0,036	1,400	0,036
3	Impermeabilizzazione con bitume	1200	50000	0	5	0,170	0,029	0,170	0,029
4	Poliuretano espanso in fabbrica fra lamiera sigillate	40	140	15	50	0,024	2,083	0,024	2,083
5	Impermeabilizzazione con bitume	1200	50000	0	5	0,170	0,029	0,170	0,029
6	Sottofondo di cemento magro	1800	30	20	50	0,900	0,056	0,900	0,056
7	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	450	643	20	20	0,120	0,167	0,120	0,167
8	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	2200	70	20	45	1,490	0,030	1,490	0,030
9	Lana roccia RW211	40	1	0	140	0,035	4,000	0,035	4,000
10	Lana roccia RW225	70	1	0	0	1,000	0,000	1,000	0,000
11	Lana roccia RW211	40	1	0	20	0,035	0,571	0,035	0,571
12	Barriera vapore in fogli di polietilene	950	50000	0	2	0,350	0,006	0,350	0,006
13	Cartongesso in lastre	900	10	0	12,5	0,250	0,050	0,250	0,050

Spessore totale	480 mm	R	m²K/W	7,237	7,259
Massa superficiale	530 kg/m²	U	W/m²K	0,138	0,138



CARATTERISTICHE TERMICHE DINAMICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 13786 - UNI 6946

Trasmittanza periodica	0,003 W/m²K
Fattore di attenuazione	0,020 -
Sfasamento dell'onda	-15,297 h

CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 06 Copertura piana verde**

Codice struttura

S4

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **-5,0 °C**

T e UR esterne verifica termoigrometrica:

- T e UR variabili, medie mensili.
- T fissa, media annuale ____ °C UR fissa pari a ____ %
- T fissa, pari a ____ °C UR fissa pari a ____ %

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

- Classe concentrazione del vapore:
- Ricambio d'aria costante e produzione di vapore nota:
- Umidità relativa interna costante: **60,0% + 5%**
- Ricambio d'aria variabile e produzione vapore nota:

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **0,320** 10^{-12} kg/sm² Pa

Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,040** m²K/W

Verifica criticità di condensa superficiale:

Positiva per UR_{sup. amm} **80,0%**
 Mese critico **Gennaio** f_{Rsi}^{max} **0,810** ≤ f_{Rsi} **0,966**

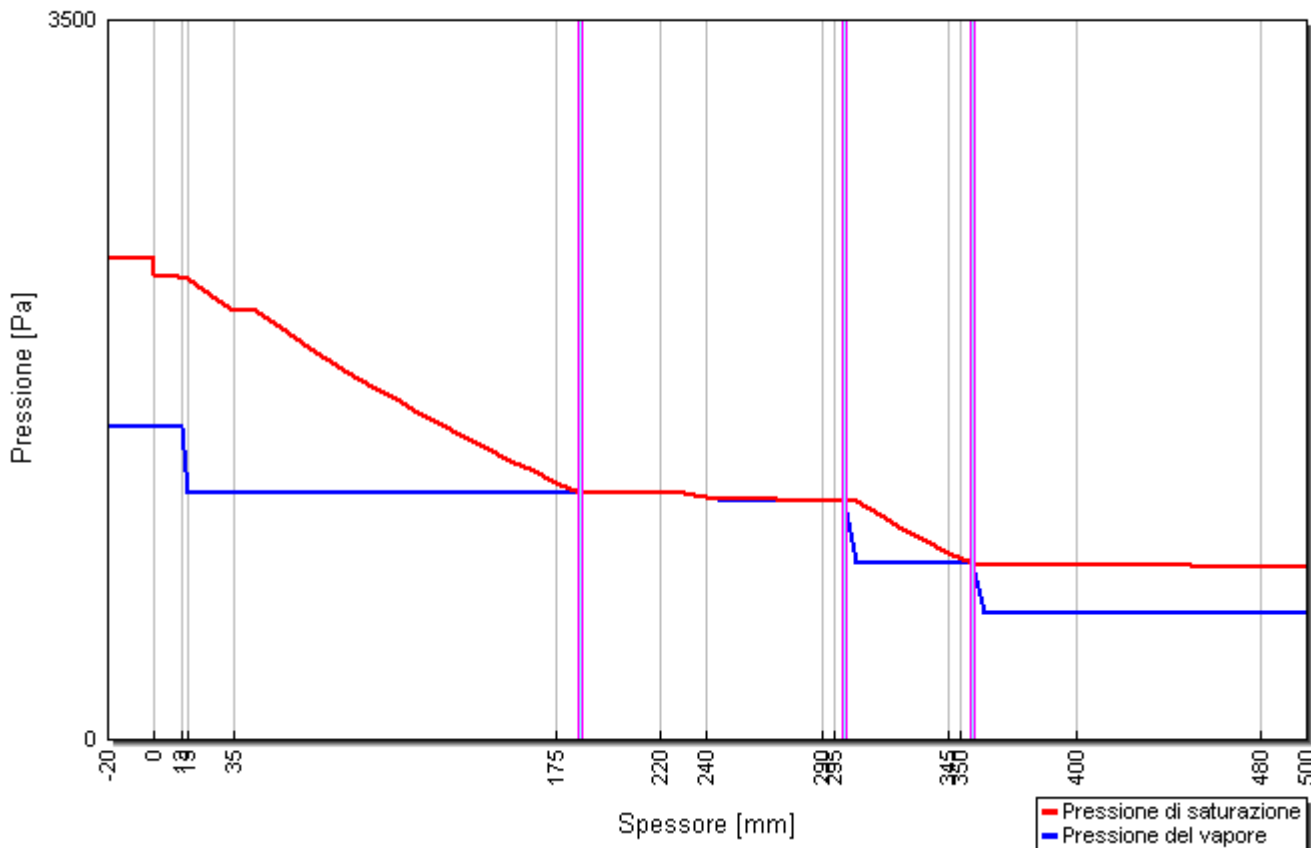
Verifica del rischio di condensa interstiziale:

Positiva

Verifica termoigrometrica:

Mese con massima condensa accumulata: **Febbraio**
 Quantità di condensa ammissibile: **40** g/m²
 Q.tà massima di condensa durante l'anno: **5** g/m²
 L'evaporazione alla fine della stagione è: **Completa**

Grafico delle pressioni del mese di FEBBRAIO



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 06 Copertura piana verde**

Codice struttura

S4

RISULTATI VERIFICA DI CRITICITA' DELL'UMIDITA' SUPERFICIALE

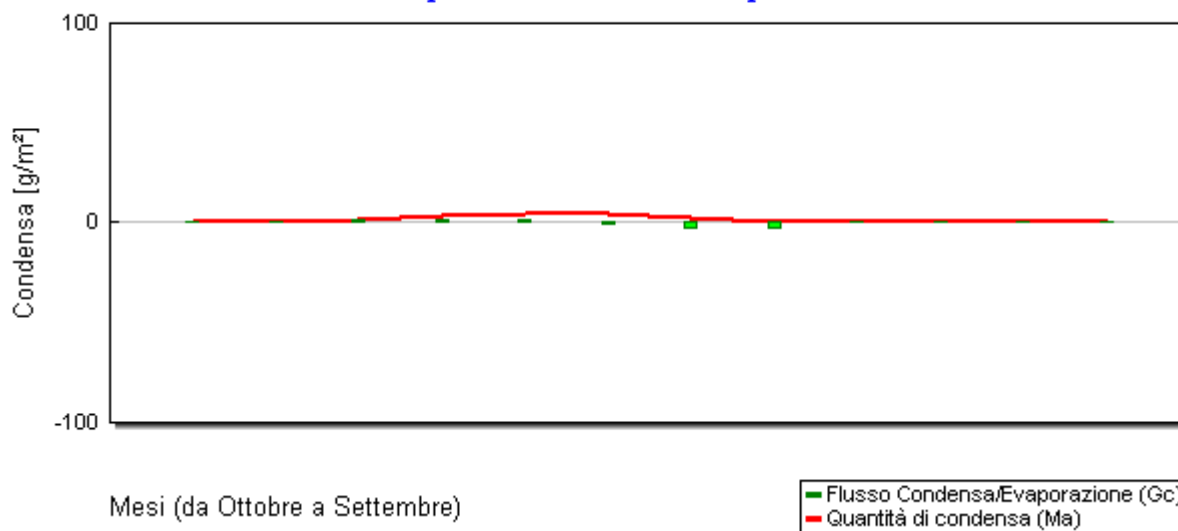
Mese	T _e °C	φ _e %	P _e Pa	n h ⁻¹	Δ p x 1.1 Pa	P _i Pa	P _{sat} (T _{si}) Pa	T ^{min} _{si} °C	T _i °C	f ^{min} _{Rsi} -
Ottobre	13,7	71,8%	1125	-----	394	1519	1899	16,7	20,0	0,474
Novembre	8,1	79,9%	862	-----	657	1519	1899	16,7	20,0	0,722
Dicembre	4,0	79,9%	650	-----	869	1519	1899	16,7	20,0	0,793
Gennaio	2,6	88,0%	648	-----	871	1519	1899	16,7	20,0	0,810
Febbraio	4,4	73,1%	611	-----	908	1519	1899	16,7	20,0	0,788
Marzo	8,4	66,8%	736	-----	783	1519	1899	16,7	20,0	0,715
Aprile	12,8	59,6%	881	-----	638	1519	1899	16,7	20,0	0,540

RISULTATI VERIFICA DELLA CONDENSA INTERSTIZIALE

Mese	T _e °C	φ _e %	T _i °C	φ _i %	g _c g/m ²	M _a g/m ²	Periodi	Stato
Ottobre	13,7	71,8%	20,0	65,0%	0	0	1	Asciutto
Novembre	8,1	79,9%	20,0	65,0%	1,36 E-01	1,36 E-01	1	Condensa
Dicembre	4,0	79,9%	20,0	65,0%	1	2	1	Condensa
Gennaio	2,6	88,0%	20,0	65,0%	2	3	1	Condensa
Febbraio	4,4	73,1%	20,0	65,0%	1	5	1	Condensa
Marzo	8,4	66,8%	20,0	65,0%	-3,53 E-01	4	1	Essiccazione
Aprile	12,8	59,6%	20,0	65,0%	-2	2	3	Essiccazione
Maggio	16,5	68,9%	18,0	65,0%	-2	0	2	Essiccazione
Giugno	20,8	62,7%	20,8	65,0%	0	0	1	Asciutto
Luglio	23,2	63,0%	23,2	65,0%	0	0	1	Asciutto
Agosto	22,7	63,8%	22,7	65,0%	0	0	1	Asciutto
Settembre	19,4	65,2%	19,4	65,0%	0	0	1	Asciutto

- T_i Temperatura dell'aria interna
- T_e Temperatura dell'aria esterna
- φ_i Umidità relativa dell'aria interna
- φ_e Umidità relativa dell'aria esterna
- Δp Diff. pressione parziale vapore
- P_e Pressione parziale del vapore superficiale esterna
- P_i Pressione parziale del vapore superficiale interna
- P_{sat}(T_{si}) Pressione sat. vapore superficiale interna
- T^{min}_{si} Temperatura superficiale interna minima
- f^{min}_{Rsi} Fattore di temperatura superficiale interna
- g_c Flusso di vapore condensato
- M_a Quantità di condensa accumulata
- Periodi Periodi del mese
- n Rinnovo d'aria

Flusso di vapore condensato e quantità di condensa



CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACI DELL'EDIFICIO

secondo UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13788 - UNI 10351 - UNI 10355

Tipo di struttura: **CO 06 Copertura piana verde**

Codice struttura

S4

VALORI CALCOLATI**Pressione parziale del vapore - P (Pa)**

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
Int.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
13	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1596	1847	1792	1464
12	1456	1399	1182	1111	1203	1434	1677	1333	1587	1838	1787	1464
11	1456	1399	1182	1111	1203	1434	1677	1333	1587	1838	1787	1464
10	1456	1399	1182	1111	1203	1434	1677	1333	1587	1838	1787	1464
9	1456	1399	1182	1110	1203	1434	1677	1333	1587	1838	1787	1464
8	1454	1395	1174	1102	1195	1427	1682	1333	1586	1838	1787	1464
7	1446	1379	1143	1070	1164	1400	1702	1332	1585	1837	1786	1464
6	1445	1378	1139	1066	1161	1397	1704	1332	1585	1837	1786	1464
5	1287	1104	839	763	863	1126	1299	1312	1562	1814	1772	1467
4	1283	1097	831	754	854	1119	1287	1312	1562	1813	1772	1467
3	1125	863	650	648	612	736	881	1292	1539	1790	1758	1469
2	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469
1	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469
Est.	1125	862	650	648	611	736	881	1292	1539	1790	1758	1469

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Pressione di saturazione del vapore - Psat (Pa)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2455	2842	2757	2252
Int.	2306	2279	2260	2253	2262	2281	2302	2056	2455	2842	2757	2252
13	2300	2268	2245	2237	2247	2270	2295	2055	2455	2842	2757	2252
12	2300	2267	2243	2235	2245	2268	2294	2055	2455	2842	2757	2252
11	2231	2140	2076	2054	2082	2145	2216	2040	2455	2842	2757	2252
10	2231	2140	2076	2054	2082	2145	2216	2040	2455	2842	2757	2252
9	1799	1415	1182	1110	1203	1434	1732	1938	2455	2842	2757	2252
8	1796	1411	1177	1105	1198	1429	1728	1937	2455	2842	2757	2252
7	1780	1386	1148	1076	1170	1405	1710	1933	2455	2842	2757	2252
6	1774	1378	1139	1066	1161	1397	1704	1932	2455	2842	2757	2252
5	1771	1373	1134	1061	1156	1393	1701	1931	2455	2842	2757	2252
4	1580	1097	831	754	854	1119	1491	1880	2455	2842	2757	2252
3	1577	1093	827	751	850	1115	1488	1879	2455	2842	2757	2252
2	1574	1089	823	746	846	1111	1485	1878	2455	2842	2757	2252
1	1570	1084	818	741	841	1106	1481	1877	2455	2842	2757	2252
Est.	1567	1080	813	736	836	1102	1477	1876	2455	2842	2757	2252

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Temperatura - T (°C)

Strato	Ottobre	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Amb.	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	18,0	20,8	23,2	22,7	19,4
Int.	19,8	19,6	19,5	19,4	19,5	19,6	19,8	17,9	20,8	23,2	22,7	19,4
13	19,7	19,5	19,4	19,3	19,4	19,5	19,7	17,9	20,8	23,2	22,7	19,4
12	19,7	19,5	19,3	19,3	19,4	19,5	19,7	17,9	20,8	23,2	22,7	19,4
11	19,3	18,6	18,1	17,9	18,1	18,6	19,1	17,8	20,8	23,2	22,7	19,4
10	19,3	18,6	18,1	17,9	18,1	18,6	19,1	17,8	20,8	23,2	22,7	19,4
9	15,8	12,1	9,4	8,5	9,7	12,3	15,2	17,0	20,8	23,2	22,7	19,4
8	15,8	12,1	9,4	8,4	9,6	12,3	15,2	17,0	20,8	23,2	22,7	19,4
7	15,7	11,8	9,0	8,0	9,3	12,0	15,1	17,0	20,8	23,2	22,7	19,4
6	15,6	11,7	8,9	7,9	9,2	11,9	15,0	17,0	20,8	23,2	22,7	19,4
5	15,6	11,7	8,8	7,8	9,1	11,9	15,0	17,0	20,8	23,2	22,7	19,4

4	13,8	8,3	4,3	2,9	4,7	8,6	12,9	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
3	13,8	8,3	4,3	2,9	4,6	8,6	12,9	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
2	13,8	8,2	4,2	2,8	4,6	8,5	12,9	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
1	13,7	8,2	4,1	2,7	4,5	8,5	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4
Est.	13,7	8,1	4,0	2,6	4,4	8,4	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

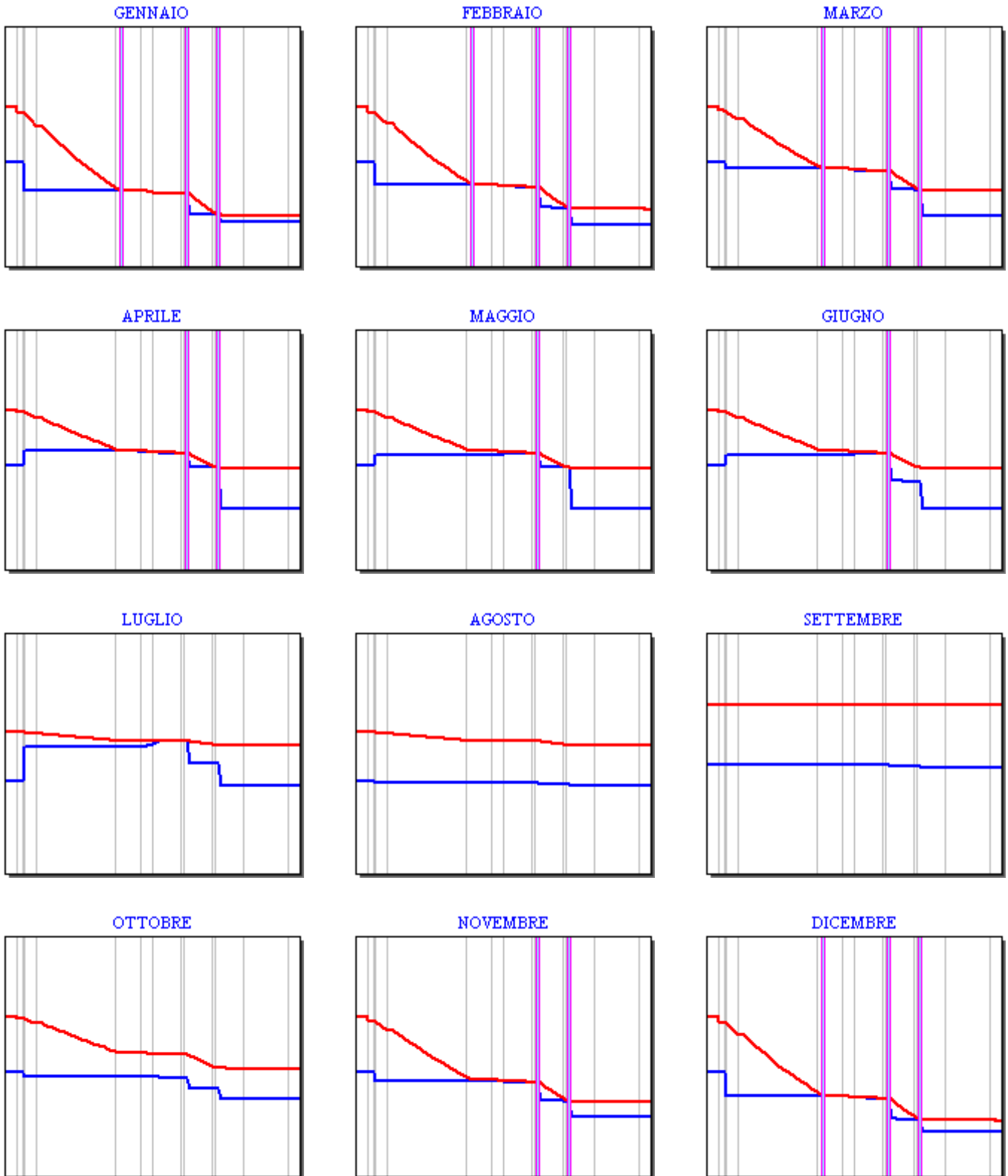
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
 GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)

Tipo di struttura: **CO 06 Copertura piana verde**

Codice struttura

S4

GRAFICI MENSILI DELLE PRESSIONI DI SATURAZIONE e PARZIALI DEL VAPORE (Pa)



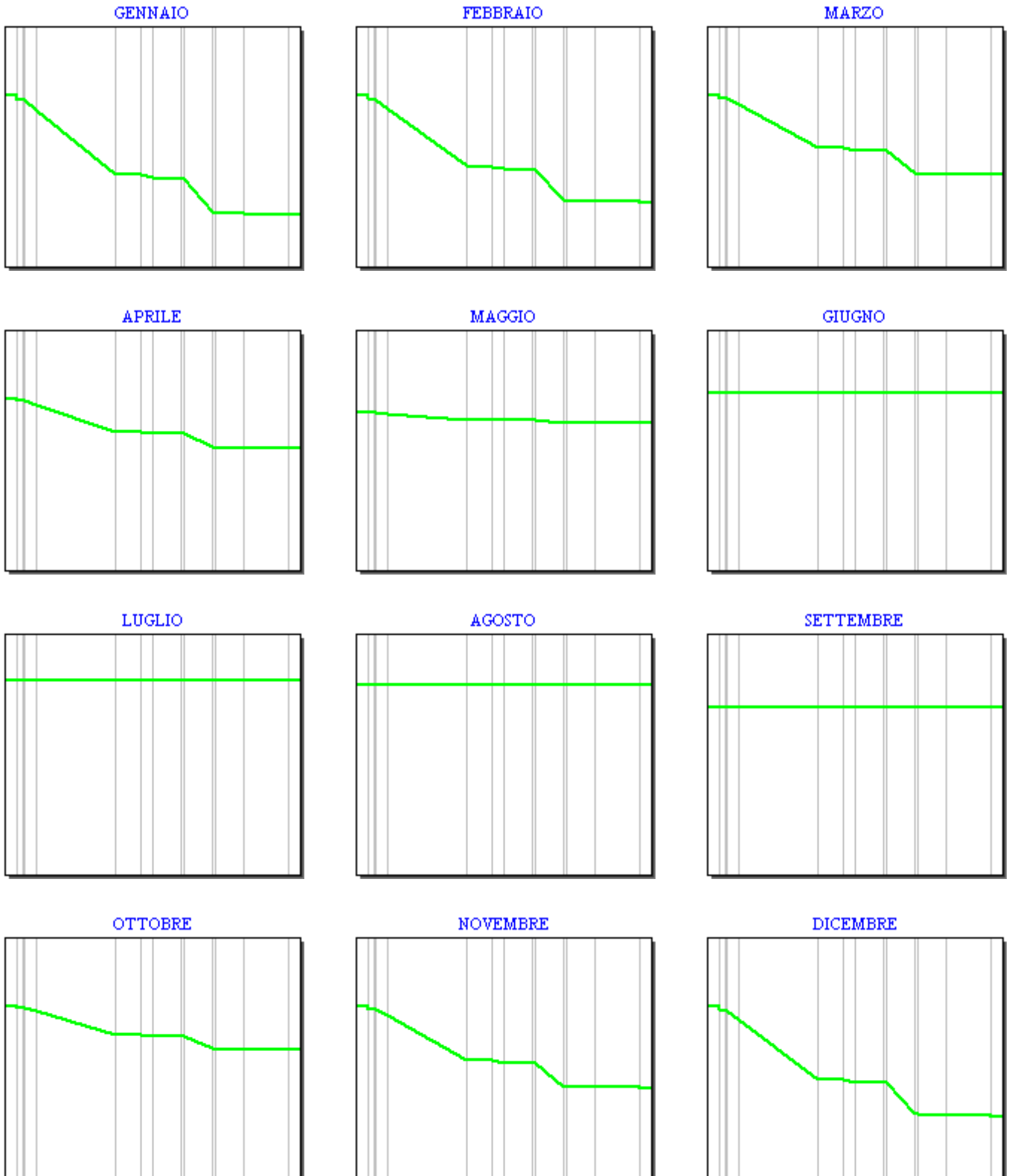
CARATTERISTICHE TERMICHE E IGROMETRICHE DEI COMPONENTI OPACHI DELL'EDIFICIO
 GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)

Tipo di struttura: **CO 06 Copertura piana verde**

Codice struttura

S4

GRAFICI DELLE TEMPERATURE (°C)



DATI GENERALI E CLIMATICI DELLA LOCALITA'**CENATE SOPRA Provincia: BG**

330 m slm
 45° 42' latitudine Nord
 9° 49' longitudine Est

Località di riferimento

per la temperatura : BERGAMO
 per la irradiazione I loc. : BERGAMO
 II loc. BRESCIA
 per il vento : BERGAMO

Vento

Regione A
 Direzione prevalente : NE
 Vento medio : 1,90 m/s
 Vento max : 3,80 m/s

Dati invernali

Temperatura esterna : -5,0 °C
 Gradi giorno : 2686
 Zona climatica : E
 Durata convenz. periodo riscald. : 183 gg

Dati estivi

Temp. esterna bulbo asciutto : 31,0 °C
 Temp. esterna bulbo umido : 22,7 °C
 Umidità relativa : 50,0 %
 Escursione term. giornaliera : 13,0 °C

Temperature medie mensili (°C):

GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
2,6	4,4	8,4	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4	13,7	8,1	4,0

Irradiazione media mensile (MJ/m²giorno) 45° 42' Latit. Nord. 9° 49' Longit. Est.

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
OR	4,2	6,8	11,2	15,5	19,0	20,4	22,2	18,6	13,9	9,1	4,6	3,9
N	1,6	2,4	3,6	5,3	7,5	8,8	8,9	6,3	4,2	2,9	1,8	1,4
NE	1,7	2,9	5,2	7,8	10,1	11,3	12,0	9,5	6,5	3,8	2,0	1,5
E	3,4	5,2	8,2	10,7	12,5	13,2	14,5	12,7	10,0	7,0	3,6	3,2
SE	5,6	7,6	10,2	11,4	11,6	11,6	13,0	12,8	11,8	10,0	5,9	5,5
S	7,2	9,1	10,9	10,3	9,6	9,2	10,2	10,9	11,8	11,6	7,2	7,1
SO	5,6	7,6	10,2	11,4	11,6	11,6	13,0	12,8	11,8	10,0	5,9	5,5
O	3,4	5,2	8,2	10,7	12,5	13,2	14,5	12,7	10,0	7,0	3,6	3,2
NO	1,7	2,9	5,2	7,8	10,1	11,3	12,0	9,5	6,5	3,8	2,0	1,5

**CALCOLO DEL FABBISOGNO DI POTENZA TERMICA DEI SINGOLI LOCALI
PER RISCALDAMENTO INVERNALE****Calcolo con vicini presenti****secondo UNI EN 12831****Verifica di rispondenza alla Legge 10/91 e DPR 412/93**

Edificio : Scuola Elementare con serre
Via Belotti
Committente :
Progettista : ALE
ALE

Dati climatici della località:

Comune : CENATE SOPRA
Provincia : BG
Altitudine : 330 m slm
Gradi giorno : 2686
Zona climatica : E
Velocità max del vento : 4 m/s
Temp. esterna di progetto : -5,0 °C
Temp. interna di progetto : 20 °C

Coefficienti di esposizione:

Nord = 1,20
Nord-Ovest = 1,15 Nord-Est = 1,20
Ovest = 1,10 Est = 1,15
Sud-Ovest = 1,05 Sud-Est = 1,10
Sud = 1,00

RIASSUNTO ZONE
CALCOLO CON VICINI PRESENTI

Zn Descrizione	Nr. zone simili	Ti °C	Volume lordo m ³	Sup. pianta lorda m ²	Sup. disp. lorda m ²
1 ZONA 1: mensa	1	20	1019,9	227,92	630,76
2 ZONA 2:atrio	1	20	3544,5	888,46	2385,43
3 ZONA 3 : servizi mensa	1	20	459,8	113,10	362,77
4 ZONA 4:aule	1	20	1922,6	554,45	1430,01
5 ZONA 5:bagni	1	20	482,1	139,02	559,98
6 ZONA 6: uffici	1	20	453,5	130,85	414,32
7 ZONA 7: laboratori	1	20	724,6	208,83	560,59
8 ZONA 8: sala polivalente	1	20	910,2	173,04	667,36
Totali:			9517,3	2435,67	7011,22

Zn Descrizione	Volume netto m ³	Sup. pianta netta m ²
1 ZONA 1: mensa	748,8	208,01
2 ZONA 2:atrio	2883,5	818,46
3 ZONA 3 : servizi mensa	345,9	96,08
4 ZONA 4:aule	1534,3	511,41
5 ZONA 5:bagni	297,7	99,21
6 ZONA 6: uffici	338,5	112,83
7 ZONA 7: laboratori	575,1	191,70
8 ZONA 8: sala polivalente	684,9	152,21
Totali:	7408,7	2189,91

RIASSUNTO ZONE
CALCOLO CON VICINI PRESENTI

Zn Descrizione	Pt W	Pv W	Pot. volum. lorda W/m ³	Pot. volum. netta W/m ³	Ric. medio netto vol/h
1 ZONA 1: mensa	4839	6117	10,7	14,6	1,0
2 ZONA 2:atrio	9815	1471	3,2	3,9	0,1
3 ZONA 3 : servizi mensa	966	147	2,4	3,2	0,0
4 ZONA 4:aule	7843	8815	8,7	10,9	0,7
5 ZONA 5:bagni	1793	15184	35,2	57,0	6,0

Zn Descrizione	Pt W	Pv W	Pot. volum. lorda W/m ³	Pot. volum. netta W/m ³	Ric. medio netto vol/h
6 ZONA 6: uffici	2326	968	7,3	9,7	0,3
7 ZONA 7: laboratori	1567	2849	6,1	7,7	0,6
8 ZONA 8: sala polivalente	2939	6113	9,9	13,2	1,1
Totali:	32088	41664	7,7	10,0	

CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE DELL' EDIFICIO**(Stagione convenzionale)****secondo UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1**

Edificio : Scuola Elementare con serre
Via Belotti

Committente :

Progettista : ALE
ALE

Dati climatici della località:

Comune : CENATE SOPRA

Provincia : BG

Altitudine : 330 m slm

Gradi giorno : 2686

Zona climatica : E

Velocità media del vento : 1,9 m/s

Temp. esterna di progetto : -5,0 °C

Temp. interna di progetto : 20 °C

Dati geometrici dell' edificio:

Superficie esterna : 5056,96 m²

Volume lordo : 9517,29 m³

Fattore di forma S/V : 0,531 m²/m³

Costante di tempo : 50,0 h

Apporti interni medi : 1,6 W/m²

Temperature medie mensili (°C):

GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
2,6	4,4	8,4	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4	13,7	8,1	4,0

Irradiazione media mensile (MJ/m²giorno) 45° 42' Latit. Nord. 9° 49' Longit. Est.

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
OR	4,2	6,8	11,2	15,5	19,0	20,4	22,2	18,6	13,9	9,1	4,6	3,9
N	1,6	2,4	3,6	5,3	7,5	8,8	8,9	6,3	4,2	2,9	1,8	1,4
NE	1,7	2,9	5,2	7,8	10,1	11,3	12,0	9,5	6,5	3,8	2,0	1,5
E	3,4	5,2	8,2	10,7	12,5	13,2	14,5	12,7	10,0	7,0	3,6	3,2
SE	5,6	7,6	10,2	11,4	11,6	11,6	13,0	12,8	11,8	10,0	5,9	5,5
S	7,2	9,1	10,9	10,3	9,6	9,2	10,2	10,9	11,8	11,6	7,2	7,1
SO	5,6	7,6	10,2	11,4	11,6	11,6	13,0	12,8	11,8	10,0	5,9	5,5
O	3,4	5,2	8,2	10,7	12,5	13,2	14,5	12,7	10,0	7,0	3,6	3,2
NO	1,7	2,9	5,2	7,8	10,1	11,3	12,0	9,5	6,5	3,8	2,0	1,5

Riassunto della stagione di riscaldamento

PERDITE

Mese	Giorni	Te °C	Qt+Qr MJ	Qgr MJ	Qu MJ	Qa MJ	Qv MJ	QL MJ
Ottobre	15,22	12,3	0	0	0	0	0	23914
Novembre	30,44	8,1	0	0	0	0	0	72388
Dicembre	30,44	4,0	0	0	0	0	0	96512
Gennaio	30,44	2,6	0	0	0	0	0	104748
Febbraio	30,44	4,4	0	0	0	0	0	94161
Marzo	30,44	8,4	0	0	0	0	0	70625
Aprile	15,22	11,7	0	0	0	0	0	25622
Totali:	182,64		0	0	0	0	0	487970

APPORTI

Mese	Qse MJ	Qsi MJ	Qi MJ	GLR	η_u	QG MJ
Ottobre	1048	1518	11518	0,000	0,975	14084
Novembre	1338	6421	23038	0,000	0,997	30797
Dicembre	1192	6345	23038	0,000	1,000	30575
Gennaio	1254	6454	23038	0,000	1,000	30746
Febbraio	1837	7736	23038	0,000	0,999	32611
Marzo	2768	9080	23038	0,000	0,992	34886
Aprile	1676	2440	11518	0,000	0,972	15634
Totali:	11113	39994	138226			189333

FABBISOGNO

Qh MJ
10153
41691
65943
74010
61581
36004
10378
299760

STAGIONE DI RISCALDAMENTO

Inizio	Fine	Durata
15 Ottobre	1 Aprile	182,64 giorni
Energia per dispersioni : (Ql - Qv)		487970 MJ/anno
Energia per ventilazione: (Qv)		0 MJ/anno
Energia totale - fabbisogno dell' edificio: (Qh)		299760 MJ/anno

$$Q_t = H_t * (t_i - t_e) * \text{num.giorni} * 86400 * 10^{-6}$$

$$Q_r = F_r * \phi_r * \text{num.giorni} * 86400 * 10^{-6}$$

$$F_r = (1 - \text{Scherm} / 100) * (1 + \cos(S)) / 2$$

$$\phi_r = U * R_{se} * \text{Sup} * h_r * \Delta\theta_{er}$$

$$Q_u = H_u * (t_i - t_e) * \text{num.giorni} * 86400 * 10^{-6}$$

$$Q_{gr} = H_g * (t_i - t_e) * \text{num.giorni} * 86400 * 10^{-6}$$

$$Q_a = H_a * (t_i - t_a) * \text{num.giorni} * 86400 * 10^{-6}$$

$$Q_v = H_v * (t_i - t_e) * \text{num.giorni} * 86400 * 10^{-6}$$

$$Q_L = Q_t + Q_r + Q_{gr} + Q_u + Q_a + Q_v$$

$$Q_{se} = I_{rr} * \text{num.giorni} * A_e \text{ muri}$$

$$Q_{si} = I_{rr} * \text{num.giorni} * A_e \text{ vetri}$$

$$Q_i = P_l * \text{num.giorni} * 86400 * 10^{-6}$$

$$GLR = (Q_{si} + Q_{se} + Q_i) / Q_L$$

$$QG = Q_{se} + Q_{si} + Q_i$$

$$Q_h = Q_L - \eta_u * (Q_{si} + Q_{se} + Q_i)$$

CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE ESTIVA DELL' EDIFICIO**(Stagione reale)****secondo UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1**

Edificio : Scuola Elementare con serre
Via Belotti

Committente :

Progettista : ALE
ALE

Dati climatici della località:

Comune : CENATE SOPRA

Provincia : BG

Altitudine : 330 m slm

Gradi giorno : 2686

Zona climatica : E

Velocità media del vento : 1,9 m/s

Temp. esterna di progetto : 31,0 °C

Temp. interna di progetto : 26 °C

Dati geometrici dell' edificio:

Superficie esterna : 5056,96 m²

Volume lordo : 9517,29 m³

Fattore di forma S/V : 0,531 m²/m³

Costante di tempo : 50,0 h

Apporti interni medi : 1,6 W/m²

Temperature medie mensili (°C):

GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
2,6	4,4	8,4	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4	13,7	8,1	4,0

Irradiazione media mensile (MJ/m²giorno) 45° 42' Latit. Nord. 9° 49' Longit. Est.

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
OR	4,2	6,8	11,2	15,5	19,0	20,4	22,2	18,6	13,9	9,1	4,6	3,9
N	1,6	2,4	3,6	5,3	7,5	8,8	8,9	6,3	4,2	2,9	1,8	1,4
NE	1,7	2,9	5,2	7,8	10,1	11,3	12,0	9,5	6,5	3,8	2,0	1,5
E	3,4	5,2	8,2	10,7	12,5	13,2	14,5	12,7	10,0	7,0	3,6	3,2
SE	5,6	7,6	10,2	11,4	11,6	11,6	13,0	12,8	11,8	10,0	5,9	5,5
S	7,2	9,1	10,9	10,3	9,6	9,2	10,2	10,9	11,8	11,6	7,2	7,1
SO	5,6	7,6	10,2	11,4	11,6	11,6	13,0	12,8	11,8	10,0	5,9	5,5
O	3,4	5,2	8,2	10,7	12,5	13,2	14,5	12,7	10,0	7,0	3,6	3,2
NO	1,7	2,9	5,2	7,8	10,1	11,3	12,0	9,5	6,5	3,8	2,0	1,5

RIASSUNTO DELLA STAGIONE DI RAFFRESCAMENTO

PERDITE

Mese	Giorni	Te °C	Qt+Qr MJ	Qgr MJ	Qu MJ	Qa MJ	Qv MJ	QL MJ
Totale:	0,00		0	0	0	0	0	0

APPORTI

Mese	Qse MJ	Qsi MJ	Qi MJ	GLR	η^c	QG MJ
Totale:	0	0	0			0

FABBISOGNO

Qc MJ
0

STAGIONE DI RAFFRESCAMENTO

Inizio	Fine	Durata
NULLO	NULLO	0,00 giorni
Energia per dispersioni : (Ql - Qv)		0 MJ/anno
Energia per ventilazione: (Qv)		0 MJ/anno
Energia totale - fabbisogno dell' edificio: (Qc)		0 MJ/anno

$$Q_t = H_t * (t_i - t_e) * \text{num.giorni} * 86400 * 10^{-6}$$

$$Q_r = F_r * \phi_r * \text{num.giorni} * 86400 * 10^{-6}$$

$$F_r = (1 - \text{Scherm} / 100) * (1 + \cos(S)) / 2$$

$$\phi_r = U * R_{se} * \text{Sup} * h_r * \Delta\theta_{er}$$

$$Q_u = H_u * (t_i - t_e) * \text{num.giorni} * 86400 * 10^{-6}$$

$$Q_{gr} = H_g * (t_i - t_e) * \text{num.giorni} * 86400 * 10^{-6}$$

$$Q_a = H_a * (t_i - t_a) * \text{num.giorni} * 86400 * 10^{-6}$$

$$Q_v = H_v * (t_i - t_e) * \text{num.giorni} * 86400 * 10^{-6}$$

$$Q_L = Q_t + Q_r + Q_{gr} + Q_u + Q_a + Q_v$$

$$Q_{se} = I_{rr} * \text{num.giorni} * A_e \text{ muri}$$

$$Q_{si} = I_{rr} * \text{num.giorni} * A_e \text{ vetri}$$

$$Q_i = P_l * \text{num.giorni} * 86400 * 10^{-6}$$

$$GLR = (Q_{si} + Q_{se} + Q_i) / Q_L$$

$$QG = Q_{se} + Q_{si} + Q_i$$

$$Q_c = (Q_{si} + Q_{se} + Q_i) - \eta^c * Q_L$$

CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE INVERNALE DELLE SINGOLE ZONE**Calcolo con vicini presenti (Stagione convenzionale)****secondo UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1**

Edificio : Scuola Elementare con serre
Via Belotti

Committente :

Progettista : ALE
ALE

Dati climatici della località:

Comune : CENATE SOPRA

Provincia : BG

Altitudine : 330 m slm

Gradi giorno : 2686

Zona climatica : E

Velocità media del vento : 1,9 m/s

Temp. esterna di progetto : -5,0 °C

Temp. interna di progetto : 20 °C

Temperature medie mensili (°C):

GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
2,6	4,4	8,4	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4	13,7	8,1	4,0

Irradiazione media mensile (MJ/m²giorno) 45° 42' Latit. Nord. 9° 49' Longit. Est.

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
OR	4,2	6,8	11,2	15,5	19,0	20,4	22,2	18,6	13,9	9,1	4,6	3,9
N	1,6	2,4	3,6	5,3	7,5	8,8	8,9	6,3	4,2	2,9	1,8	1,4
NE	1,7	2,9	5,2	7,8	10,1	11,3	12,0	9,5	6,5	3,8	2,0	1,5
E	3,4	5,2	8,2	10,7	12,5	13,2	14,5	12,7	10,0	7,0	3,6	3,2
SE	5,6	7,6	10,2	11,4	11,6	11,6	13,0	12,8	11,8	10,0	5,9	5,5
S	7,2	9,1	10,9	10,3	9,6	9,2	10,2	10,9	11,8	11,6	7,2	7,1
SO	5,6	7,6	10,2	11,4	11,6	11,6	13,0	12,8	11,8	10,0	5,9	5,5
O	3,4	5,2	8,2	10,7	12,5	13,2	14,5	12,7	10,0	7,0	3,6	3,2
NO	1,7	2,9	5,2	7,8	10,1	11,3	12,0	9,5	6,5	3,8	2,0	1,5

Riassunto fabbisogni energetici delle zone

Zona	Descrizione	Zone simili	Qv MJ	Ql MJ	Qg MJ	Qh MJ
1	ZONA 1: mensa	1	38897	80173	14376	65795
2	ZONA 2:atrio	1	46709	126668	66088	61027
3	ZONA 3 : servizi mensa	1	935	9090	6065	3143
4	ZONA 4:aule	1	57989	120374	54372	66369
5	ZONA 5:bagni	1	19285	33932	8247	25687
6	ZONA 6: uffici	1	5828	24541	10950	13621
7	ZONA 7: laboratori	1	18181	30512	14640	16032
8	ZONA 8: sala polivalente	1	38908	62680	14595	48086
			226732	487970	189333	299760

CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ENERGIA UTILE ESTIVA DELLE SINGOLE ZONE**Calcolo con vicini presenti (Stagione reale)****secondo UNI EN ISO 13790 e UNI/TS 11300-1**

Edificio : Scuola Elementare con serre
Via Belotti

Committente :

Progettista : ALE
ALE

Dati climatici della località:

Comune : CENATE SOPRA

Provincia : BG

Altitudine : 330 m slm

Gradi giorno : 2686

Zona climatica : E

Velocità media del vento : 1,9 m/s

Temp. esterna di progetto : 31,0 °C

Temp. interna di progetto : 26 °C

Temperature medie mensili (°C):

GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
2,6	4,4	8,4	12,8	16,5	20,8	23,2	22,7	19,4	13,7	8,1	4,0

Irradiazione media mensile (MJ/m²giorno) 45° 42' Latit. Nord. 9° 49' Longit. Est.

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
OR	4,2	6,8	11,2	15,5	19,0	20,4	22,2	18,6	13,9	9,1	4,6	3,9
N	1,6	2,4	3,6	5,3	7,5	8,8	8,9	6,3	4,2	2,9	1,8	1,4
NE	1,7	2,9	5,2	7,8	10,1	11,3	12,0	9,5	6,5	3,8	2,0	1,5
E	3,4	5,2	8,2	10,7	12,5	13,2	14,5	12,7	10,0	7,0	3,6	3,2
SE	5,6	7,6	10,2	11,4	11,6	11,6	13,0	12,8	11,8	10,0	5,9	5,5
S	7,2	9,1	10,9	10,3	9,6	9,2	10,2	10,9	11,8	11,6	7,2	7,1
SO	5,6	7,6	10,2	11,4	11,6	11,6	13,0	12,8	11,8	10,0	5,9	5,5
O	3,4	5,2	8,2	10,7	12,5	13,2	14,5	12,7	10,0	7,0	3,6	3,2
NO	1,7	2,9	5,2	7,8	10,1	11,3	12,0	9,5	6,5	3,8	2,0	1,5

Riassunto fabbisogni energetici delle zone

Zona	Descrizione	Zone simili	Qv MJ	Ql MJ	Qg MJ	Qc MJ
1	ZONA 1: mensa	1	229	471	492	66
2	ZONA 2:atrio	1	9936	28976	47480	19103
3	ZONA 3 : servizi mensa	1	244	2429	4438	2016
4	ZONA 4:aule	1	10843	24110	35220	12643
5	ZONA 5:bagni	1	1481	2783	3395	744
6	ZONA 6: uffici	1	1191	5467	8860	3569
7	ZONA 7: laboratori	1	4186	7469	13267	5877
8	ZONA 8: sala polivalente	1	3025	5229	6934	1795
			31135	76934	120086	45813

CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA

secondo UNI/TS 11300-1, UNI/TS 11300-2

Edificio : Scuola Elementare con serre
Via Belotti

Committente :

Progettista : ALE
ALE

Modalità di calcolo : Intero edificio

Modalità di funzionamento dell' impianto :

Funzionamento continuato**Fattore di intermittenza :** 100,0 % **η_r = Rendimento di regolazione medio:** 96,0 %

Tipo di regolazione: Climatica+Ambiente modulante banda p 0.5°C

 η_e = Rendimento di emissione : 98,0 %

Tipo di terminale di erogazione: Pannello annegato a pavimento

Tipologia di installazione: Parete esterna isolata

 η_d = Rendimento di distribuzione : 99,5 %

Tipo di impianto: B

Impianto centralizzato a distribuzione orizzontale

Numero di piani: 3 -

Isolamento tubazioni: Legge 10/91

Delta T di progetto: 30/35 °C

Fattore di riduzione per contabilizzazione (riscaldamento) : 1,00

Energia utilizzata per il funzionamento:

Elettrica COPE = 4,70

Temperatura esterna della sorgente: Costante

Potenza nominale: Pn = 62800 W

Potenza elettrica pompe di circolazione: Ppo = 473 W

Rendimento pompe di circolazione: η_{po} = 85 %

Tempo di accensione al giorno pompe e ausiliari: Tp = 24 ore

Rendimento del sistema elettrico nazionale: η_{sen} = 42 %

Potenza media degli ausiliari: Pav = W

Mese	giorni	Ql (MJ)	Qg (MJ)	η_{uti} %	Qh (MJ)	fattore interm.	Qhvs (MJ)	η_{ced} %	Qp risc. (MJ)	Qp totale (MJ)
Gen	30,44	104748	30746	100,0	74010	1,00	74010	93,6	79062	79062
Feb	30,44	94161	32611	99,9	61581	1,00	61581	93,6	65785	65785
Mar	30,44	70625	34886	99,2	36004	1,00	36004	93,6	38462	38462
Apr	15,22	25622	15634	97,2	10378	1,00	10378	93,6	11086	11086
Mag	0,00	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0
Giu	0,00	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0
Lug	0,00	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0
Ago	0,00	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0
Set	0,00	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0
Ott	15,22	23914	14084	97,5	10153	1,00	10153	93,6	10846	10846
Nov	30,44	72388	30797	99,7	41691	1,00	41691	93,6	44537	44537
Dic	30,44	96512	30575	100,0	65943	1,00	65943	93,6	70445	70445
					299760		299760		320224	320224

Simbologia

COPE	Coefficiente di effetto utile medio mensile per azionamento elettrico.
Ql	perdite di energia.
Qg	apporti gratuiti.
η_{uti}	fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti.
Qh	fabbisogno energetico utile mensile in funzionamento continuo per riscaldamento ambienti.
Qhvs	fabbisogno energetico utile mensile in funzionamento non continuo per riscaldamento ambienti.
interm.	fattore di intermittenza.
η_{ced}	prodotto dei rendimenti di regolazione, distribuzione ed emissione.
Qp risc.	energia termica mensile fornita dal sistema di produzione per riscaldamento.
Qp totale	energia termica mensile fornita dal sistema di produzione, totale.

Mese	COPm	Qp			η_C %	η_P %	Qm (MJ)
		totale (MJ)	Qpom (MJ)	Qavm (MJ)			
Gennaio	1,97	79062	1244	0	96,0	186,1	68778
Febbraio	1,97	65785	1244	0	96,0	184,0	62052
Marzo	1,97	38462	1244	0	96,0	175,5	48211
Aprile	1,97	11086	622	0	96,0	162,3	19979
Maggio	0,00	0	0	0	0,00	0,0	0
Giugno	0,00	0	0	0	0,00	0,0	0
Luglio	0,00	0	0	0	0,00	0,0	0
Agosto	0,00	0	0	0	0,00	0,0	0
Settembre	0,00	0	0	0	0,00	0,0	0
Ottobre	1,97	10846	622	0	96,0	161,7	19858
Novembre	1,97	44537	1244	0	96,0	178,2	51288
Dicembre	1,97	70445	1244	0	96,0	184,8	64413

334579

Simbologia

COPm	coefficiente di effetto utile medio mensile valutato in termini di energia primaria.
Qpom	Energia elettrica assorbita dalle pompe di circolazione nel mese.
Qavm	Energia elettrica assorbita da ausiliari nel mese.
η_C	rendimento di regolazione mensile.
η_P	rendimento di produzione medio mensile (compresa energia elettrica).
Qm	Fabbisogno mensile di energia primaria.

Energia primaria annuale richiesta: $Q =$ 334579 MJ/a 92939 kWh_t/a

$\eta_p = Q_p / Q =$ **Rendimento di produzione medio annuale :** 95,7 %

$\eta_{p,s} = Q_{H,gn,out} / Q_{H,gn,in} =$ **Rendimento di generazione medio per riscaldamento:** 181,1 %

$\eta_{g,s} = Q_{hvs,s} / Q =$ **Rendimento globale medio annuale per il riscaldamento:** 89,6 %

Consumo annuo: 35,2 MJ/(m³a) 9,8 kWh_t/(m³a)
corrispondenti, (per il volume riscaldato di 9517,3 m³) , a:

39034 kWh/a di energia elettrica.

CALCOLO DEL FABBISOGNO DI ENERGIA PRIMARIA

secondo UNI/TS 11300-1, UNI/TS 11300-2

Edificio : Scuola Elementare con serre
Via Belotti

Committente :

Progettista : ALE
ALE

Modalità di calcolo : Intero edificio

Modalità di funzionamento dell' impianto :

Funzionamento continuato**Fattore di intermittenza :** 100,0 %

η_r = Rendimento di regolazione medio: 96,0 %
 Tipo di regolazione: Climatica+Ambiente modulante banda p 0.5°C

η_e = Rendimento di emissione : 98,0 %
 Tipo di terminale di erogazione: Pannello annegato a pavimento
 Tipologia di installazione: Parete esterna isolata

η_d = Rendimento di distribuzione : 99,5 %
 Tipo di impianto: B
 Impianto centralizzato a distribuzione orizzontale
 Numero di piani: 3 -
 Isolamento tubazioni: Legge 10/91
 Delta T di progetto: 30/35 °C

Fattore di riduzione per contabilizzazione (riscaldamento) : 1,00

Energia utilizzata per il funzionamento:			
Elettrica	COPE =	4,70	
Temperatura esterna della sorgente:	Costante		
Potenza nominale:	Pn =	62800	W
Potenza elettrica pompe di circolazione:	Ppo =	473	W
Rendimento pompe di circolazione:	η_{po} =	85	%
Tempo di accensione al giorno pompe e ausiliari:	Tp =	24	ore
Rendimento del sistema elettrico nazionale:	η_{sen} =	42	%
Potenza media degli ausiliari:	Pav =		W

Mese	giorni	Ql (MJ)	Qg (MJ)	η_{uti} %	Qh (MJ)	fattore interm.	Qhvs (MJ)	η_{ced} %	Qp risc. (MJ)	Qp totale (MJ)
Gen	30,44	104748	30746	100,0	74010	1,00	74010	93,6	79062	79062
Feb	30,44	94161	32611	99,9	61581	1,00	61581	93,6	65785	65785
Mar	30,44	70625	34886	99,2	36004	1,00	36004	93,6	38462	38462
Apr	15,22	25622	15634	97,2	10378	1,00	10378	93,6	11086	11086
Mag	0,00	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0
Giu	0,00	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0
Lug	0,00	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0
Ago	0,00	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0
Set	0,00	0	0	0,0	0	0	0	0	0	0
Ott	15,22	23914	14084	97,5	10153	1,00	10153	93,6	10846	10846
Nov	30,44	72388	30797	99,7	41691	1,00	41691	93,6	44537	44537
Dic	30,44	96512	30575	100,0	65943	1,00	65943	93,6	70445	70445
						299760	299760		320224	320224

Simbologia

COPE	Coefficiente di effetto utile medio mensile per azionamento elettrico.
Ql	perdite di energia.
Qg	apporti gratuiti.
η_{uti}	fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti.
Qh	fabbisogno energetico utile mensile in funzionamento continuo per riscaldamento ambienti.
Qhvs	fabbisogno energetico utile mensile in funzionamento non continuo per riscaldamento ambienti.
interm.	fattore di intermittenza.
η_{ced}	prodotto dei rendimenti di regolazione, distribuzione ed emissione.
Qp risc.	energia termica mensile fornita dal sistema di produzione per riscaldamento.
Qp totale	energia termica mensile fornita dal sistema di produzione, totale.

Mese	COPm	Qp					
		totale (MJ)	Qpom (MJ)	Qavm (MJ)	η_C %	η_P %	Qm (MJ)
Gennaio	1,97	79062	1244	0	96,0	186,1	46235
Febbraio	1,97	65785	1244	0	96,0	184,0	39509
Marzo	1,97	38462	1244	0	96,0	175,5	25668
Aprile	1,97	11086	622	0	96,0	162,3	8708
Maggio	0,00	0	0	0	0,00	0,0	0
Giugno	0,00	0	0	0	0,00	0,0	0
Luglio	0,00	0	0	0	0,00	0,0	0
Agosto	0,00	0	0	0	0,00	0,0	0
Settembre	0,00	0	0	0	0,00	0,0	0
Ottobre	1,97	10846	622	0	96,0	161,7	8586
Novembre	1,97	44537	1244	0	96,0	178,2	28745
Dicembre	1,97	70445	1244	0	96,0	184,8	41870

199321

Simbologia

COPm	coefficiente di effetto utile medio mensile valutato in termini di energia primaria.
Qpom	Energia elettrica assorbita dalle pompe di circolazione nel mese.
Qavm	Energia elettrica assorbita da ausiliari nel mese.
η_C	rendimento di regolazione mensile.
η_P	rendimento di produzione medio mensile (compresa energia elettrica).
Qm	Fabbisogno mensile di energia primaria.

Energia primaria annuale richiesta: $Q =$ 199321 MJ/a 55367 kWh_t/a

$\eta_p = Q_p / Q =$ **Rendimento di produzione medio annuale :** 160,7 %

$\eta_{p,s} = Q_{H,gn,out} / Q_{H,gn,in} =$ **Rendimento di generazione medio per riscaldamento:** 181,1 %

$\eta_{g,s} = Q_{hvs,s} / Q =$ **Rendimento globale medio annuale per il riscaldamento:** 150,4 %

Consumo annuo: 20,9 MJ/(m³a) 5,8 kWh_t/(m³a)
corrispondenti, (per il volume riscaldato di 9517,3 m³) , a:

23254 kWh/a di energia elettrica.

Ringraziamenti

Ringraziamo tutti i professori che nel corso del nostro cammino universitario ci hanno fornito strumenti, conoscenze e competenze preziose sia sul lato ingegneristico che umano.

Il Professor Masera per l'aiuto ed il supporto che ci ha fornito durante il periodo di elaborazione della tesi, ma soprattutto per la disponibilità che ha sempre dimostrato in questi anni; un grazie particolare va all' Ing. Salvalai, per la fiducia dimostrataci, i consigli preziosi e la pazienza con cui ci ha seguito in questi ultimi mesi.

Un particolare ringraziamento per l'Ing. Mazzola, impiantista di professione e allo studio di progettazione Ing di Bergamo, che hanno dedicato insieme a noi del tempo prezioso allo studio dell'aspetto impiantistico del progetto, con grande passione, disponibilità e professionalità.

Il Prof. Colombo, l'Ing. Magri e l'Ing. Zani per l'aiuto fornito in ambito strutturale, il Prof. Galli per l'impegno e l'attenzione dedicata al campo geotecnico, il Prof. Palazzo per la precisione nell'affrontare la pianificazione urbanistica, il Prof. De Maio e il Prof. Ruta per averci spronato a perseguire obiettivi sempre migliori.

Si ringraziano il Sindaco del Comune di Cenate Sopra, Stefano Cattaneo, il responsabile dell'Ufficio Tecnico, Ing. Antonello Calderone e la dirigente scolastica, Giusi Vigani, per la grande disponibilità, l'attenzione e la collaborazione che ci hanno offerto.

Un grazie particolare agli amici Ettore, Stefano, Teresa, Giulio, Martina e Sgabello per i bellissimi anni passati insieme, per gli intensi periodi di studio, ma anche per i tanti momenti di divertimento e spensieratezza.

Davide, Alessandra, Alessandra

Ai miei genitori e a Veronica: A voi va il ringraziamento più sincero e sentito, avete sempre creduto in me, anche quando io stesso faticavo nel farlo, mi avete permesso di intraprendere liberamente le mie scelte, più o meno felici, senza mai farmi mancare il vostro fondamentale sostegno che da sempre mi accompagna. La spinta maggiore, per impegnarmi ogni giorno in ciò che faccio, è la speranza di essere un giorno almeno un decimo delle persone che siete. Grazie.

Ai miei parenti: Ogni volta che parlo della mia famiglia la dipingo come la migliore in assoluto, probabilmente per il grande affetto che avete per me; sono l'orgoglio delle nonne, le zie mi adorano e i miei zii sono veri e propri amici, siete sempre stati dei modelli da seguire spingendomi ad esserlo per i miei stupendi cuginetti, per cui ricambio lo stesso amore che avete per me. Grazie.

A tutti gli amici: Grazie mille ragazzi siete unici... a Lecco come a Milano ho avuto la fortuna di trovare persone sincere e sempre pronte a tendere la mano nel momento del bisogno... Se non ricordo un periodo triste della mia vita è anche grazie a voi che ci siete sempre stati dalla prima vacanza a Rimini all'aiuto nelle nottate davanti a questa tesi. Grazie.

Alle compagne di tesi: Grazie per questi cinque anni di studio e divertimento, siete delle compagne di lavoro ed amiche straordinarie ma sarete sempre delle carciofone...

Alla Lina: Grazie per non aver mai cercato di cambiare una virgola di ciò che sono... sei speciale.

Davide

Uno speciale ringraziamento a tutta la mia famiglia, ad Enrico e Giovanna che mi hanno permesso di intraprendere questo corso di studi, che mi hanno sempre sostenuto e che hanno sempre creduto in me. Ringrazio mia sorella Sara per il suo appoggio in ogni momento.

Un grazie infinito a Francesco per la sua costante presenza, per la sua comprensione nei momenti difficili e per avermi aiutato a crescere e diventare una persona migliore.

Ringrazio i miei compagni di gruppo, Alessandra e Davide, per aver condiviso tanti momenti di duro lavoro, ma anche di grande soddisfazione. Insieme a loro ringrazio tutti coloro che hanno partecipato ai momenti più belli della mia vita. Grazie.

Grazie a Valentina e Gessica, per tutte le serate spensierate che abbiamo passato insieme, per tutti le pazzie che abbiamo condiviso, perché su di voi posso sempre contare.

Grazie a Cristina, Marta, Viola e Vittoria, compagne di liceo, per la loro sincera amicizia che continua a durare nel tempo, perché siamo cinque persone completamente diverse, ma che si completano l'una con l'altra.

Alessandra P.

Il grazie più speciale va alla mia famiglia, per avermi permesso di intraprendere questo percorso e per avermi supportato, soprattutto nell'ultimo periodo in cui ci siamo uniti ancora di più; ai miei genitori Pierangela e Osvaldo senza i quali non sarei mai potuta arrivare fin qui e ai miei fratelli Matteo e Marta che mi hanno supportato ma soprattutto sopportato nei momenti di tensione.

A Davide, per il doppio impegno messo nello starmi vicino, in università e nella vita, per non avermi mai lasciata sola, nemmeno quando scaricavo i problemi su di lui e per avermi insegnato che insieme si può affrontare tutto.

Ad Alessandra, fantastica compagna di lavoro ed amica.

A Laura e Monica, zwilll-amiche sulle quali posso sempre contare, sia per sfogarmi che per svagarmi.

Ai miei zii Bepino, Donato, Carlo e Mariateresa e ai miei cugini Marinet e Cristian per aver sempre creduto in me.

Ai miei nonni Camilla e Giacomo ai quali mi sono rivolta nei periodi di maggior sconforto.

A tutte le persone che non ho citato ma che mi sono state vicine e mi hanno aiutata ad essere la persona che sono.

Alessandra T.

Bibliografia

Testi

Capitolo 1

[1] UE, *Linee guida per la stesura del SEAP*

Capitolo 2

[1] UE, *Linee guida per la stesura del SEAP*

[2] Comune di Bologna, *Programma Energetico Comunale del Comune di Bologna*, 2007

[3] Comune di Correggio, *Programma Energetico Comunale del Comune di Correggio*, 2008

[4] Comune di Milano, *Piano di azione per l' Energia Sostenibile e il Clima*, 2009

[5] Regione Lombardia, *Factor 20*, 2009

Capitolo 3

[1] PALAZZO D., *Urban Design. Un processo per la progettazione urbana*, Mondadori Università, 2008

Capitolo 5

[1] MOTTURA G. – PENNISI A., *Progetti di Luce*, Maggioli Editore, 2005

[2] DEMONFONTI A., *I Principi della Cromoterapia per scegliere i colori delle pareti di casa*

[3] CORBO L., *Manuale di prevenzione incendi nell'edilizia e nell'industria*, Il Sole 24Ore, 2004

[4] RAFFAELLINI, *Irraggiamento Solare*

Capitolo 6

[1] TONIOLO G., *Cemento Armato – Calcolo agli stati limite*, Zanichelli, 2004

[2] TIMOSHENKO S. – WOINOWSKY - KRIEGER, *Theory of plates and shells*, McGraw Hill International Editions, 2006

[3] GAMBAROVA P.G. – CORONELLI D. – BAMONTE P., *Linee guida per la progettazione delle piastre in c.a.*, Pàtron Editore, 2007

Capitolo 7

[1] LANCELLOTTA R., *Geotecnica*, Zanichelli, 2007

[2] NOVA R., *Geotecnica*, CittaStudi Edizioni, 1993

[3] GRITTI A., *Comune di Cenate Sopra - Indagini geologiche e geofisiche per la caratterizzazione del substrato in posto presso le scuole elementari – Relazione geologico tecnica*, 2009

Capitolo 8

[1] VIO M., *Impianti di cogenerazione*, Editoriale Delfino, Castelseprio (VA) 2007

[2] TINTI F., *Geotermica per la climatizzazione*, Dario Falccovio Editore, Palermo, 2008

[3] BUTERA F.M., *Architettura e ambiente*, Etaslibri, 1995

[4] ZAPPONE C., *La serra solare*, Il Sole 24 Ore, 2004

Siti

Capitolo 1

[1] www.euromayor.eu

[2] www.campagnaseeitalia.it

[3] sirena.cestec.eu/sirena/index.jsp

[4] www.ambiente.regione.lombardia.it/inemar/inemarhome.htm

[5] www.eusew.com

Capitolo 2

[1] www.euromayor.eu

[2] www.campagnaseeitalia.it

[3] sirena.cestec.eu/sirena/index.jsp

[4] www.ambiente.regione.lombardia.it/inemar/inemarhome.htm

[5] www.eusew.com

[2] www.cestec.it

Capitolo 5

[1] www.mondo.it

[2] www.rockwool.it

[3] www.knauf.it

[4] www.italcementi.it

[5] www.foamglass.it

[6] www.schueco.it

Capitolo 7

[1] www.igeasas.it

[2] www.iris-instruments.com

[3] www.wikipwdia.it

[4] www.geoservicesardegna.com

[5] www.ogs.trieste.it

[6] Inx.compacsrl.it

Capitolo 8

[1] www.rinnovabili.it/cogenerazione

[2] www.klimahaus.it

[3] www.fastaer.com/it

[4] www.viessmann.com/com/en

[5] www.e-transfer.it

[6] www.rdz.it

[7] www.menerga.it

[8] www.buderus.it

[9] www.caleffi.it

Riferimenti normativi

[1] Piano di Governo del Territorio del Comune di Cenate Sopra, 2009

[2] Regolamento Locale di Igiene – Provincia di Bergamo – Titolo III

[3] D.M. 12/12/75, Norme tecniche aggiornate relative all'edilizia scolastica, ivi compresi gli indici minimi di funzionalità didattica, edilizia ed urbanistica da osservarsi nella esecuzione di opere di edilizia scolastica, 1975

[4] Regolamento Edilizio Comunale del Comune di Cenate Sopra, 2002

[5] Norme Tecniche per le Costruzioni – D.M. 14/1/2008

[6] UNI EN 1992-1-1, Eurocodice 2: Progettazione delle strutture in calcestruzzo, 2002

- [7] UNI ENV 1993 -1-1, Eurocodice 3: Progettazione delle strutture in acciaio, 2002
- [7] UNI 10339, Impianti aeraulici a fine di benessere, 1995
- [8] UNI 10344 En 832, Riscaldamento degli edifici, calcolo del fabbisogno di energia, 1993
- [9] UNI 10349, Riscaldamento e raffrescamento degli edifici, dati climatici, 1994
- [10] D.M. 9/4/94, Prevenzione incendi, 1994
- [11] D.M. 26/8/92, Norme per la prevenzione degli incendi per l' edilizia scolastica, 1992
- [12] Circ. 91/61, Norme della sicurezza per la protezione contro il fuoco dei fabbricati a struttura in acciaio destinati ad uso civile, 1961
- [13] D.P.R. 59/09, Requisiti energetici, 2009
- [14] Deliberazione Giunta Regionale 31/10/2007 n 8/5773, Requisiti energetici Regione Lombardia, 2007
- [15] Legge 10/91, Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia, 1991
- [16] Protocollo di Kyoto, 2005

Indice delle tavole

- TAVOLA 01: Inquadramento territoriale – Scala metrica
- TAVOLA 02: Analisi della viabilità – Scala metrica
- TAVOLA 03: Analisi del tessuto urbano – Scala metrica
- TAVOLA 04: Analisi dell'evoluzione storica – Scala metrica
- TAVOLA 05: Analisi del sistema del verde – Scala metrica
- TAVOLA 06: Analisi del sistema dei servizi – Scala metrica
- TAVOLA 07: Rilievo fotografico – Scala metrica
- TAVOLA 08: Analisi criticità e opportunità – Scala metrica
- TAVOLA 09: Definizione del concept plan – Scala metrica
- TAVOLA 10: Planimetrico – Scala metrica
- TAVOLA 11: Planimetrico: Viabilità – Scala metrica
- TAVOLA 12: Distribuzione delle funzioni – Scala metrica
- TAVOLA 13: Pianta livello 0 – Scala metrica
- TAVOLA 14: Pianta livello 1 – Scala metrica
- TAVOLA 15: Pianta livello 2 – Scala metrica
- TAVOLA 16: Pianta coperture – Scala metrica
- TAVOLA 17: Sezioni zona aule didattiche – Scala 1:200
- TAVOLA 18: Sezioni zona laboratori e uffici – Scala 1:200
- TAVOLA 19: Prospetto S-E – Scala 1:100
- TAVOLA 20: Prospetto S-O – Scala 1:100
- TAVOLA 21: Prospetto N-E – Scala 1:100
- TAVOLA 22: Prospetto S-O – Scala 1:100
- TAVOLA 23: Funzionamento invernale diurno – Scala 1:100
- TAVOLA 24: Funzionamento estivo diurno con impianto spento – Scala 1:100
- TAVOLA 25: Funzionamento estivo diurno con impianto in funzione – Scala 1:100
- TAVOLA 26: Funzionamento estivo notturno – Scala 1:100
- TAVOLA 27: Abaco delle chiusure 1- Scala 1:20
- TAVOLA 28: Abaco delle chiusure 2 – Scala 1:20
- TAVOLA 29: Abaco delle chiusure 3 – Scala 1:20
- TAVOLA 30: Abaco delle chiusure 4 – Scala 1:20
- TAVOLA 31: Abaco delle chiusure 5 e delle partizioni – Scala 1:20
- TAVOLA 32: Sezione A-A – Scala metrica
- TAVOLA 33: Sezione B-B – Scala metrica
- TAVOLA 34: Sezione C-C – Scala metrica

TAVOLA 35: Particolari costruttivi 1-2-3 – Scala 1:10
TAVOLA 36: Particolari costruttivi 4-5-6 – Scala 1:10
TAVOLA 37: Particolari costruttivi 7-8 – Scala 1:10
TAVOLA 38: Particolari costruttivi 9-10 – Scala 1:10
TAVOLA 39: Particolari costruttivi 11-12 – Scala 1:10
TAVOLA 40: Particolari costruttivi 13-14-15 – Scala 1:10
TAVOLA 41: Particolari costruttivi 16-17 – Scala 1:10
TAVOLA 42: Particolari costruttivi 18-19 – Scala 1:10
TAVOLA 43: Blow-Up 1 – Scala metrica
TAVOLA 44: Blow-Up 2 – Scala metrica
TAVOLA 45: Sicurezza antincendio livello 0 – Scala metrica
TAVOLA 46: Sicurezza antincendio livello 1 – Scala metrica
TAVOLA 47: Sicurezza antincendio livello 2 – Scala metrica
TAVOLA 48: Piante strutturali zona aule didattiche livello -3 – Scala metrica
TAVOLA 49: Piante strutturali zona aule didattiche livello 0 – Scala metrica
TAVOLA 50: Piante strutturali zona aule didattiche livello 3,5 – Scala metrica
TAVOLA 51: Piante strutturali zona aule didattiche livello 9 – Scala metrica
TAVOLA 52: Sezione strutturale A-A' – Scala metrica
TAVOLA 53: Sezione strutturale B-B' – Scala metrica
TAVOLA 54: Piante strutturali zona laboratori e uffici livello -3 – Scala metrica
TAVOLA 55: Piante strutturali zona laboratori e uffici livello 0 – Scala metrica
TAVOLA 56: Piante strutturali zona laboratori e uffici livello 3,5 – Scala metrica
TAVOLA 57: Piante strutturali zona laboratori e uffici livello 9 – Scala metrica
TAVOLA 58: Visualizzazione tridimensionale delle strutture 1 – Scala metrica
TAVOLA 59: Visualizzazione tridimensionale delle strutture 2 – Scala metrica
TAVOLA 60: Visualizzazione tridimensionale delle strutture 2 – Scala metrica
TAVOLA 61: Fasi di montaggio 1 – Scala metrica
TAVOLA 62: Fasi di montaggio 2 – Scala metrica
TAVOLA 63: Piante strutturali della palestra comunale esistente 1 – Scala 1:200
TAVOLA 64: Piante strutturali della palestra comunale esistente 2 – Scala 1:200
TAVOLA 65: Rete di teleriscaldamento – Scala metrica
TAVOLA 66: Schema impiantistico generale
TAVOLA 67: Centrale termica: Bassa Temperatura – Scala 1:20
TAVOLA 68: Centrale termica: Alta Temperatura – Scala 1:20
TAVOLA 69: Sottostazione scuola elementare: Bassa Temperatura – Scala: Varie

TAVOLA 70: Particolare ventilazione a dislocamento – Scala metrica

TAVOLA 71: Sottostazione scuola elementare: Alta Temperatura- Scala: Varie

TAVOLA 72: Sezione impiantistica 1 – Scala metrica

TAVOLA 73: Sezione impiantistica 2 – Scala 1:100

TAVOLA 74: Vista aerea 1

TAVOLA 75: Vista aerea 2

TAVOLA 76: Vista esterna 1

TAVOLA 77: Vista esterna 2

TAVOLA 78: Vista esterna 3

TAVOLA 79: Vista esterna 4

TAVOLA 80: Vista interna 1

TAVOLA 81: Vista interna 2

TAVOLA 82: Vista interna 3

Indice delle figure

Capitolo 1

Figura 1: www.euromayor.eu; www.eusew.com

Figura 6: www.euromayor.eu

Figura 7: www.euromayor.eu

Figura 8: www.euromayor.eu

Capitolo 2

Figura 1: www.eusew.com

Figura 3: P.E.C. Bologna

Figura 4: P.E.C. Bologna

Figura 5: P.E.C. Bologna

Figura 6: P.E.C. Milano

Figura 7: Factor 20

Figura 8: Factor 20

Figura 8: Factor 20

Capitolo 3

Figura 7: P.G.T. Cenate Sopra

Figura 8: P.G.T. Cenate Sopra

Figura 9: P.G.T. Cenate Sopra

Capitolo 5

Scheda Riferimenti 1: www.sauerbruchhutton.de/

Scheda Riferimenti 2: www.archiportale.com/news/2009/10/risultati/sauerbruch-hutton-firma-il-primo-quartiere-zero-emission-della-finlandia_16776_37.html

Scheda Riferimenti 3: www.zedfactory.com/projects.html

Scheda Riferimenti 4: www.archinfo.it/takaharu-yui-tezuka-architects-montessori-school-fuji-kindergarten/0,1254,53_ART_197877,00.html

Scheda Riferimenti 5: www.europaconcorsi.com

Scheda Riferimenti 6: www.europaconcorsi.com

Scheda Riferimenti 7: www.pubbliservizi.it/content.asp?Subc=393&L=1&idMen=187

Figura 19: RAFFAELLINI, *Irraggiamento Solare*

Figura 20: RAFFAELLINI, *Irraggiamento Solare*

Figura 21: RAFFAELLINI, *Irraggiamento Solare*

Figura 22: RAFFAELLINI, *Irraggiamento Solare*

Capitolo 6

Figura 8: D.M. 14/01/2008, Capitolo 3

Figura 9: D.M. 14/01/2008, Capitolo 3

Figura 10: D.M. 14/01/2008, Capitolo 3

Figura 11: D.M. 14/01/2008, Capitolo 3

Figura 12: D.M. 14/01/2008, Capitolo 2

Figura 13: D.M. 14/01/2008, Capitolo 2

Figura 14: D.M. 14/01/2008, Capitolo 2

Figura 15: D.M. 14/01/2008, Capitolo 4

Figura 16: D.M. 14/01/2008, Capitolo 11

Figura 17: D.M. 14/01/2008, Capitolo 4

Figura 18: D.M. 14/01/2008, Capitolo 4

Figura 22: D.M. 14/01/2008, Capitolo 4

Figura 24: Eurocodice 3

Figura25: Eurocodice 3

Figura 30: Toniolo G., *Cemento Armato – Calcolo agli stati limite*, Zanichelli, 2004

Figura 31: Toniolo G., *Cemento Armato – Calcolo agli stati limite*, Zanichelli, 2004

Figura 32: Toniolo G., *Cemento Armato – Calcolo agli stati limite*, Zanichelli, 2004

Figura 33: Toniolo G., *Cemento Armato – Calcolo agli stati limite*, Zanichelli, 2004

Capitolo 7

Figura 1: Relazione Geotecnica Comune di Cenate Sopra

Figura 2: P.A.I.

Figura 3: www.wikipedia.it

Figura 4 : www.geoservicesardegna.com

Figura 5: www.igeasas.it

Figura 6: www.iris-instruments.com

Figura 7: www.iris-instruments.com

Figura8: www.iris-instruments.com

Figura 9: Relazione Geotecnica Comune di Cenate Sopra

Figura 10: Relazione Geotecnica Comune di Cenate Sopra

Figura 11: Relazione Geotecnica Comune di Cenate Sopra

Figura 12: Relazione Geotecnica Comune di Cenate Sopra

Figura 13: lnx.compacsrl.it

Figura 14: lnx.compacsrl.it

Figura 16: Relazione Geotecnica Comune di Cenate Sopra

Figura 18: LANCELLOTTA R., *Geotecnica*, Zanichelli, 2007

Figura 19: LANCELLOTTA R., *Geotecnica*, Zanichelli, 2007

Figura 22: LANCELLOTTA R., *Geotecnica*, Zanichelli, 2007

Figura 24: LANCELLOTTA R., *Geotecnica*, Zanichelli, 2007

Figura 24: LANCELLOTTA R., *Geotecnica*, Zanichelli, 2007

Figura 26: LANCELLOTTA R., *Geotecnica*, Zanichelli, 2007

Figura 27: LANCELLOTTA R., *Geotecnica*, Zanichelli, 2007

Figura 28: LANCELLOTTA R., *Geotecnica*, Zanichelli, 2007

Figura 29: LANCELLOTTA R., *Geotecnica*, Zanichelli, 2007

Figura 31: A.R.P.A.

Figura 32: A.R.P.A.

Figura 33: A.R.P.A.

Figura 34: A.R.P.A.

Figura 35: A.R.P.A.

Figura 37: www.ogs.trieste.it

Capitolo 8

Figura 1: www.buderus.it

Figura 4: www.buderus.it

Figura 5: www.buderus.it

Figura 6: ZAPPONE C., *La serra solare*, Il Sole 24 Ore, 2004

Figura 7: ZAPPONE C., *La serra solare*, Il Sole 24 Ore, 2004

Figura 8: ZAPPONE C., *La serra solare*, Il Sole 24 Ore, 2004

Tabella 18: www.e-transfer.it

Figura 11: www.fastaer.com/it

Figura 12: www.fastaer.com/it

Figura 14: ZAPPONE C., *La serra solare*, Il Sole 24 Ore, 2004

Tabella 47: www.klimahaus.it

Tabella 48: www.klimahaus.it

Indice degli allegati

Capitolo 4

Allegato 1: Attori, Obiettivi, Vincoli

Allegato 2: Obiettivi e Sottobiettivi 1

Allegato 3: Obiettivi e Sottobiettivi 2

Allegato 4: Classi di alternative

Allegato 5: Attività di progetto

Indice delle appendici

Capitolo 7

Appendice 1: Calcolo dei fattori di sicurezza dello scivolamento del terreno

Capitolo 8

Appendice 1: Relazione tecnica impianti radianti a pavimento

Appendice 2: Verifiche termoigrometriche dell' involucro

Appendice 3: Relazione Tecnica Calcolo Energia Primaria in assenza di fonti di energia rinnovabile

Appendice 4: Relazione Tecnica Calcolo Energia Primaria in presenza di fonti di energia rinnovabile