

POLITECNICO DI MILANO



FACOLTA' DI INGEGNERIA EDILE ARCHITETTURA
POLO REGIONALE DI LECCO

INTERVENTO DI EDILIZIA CONTEMPORANEA

RESIDENZE E SERVIZI INTEGRATI NEL CENTRO STORICO DI PALERMO



RELATORE: Prof. GABRIELE MASERA

AUTORE: CONTE FRANCESCO

MATRICOLA: 646210

ANNO ACCADEMICO 2010-11

INDICE

INDICE DELLE TAVOLE	8
INTRODUZIONE.....	9
0.1. BANDO DI CONCORSO PREMIO DI STUDIO “COMPASSO VOLANTE”	11
CAPITOLO 1	13
1. PALERMO E LA CALA	13
1.1. SVILUPPO STORICO DELLA CITTA’	13
1.1.1. Localizzazione e situazione attuale del complesso di intervento	13
1.1.2. Storia della Città di Palermo	14
1.1.3. La Cala: evoluzione storica dell’area d’intervento	18
1.1.4. Il Castello a Mare	19
1.1.5. Il quartiere Castello San Pietro	21
1.2. CONTESTO URBANISTICO E SOPRALLUOGO AL SITO	22
1.3. INTERAZIONE TRA ANALISI URBANA E PROGETTO ARCHITETTONICO	23
1.3.1. Contesto ambientale: piano per il recupero del mare e della costa	23
1.3.2. Il piano generale: gli interventi	24
1.3.2.1. Parco archeologico del castello a mare.....	24
1.3.2.2. Il sistema del verde.....	25
CAPITOLO 2	26
2. IL PROGETTO ARCHITETTONICO.....	26
2.1. LE RESIDENZE	27
CAPITOLO 3	29
3. L’EDIFICIO SOSTENIBILE	29
3.1. LA QUESTIONE ENERGETICA: LA NUOVA STRATEGIA 20-20-20.....	30
3.2. L’ARCHITETTURA BIOCLIMATICA I SISTEMI PER LA SOSTENIBILITA’	31
3.2.1. Fattori determinanti per le scelte tipologiche-costruttive	31
3.2.1.1. Orientamento	31

3.2.1.2. Sistema di guadagno diretto	31
3.2.1.3. Raffrescamento passivo	32
3.2.1.4. Morfologia dell'involucro edilizio:	33
3.3. LA PROGETTAZIONE TECNOLOGICA	34
3.3.1. Le soluzioni tecnologiche	34
3.3.1.1. Le chiusure opache	34
3.3.1.2. Le chiusure trasparenti	34
CAPITOLO 4	36
4. PROGETTAZIONE TERMOIGROMETRICA.....	36
4.1. REQUISITI E PRESTAZIONI DEL SISTEMA TECNOLOGICO: CONCETTI DI FISICA TECNICA AMBIENTALE	37
4.1.1. Conduttività termica λ e resistività $1/\lambda$	38
4.1.2. Resistenza termica (1/K) e trasmittanza (K)	39
4.1.3. Capacità termica e inerzia termica	39
4.1.4. Prevenzione della condensa e il fenomeno del vapore	40
4.1.4.1. Umidità relativa (φ)	40
4.1.4.2. Temperatura del punto di rugiada (θ_s)	40
4.1.4.3. Pressione del vapore acqueo (p) e pressione di saturazione (p_s)	40
4.1.4.4. Permeabilità al vapore dei materiali	41
4.1.4.5. Resistenza alla diffusione del vapore R_v (s/δ)	41
4.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	42
4.3. DECRETO LEGISLATIVO 19 AGOSTO 2005, N. 192	42
4.4. CONTENUTI DEL DPR 59/2009 E I REQUISITI NAZIONALI	43
4.5. I REQUISITI MINIMI	44
4.6. IL METODO CEN	47
4.7. EDILCLIMA	48
4.7.1. Caratteristiche termoigrometriche e dinamiche delle strutture	49
4.7.2. Potenza estiva	50
4.8. CALCOLI E VERIFICHE TERMOIGROMETRICHE	51
4.8.1. Verifica delle strutture opache	51
4.8.2. Verifica delle strutture trasparenti	71
4.8.3. Calcolo delle dispersioni dell'intero edificio	78
4.8.4. Calcolo dei carichi termici estivi	79

4.8.5. CONCLUSIONI	86
CAPITOLO 5	87
5. SCELTE IMPIANTISTICHE	87
5.1. POMPA DI CALORE	87
5.1.1. Efficienza della Pompa di Calore	88
5.1.2. Le tipologie di Pompe di Calore	90
5.1.3. Applicazioni della Pompa di Calore	90
5.1.4. Dimensionamento	91
5.1.4.1. Dati di progetto del generatore	92
5.1.4.2. Climatizzazione	93
5.2. GENERATORE FOTOVOLTAICO	93
5.2.1. Come funziona un impianto fotovoltaico	93
5.2.2. Dimensionamento	94
5.3. CONCLUSIONI	97
CAPITOLO 6	98
6. PROGETTAZIONE STRUTTURALE	98
6.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	98
6.2. AZIONI SULLE COSTRUZIONI	99
6.3. CALCOLO STRUTTURA IN ACCIAIO	99
6.4. ANALISI DEI CARICHI PERMANENTI	100
6.5. ANALISI DEI CARICHI VARIABILI	101
6.5.1. CARICO DA NEVE	102
6.5.1.1. Carico di neve al suolo	102
6.5.1.2. coefficiente di forma per il carico neve	103
6.5.1.3. neve sporgente dall'estremità di una copertura	103
6.5.1.4. carico neve su protezioni paraneve ed altri ostacoli sulla copertura	104
6.5.2. AZIONI DEL VENTO	105
6.5.2.1. pressione del vento	105
6.5.2.2. azione tangente del vento	105
6.5.2.3. pressione cinetica di riferimento	106
6.5.2.4. coefficiente di esposizione	108
6.5.2.5. Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde inclinate	110

6.5.2.6.	coefficiente di attrito	110
6.5.2.7.	coefficiente dinamico	111
6.6.	DIMENSIONAMENTO.....	112
6.6.1.	TRAVE SECONDARIA – S.L.E.	112
6.6.2.	TRAVE SECONDARIA – S.L.U.	113
6.6.3.	TRAVE SECONDARIA DI BORDO	114
6.6.3.1.	Combinazioni di carico.....	114
6.6.3.2.	Inviluppo.....	116
6.6.4.	TRAVE SECONDARIA DI MEZZO	117
6.6.4.1.	Analisi dei carichi	117
6.6.4.2.	Combinazione di carico: ipotesi 1	117
6.6.4.3.	Combinazione di carico: ipotesi 2	118
6.6.4.4.	Combinazione di carico: ipotesi 3	119
6.6.4.5.	Inviluppo.....	119
6.6.5.	TRAVE PRINCIPALE – S.L.E.	120
6.6.5.1.	Analisi dei carichi	120
6.6.5.2.	Disposizione delle travi secondarie sulla trave principale	120
6.6.6.	TRAVE PRINCIPALE – S.L.U.	122
6.6.6.1.	Procedimento di calcolo.....	122
6.6.6.2.	Verifica delle travi	122
6.6.7.	TRAVE PRINCIPALE COMBINAZIONI DI CARICO	123
6.6.7.1.	Analisi dei carichi	123
6.6.7.2.	Combinazione di carico: ipotesi 1	123
6.6.7.3.	Combinazione di carico: ipotesi 2	124
6.6.7.4.	Combinazione di carico: ipotesi 3	125
6.6.7.5.	Combinazione di carico: ipotesi 4	128
6.6.7.6.	Inviluppo.....	130
6.6.8.	PILASTRI	131
6.6.8.1.	Analisi dei carichi	131
6.6.8.2.	Procedimento di calcolo.....	131
BIBLIOGRAFIA.....		132

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Vista della Cala e dell'area delle rovine del Castello a Mare	9
Figura 2 – Vista aerea di Palermo	13
Figura 3 – Pianta di Palermo in età Araba	14
Figura 4 – pianta di Palermo in età Punico-Romana.....	15
Figura 5 – Pianta di Palermo in età bizantina.....	16
Figura 6 – Pianta di Palermo in età Medioevale.....	17
Figura 7 – Vista fotografica della Cala in età Medioevale.....	19
Figura 8 – Castello a Mare	20
Figura 9 – Resti delle rovine del Castello a Mare.....	21
Figura 10 – Vista aerea dell' area costiera e portuale della Cala	22
Figura 11 – Vista panoramica dell'area archeologica e del Castello a Mare, oggi.....	22
Figura 12 – Vista fotografica della Cala oggi.....	23
Figura 13 – Piano particolareggiato esecutivo – Centro storico di Palermo.....	24
Figura 14 – Masterplan di progetto dell'area d'intervento.....	26
Figura 15 – Vista realistica dell'area d'intervento	27
Figura 16 – Vista prospettica degli edifici di progetto	28
Figura 17 – Vista del percorso interno tra gli edifici.....	28
Figura 18 – Scheme design stagione invernale	32
Figura 19 – Scheme design stagione estiva	33
Figura 20 – Diagramma dispersioni edificio	78
Figura 21 – Schema di funzionamento di un generatore fotovoltaico	94
Figura 22 – Mappa delle zone per carico neve	102
Figura 23 – Mappa delle zone per azione del vento.....	107

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Totali dei massimi carichi estivi	80
Tabella 2 - Fabbisogno estivo - INTERO EDIFICIO	81
Tabella 3 - Carichi di radiazione solare attraverso il vetro (W/m ²)	81
Tabella 4 - Temperatura esterna (°C), umidità relativa (%)	82
Tabella 5 - Fattori di accumulo per schermi interni.....	83
Tabella 6 - Fattori di accumulo per schermi esterni o nessuno schermo.....	84
Tabella 7 - Differenza di temperatura equivalente per i muri irradiati o in ombra.....	85
Tabella 8 - Differenza di temperatura equivalente per i tetti irradiati o in ombra.....	86

INDICE DELLE TAVOLE

Tavola 0 – Masterplan

Tavola 1 – Pianta del piano tipo

Tavola 2 – Prospetto SUD

Tavola 3 – Prospetto NORD

Tavola 4 – Sezione scala 1:20

Tavola 5 – Dettaglio costruttivo S.O. 01 – S.O. 02

Tavola 6 – Dettaglio costruttivo S.V. 01

Tavola 7 – Dettaglio costruttivo S.V. 02

Tavola 8 – Dettaglio costruttivo S.V. 03

INTRODUZIONE

Palermo, nata come città di mare, dal mare è stata tenuta lontana per privilegiare una crescita indiscriminata e distruttiva delle risorse ambientali e naturalistiche, compreso il mare stesso divenuto un corpo recettore come i canali e il fiume Oreto.



Figura 1 – Vista della Cala e dell'area delle rovine del Castello a Mare

Le previsioni di piano sono quindi orientate ad una gestione riferita a capacità di sviluppo economico che utilizza eventuali risorse esterne come aggiuntive e volte a valorizzare e sostenere risorse locali.

Tutti gli interventi previsti vogliono essere orientati quindi in direzione di uno sviluppo "sostenibile" basata sulla valorizzazione delle risorse e delle caratteristiche del territorio.

La risorsa territoriale più forte insieme al verde e, paradossalmente negata dalla crescita della città, è la costa - ed il mare - sia come risorsa legata alle attività produttive (il Porto, il Cantiere Navale, l'indotto) sia come legata allo sviluppo del turismo e del tempo libero nello scenario di un paesaggio marino di grande valore ambientale e di un territorio ancora, malgrado tutto ricco di risorse monumentali e culturali.

Ri-creare il rapporto tra la città e il suo mare, è quindi obiettivo di fondo.

L'obiettivo è quello di restituire questo tratto di costa al suo originario ruolo di "porta di mare" della città, rimuovendo tutti quei fattori che hanno portato all'abbandono. Tale operazione parte dall'esistente edificato storico, oggi in stridente contrasto con le densità e le elevate cubature delle nuove costruzioni.

Le aree libere dovranno servire alla creazione di nuove attrezzature cui affidare il compito di connettere e ricucire gli antichi tessuti con le nuove costruzioni.

Discorso a parte merita il Porto il cui ruolo nella città è anche legato alle presenze industriali operanti. Si prevede che il Porto si alleggerisca dalle attività connesse con il trasporto di carburante, razionalizzando e potenziando il traffico passeggeri e le attività di trasporto delle merci per un'area molto dipendente dall'esterno, che va oltre la città di Palermo.

La previsione della nuova via di accesso al porto con attacco alla tangenziale in corrispondenza della via De Gasperi, consentirà di rivedere alcune previsioni del P.P.E. del Centro Storico, in particolare quelle legate al tunnel sotto la Cala ed ai parcheggi sotterranei. Ciò consentirebbe di ripristinare il rapporto del mare e l'antico nucleo cittadino alleggerendo di molto il traffico veicolare lungo la costa.

0.1. BANDO DI CONCORSO PREMIO DI STUDIO “COMPASSO VOLANTE”

Finalità del progetto è la sistemazione di un'area residua del Centro Storico di Palermo, risultato di una bonifica degli edifici distrutti dall'ultima guerra Mondiale, che necessita di una riqualificazione dell'esistente e una ricucitura con il resto della città, tenuto conto anche della vicinanza con il mare e della presenza dell'insenatura della Cala che costituisce un porto naturale, oggi ad uso turistico.

Il progetto consisterà in:

- un masterplan complessivo dell'area;
- un intervento edilizio nella zona contrassegnata dal tratteggio.

L'intervento consisterà nella progettazione integrata di residenze, spazi commerciali e servizi. Dovranno essere previsti un nuovo edificio da destinare a residenze sia di tipo occasionale che stabile ed il recupero degli edifici dell'ex mercato ittico da destinare a spazi commerciali. Nella superficie di intervento, pari a circa 6.000 m², si dovrà insediare un volume, non superiore a 15.000 m³, escluso l'edificio dell'ex mercato ittico per il quale si potrà prevedere un eventuale recupero.

In particolare si dovranno prevedere per il nuovo edificio residenziale:

- hall di ingresso comune per le due tipologie residenziali;
- residenze stabili di piccolo taglio (max. 60 mq);
- residenze occasionali (per 1, 2, 3 persone, espandibili tramite aggregazioni modulari per un numero superiore di occupanti);

devono essere garantiti i seguenti valori dimensionali per alcuni vani:

- altezza minima utile per i locali da adibirsi ad abitazione di 2,70 m, riducibili a 2,40 m per corridoi, servizi e disimpegni in genere;
- superficie minima interna utile delle camere da letto doppia: 14 m²;
- superficie minima interna utile delle camere da letto singola: 9 m²;
- superficie minima interna utile per un monolocale: 28 m².

Il 5% degli alloggi realizzabili dovrà essere dotato di tutti gli accorgimenti necessari per la fruizione di persone con ridotta capacità motoria.

Attrezzature a servizio delle residenze occasionali che possono essere utilizzate anche dalle residenze stabili e dalla città:

- ristorante (m² 300) con spazio di pertinenza all'aperto esteso il 50% della superficie adibita a sala;
- sala riunioni (m² 150);
- lavanderia (m² 100);
- spazi di aggregazione all'aperto per ambedue le destinazioni residenziali.

L'intera o parte della copertura delle residenze occasionali deve essere destinata a tetto attrezzato anche a giardino in modo da costituire un luogo di aggregazione panoramico sul mare e sulla città di Palermo.

Parcheggi interrati ad uso delle residenze nella misura di 1/10 del volume complessivo di nuova costruzione.

Spazi commerciali a servizio del porto turistico, delle residenze stabili ed occasionali e della città, da collocare nell'ex mercato ittico nel caso di un suo recupero.

L'intera area di progetto sarà considerata a traffico limitato e pertanto dovrà essere servita da una viabilità a ridotta dimensione con carreggiate non superiori ai 7,20 m di larghezza.

CAPITOLO 1

1. PALERMO E LA CALA

1.1. SVILUPPO STORICO DELLA CITTA'



Figura 2 – Vista aerea di Palermo

1.1.1. Localizzazione e situazione attuale del complesso di intervento

La lettura del territorio extra-moenia porta a considerare Palermo quale stratificazione di tre elementi fondanti:

quello della città-oasi antica, che include le due grandi prospettive rinascimentali

quello tardo-ottocentesco e novecentesco della città a scacchiera, con la sua misura di qualità europea

quello sregolato e paradossale dello sviluppo recente, che ha perturbato in molti luoghi il disegno a terra e quasi dovunque il gioco delle altezze.

I cardini che costituiscono la nuova struttura urbana, derivante dalle approfondite analisi sono:

- tracciati storici primari

quali sorsero soltanto alcune costruzioni isolate: d'altronde già nell'età musulmana la città aveva raggiunto dimensioni eccezionali per quei tempi. Nel 1212, dopo un breve periodo di decadenza, Palermo riacquistò centralità e vigore sotto la dominazione di Federico II di Svevia. L'abilità costruttiva degli arabi si tramandò fino al XV secolo con architetture di mirabile fattura costruttiva quale quella Sveva, Ciaramontana e Gotico -Catalana. Nel XIV secolo, venne demolito l'antico muro che separava la Paleopolis dalla Neapolis. Le mura esterne mantennero invece la loro funzione difensiva e nel 1380 vennero completate da Manfredi III Chiaramonte che provvide a realizzarle anche lungo il perimetro della Cala.

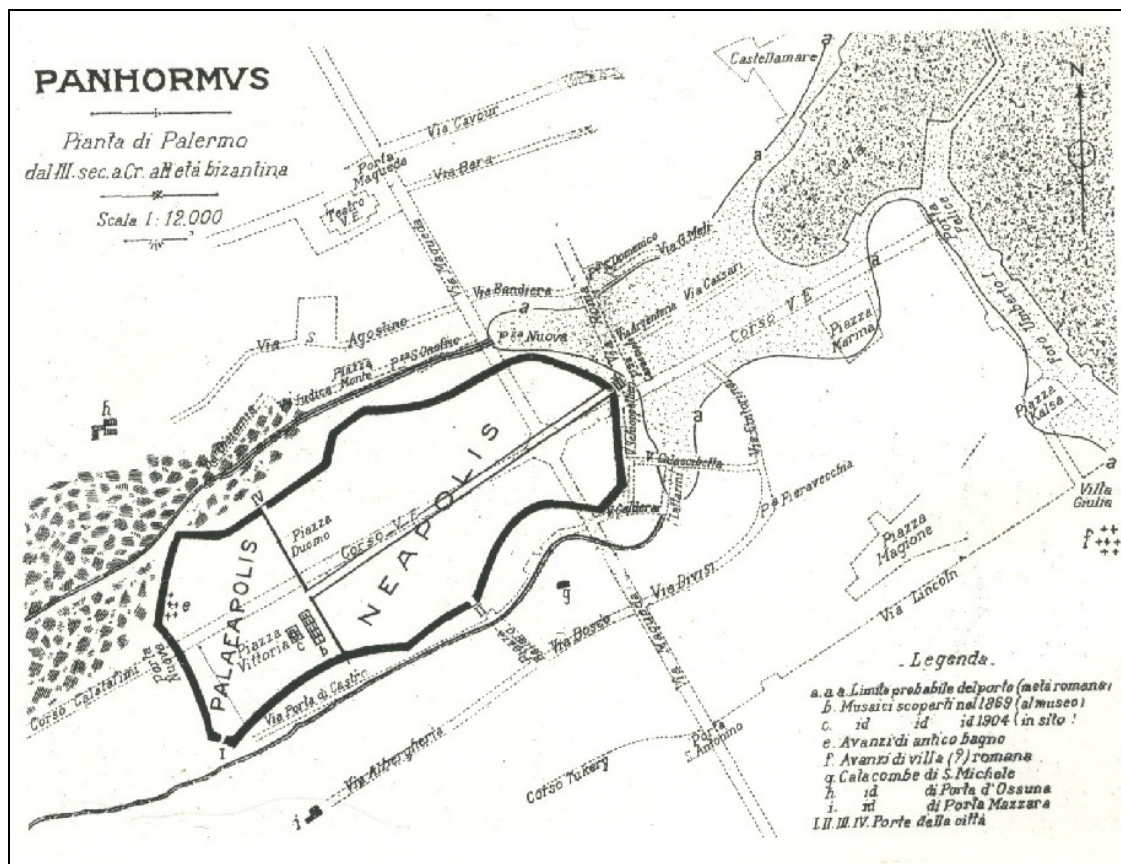


Figura 5 – Pianta di Palermo in età bizantina

Bisognò comunque attendere la dominazione degli Spagnoli, ed in particolare il vicerè Gonzaga, perché si procedesse ad un piano di ammodernamento delle mura che venne avviato nel 1533 sulla base del progetto dell'ing. militare Antonio Ferramolino che oltre al potenziamento delle stesse mura prevedeva anche la costruzione di ben 12 bastioni resisi necessari per l'uso dell'artiglieria, tra i quali i più noti sono quelli dello Spasimo e quello di porta Carini ed il

rafforzamento del Castello a mare. L'aspetto dominante è tuttavia il Barocco, fiorito durante il periodo spagnolo con pregevoli chiese e palazzi. Un barocco costituito anche da decorazioni interne spesso eseguite da Giacomo Serpotta (1656 - 1732).

In questo contesto artistico il vicerè Maqueda diede inizio ai lavori per la realizzazione di una nuova strada, che intersecandosi ortogonalmente con l'asse del Cassaro diede vita ai "Quattro Canti di Città", la formazione della croce di strade, pose le basi di uno sviluppo di Palermo contrario all'originaria tendenza mare-monte, che ha caratterizzato la successiva espansione oltre le mura della città.



Figura 6 – Pianta di Palermo in età Medioevale

Nel '700 i Borboni di Napoli contribuirono a definire i fronti della via Maqueda realizzando splendidi palazzi in stile barocco, inoltre le migliorate condizioni di sicurezza dell'isola condussero allo smantellamento del possente apparato difensivo cinquecentesco della città. Il fossato venne colmato lasciando posto, così, alle prime strade suburbane lungo il circuito delle mura e i bastioni, ormai smobilitati, vennero adibiti a giardini privati o pubblici oltre a quelli di nuova edificazione nei quali trovarono posto rare specie tropicali. Ha, così, inizio l'espansione della città verso la campagna, intensificata nell'Ottocento dalla nuova borghesia imprenditoriale.

Nel 1848 il governo rivoluzionario decise il prolungamento della storica via Maqueda verso la Piana dei Colli: in onore della rivoluzione la lunga arteria fu chiamata Strada della Libertà.

Per lungo tempo lo sviluppo edilizio in questa nuova zona ad ovest della città antica rimase abbastanza limitato, riprendendo soltanto verso la fine dell'800 in cui vennero anche completati (in particolare tra il 1874 e il 1897) i due teatri Massimo (G.B. Basile) e Politeama (D. Almeyda). Il prolungamento della via Libertà e la riproposizione della croce di strade ha condizionato lo sviluppo della città nella sua configurazione attuale.

1.1.3. La Cala: evoluzione storica dell'area d'intervento

L'antico porto naturale della città, il cui toponimo (dall'arabo Qala) indica l'insenatura riparata. All'epoca della fondazione della città (VIII secolo a.c.) e fino all'alto medioevo, si divideva in due bracci, navigabili per un buon tratto, ed aveva una dimensione notevolmente più vasta; da ciò derivava alla città l'appellativo greco di Panormos, cioè "tutto porto".

Successivamente le dimensioni divennero piuttosto contenute a causa del progressivo interrimento dovuto ai materiali qui trasportati dai due fiumi che un tempo lambivano l'agglomerato urbano, il Papireto ed il Kemonia.

Nel XVII sec. fu costruito un nuovo e più moderno molo a settentrione del precedente (in corrispondenza dell'attuale struttura portuale) e la Cala divenne un porto prevalentemente peschereccio. Durante la Seconda Guerra Mondiale, a seguito dei bombardamenti bellici, lungo l'arco della Cala scomparvero numerose chiese e palazzi nobiliari. Di notevole importanza rimane, ancora oggi, tra le altre chiese quella di S. Maria della Catena, edificata tra il XV e il

XVI sec., così chiamata in ricordo della catena che chiudeva l'imboccatura del porto durante la dominazione arabonormanna.



Figura 7 – Vista fotografica della Cala in età Medioevale

Oggi, il bacino è utilizzato come porto turistico, privo ancora delle necessarie attrezzature, ma con la presenza dell'edificio che ha ospitato il Mercato Ittico testimonianza di una vocazione dell'area non più proponibile.

1.1.4. Il Castello a Mare

La prima sistemazione del Castrum Maris potrebbe risalire al campo militare impiantato dai cartaginesi nel V sec. a.C. come primo nucleo della Neapolis.

Del nucleo antico del Castello rimane il mastio arabo-normanno da cui è ipotizzabile un impianto primitivo di una certa estensione, di forma quadrata con torri poligonali angolari.

I mutamenti politici del XV secolo segnarono una fase di notevoli trasformazioni atte al rafforzamento delle opere di difesa, per volere del vicerè Ferrante Gonzaga, si passò dal nucleo quadrato e compatto ad un nuovo sistema difensivo fortemente articolato con la creazione di una vasta piazza d'armi interna, definita da un recinto architettonico di forma trapezoidale qualificato

lungo il margine sudovest dalla presenza di un ingresso turrato e da una poderosa torre cilindrica, chiamata baluardo di San Pietro.

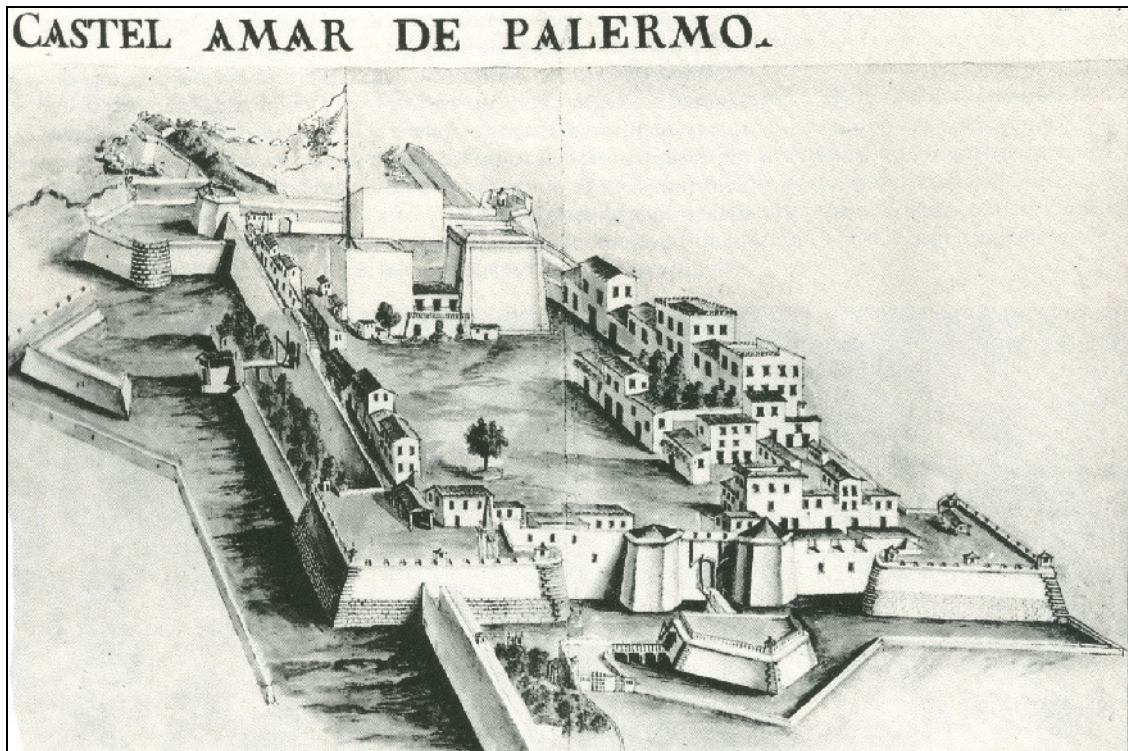


Figura 8 – Castello a Mare

La costruzione dei bastioni, rivolti verso la città, contribuirono a dare il definitivo assetto a tutta l'area del Castello che divenne così una vera e propria cittadella fortificata. Con queste trasformazioni il Castello a Mare raggiungeva il suo aspetto pressoché definitivo, che manterrà fino all' 1800 quando cominciarono le graduali demolizioni che condussero alla sua definitiva scomparsa.

Tra il Giugno del 1922 e il Dicembre del 1923 venne completamente demolito e interrata buona parte di mare prospiciente lasciando libera un'area trapezoidale di circa 50.000 mq in cui rimasero, come "relitti architettonici", la Porta aragonese, il Mastio normanno, il Bastione di San Pietro.

L'area del castello, priva di destinazioni urbanistiche certe, venne aggredita da un insieme caotico di insediamenti industriali, depositi di vario genere, strutture precarie, che ben presto inglobarono gli elementi residui del Castello fino a cancellarne la memoria.

Solo negli ultimi anni, la cultura locale è tornata ad interessarsi al Castello a Mare e dell'area su cui insiste, fino a giungere alle indicazioni del Piano

Programma (1993) che ne prevede il disseppellimento ed il conseguente recupero. Per parecchi decenni gli unici elementi superstiti della costruzione.



Figura 9 – Resti delle rovine del Castello a Mare

1.1.5. Il quartiere Castello San Pietro

L'area pressoché trapezoidale tra le mura cittadine e il piano del Castello a mare era denominata quartiere Castello San Pietro perché prendeva il nome dalla chiesa di S. Pietro la Bagnara (poi demolita nel 1834). Era caratterizzato da un insediamento prevalentemente residenziale, ad uso dei pescatori della Cala.

Completamente distrutto dai bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale, l'area rappresenta una ferita nel panorama edilizio della città poiché l'antico tracciato viario risulta, oramai, difficilmente riconoscibile. Solo ultimamente l'area è stata liberata dalle macerie e nelle vaste zone resesi vuote rimangono ancora pochi resti.

1.2. CONTESTO URBANISTICO E SOPRALLUOGO AL SITO

L'Area d'intervento è localizzata all'estremità settentrionale della città murata, l'area d'intervento, per le sue condizioni costituisce oggi uno dei nodi irrisolti dell'urbanistica palermitana.



Figura 10 – Vista aerea dell' area costiera e portuale della Cala

L'area è stata interessata, dall'immediato dopoguerra ad oggi, da una lunga serie di iniziative progettuali che costituiscono una testimonianza paradigmatica dell'incapacità di risolvere certi problemi urbani. Nessuno dei piani ha avuto compiuta attuazione, tutti però hanno lasciato tracce poco significative e compiute.



Figura 11 – Vista panoramica dell'area archeologica e del Castello a Mare, oggi

Oggi l'area si presenta come una sommatoria di episodi edilizi slegati e non facilmente riconducibili ad una logica unitaria, dispersi in un contesto ancora segnato da grandi vuoti del tutto privi di sistemazione. Il piano del 1993 prevede, come opere che si ritengono opportune, l'eliminazione della via dei Barillai e della via della Cala tramite la realizzazione di un attraversamento della Cala in tunnel sottomarino nonché la sistemazione del molo trapezoidale come area archeologica e la valorizzazione dei ruderi del grande castello fortificato. Tramite queste operazioni si prevede di rendere pedonale il lungomare.



Figura 12 – Vista fotografica della Cala oggi

1.3. INTERAZIONE TRA ANALISI URBANA E PROGETTO ARCHITETTONICO

1.3.1. Contesto ambientale: piano per il recupero del mare e della costa

Palermo, città di mare e sul mare, oggi non gode appieno di questa straordinaria risorsa. La causa è duplice:

il degrado ambientale in cui versano da lungo tempo numerosi spazi urbani lungo la fascia costiera;

il cronico inquinamento delle acque marine, deturpate da anni e anni di scarichi fognari provenienti dal centro abitato.

Questo insieme di fattori ha reso negli anni scorsi e fino ad oggi poco fruibile la costa, sia per i cittadini palermitani che per i turisti, penalizzandone pesantemente anche il tessuto economico.

L'obiettivo è quello di restituire il mare alla città e ai suoi abitanti, tenendo conto delle esigenze legate alla tutela ambientale, alla balneabilità del mare, al recupero e al rilancio delle aree costiere, alla nascita di nuove strutture e servizi, alle dotazioni infrastrutturali e, in generale, agli aspetti economico-

produttivi ed occupazionali, con il fine ultimo di rivitalizzare il tessuto economico-produttivo e culturale e favorire la fruizione del mare da parte dei cittadini.

1.3.2. Il piano generale: gli interventi

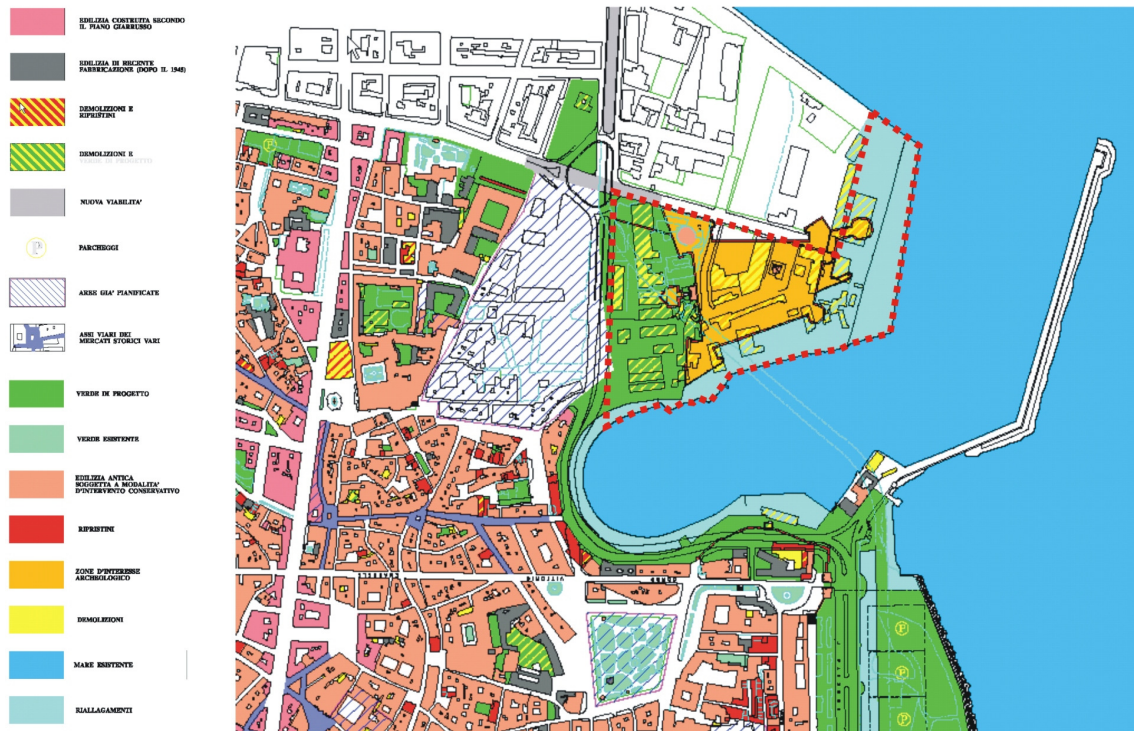


Figura 13 – Piano particolareggiato esecutivo – Centro storico di Palermo

1.3.2.1. Parco archeologico del castello a mare

completamento del restauro;

recupero dei luoghi nei quali oggi sono collocate alcune attività produttive, che saranno trasferite.

L'intervento punta al recupero dell'area attraverso la riqualificazione dell'antico porto, la creazione di una passeggiata a mare e la valorizzazione dell'accesso dal mare al centro storico della città, nonché la ristrutturazione del terminale dell'antico mercato oggi ancora attivo.

Il Castello a mare si trova tra il porto industriale e il porticciolo turistico della Cala. Fondato in età musulmana, sede dell'inquisizione e prigione borbonica nell'Ottocento, è uno dei complessi architettonici più antichi della città di Palermo: una volta recuperato ospiterà spettacoli, manifestazioni promozionali e turistiche.

Il progetto mira, in particolare, al recupero e alla riscoperta dei resti delle strutture murarie del maschio arabo del castello, alla sua ambientazione nel contesto dell'antico porto della Cala e, quindi, al contemporaneo ripristino di un'area fortemente degradata sul fronte a mare. Riemergeranno tutti gli elementi dell'antico insediamento e dell'antica sagoma del porto. La parte su strada sarà configurata a raso per non nascondere i reperti archeologici, mentre la cortina edilizia sulla Cala sarà il filtro tra l'intervento ed il recupero dei ruderi dell'antica fonderia, che costituiranno, insieme alla sistemazione a verde degli ampi spazi antistanti, l'ingresso dal mare al centro storico della città. Saranno creati un parco archeologico-monumentale, secondo le prescrizioni del Ppe (Piano particolareggiato esecutivo) del centro storico, e un percorso didattico guidato con strumenti di orientamento su base informatica e di fruizione e percezione diretta, anche attraverso postazioni didattiche lungo il percorso all'interno del complesso.

1.3.2.2. Il sistema del verde

Il sistema del verde individua le correlazioni fra le varie tipologie individuate e la loro fruizione in rapporto anche agli ambienti vegetali e al loro aspetto paesaggistico.

Cinque sono le tipologie individuate e, tranne la prima, costituiscono il risultato delle ricerche compiute in modo analitico in questo settore. Esse sono:

- Alberature stradali, aiuole, giardini di quartiere
- Giardini Storici
- Parchi urbani, cioè aree "paesaggistiche" e ambientali di interesse urbano
- Aree Agricole
- Ambiti paesaggistici collinari, Riserve Naturali Orientate
- La Costa

CAPITOLO 2

2. IL PROGETTO ARCHITETTONICO

L'idea alla base del progetto è stata quella di creare un complesso residenziale, non solo ad uso esclusivo di coloro che vi ci abitano, ma che potesse diventare centro di sviluppo commerciale e del settore terziario, destinando parte del progetto a zone per l'attività commerciale (negozi, bar, ristoranti, uffici), nonché centro di aggregazione e ritrovo per la popolazione locale, mediante una forte riqualificazione dell'area, ora destinata a porto ittico, rendendola più fruibile agli abitanti di Palermo e diventare così un'area di svago e di attrazione turistica.



Figura 14 – Masterplan di progetto dell'area d'intervento

Una scelta importante è stata anche quella di dare molto spazio al verde pubblico, sia attrezzato che non, che all'interno del nostro intervento assume una rilevanza notevole. Questo deve far sì che l'area diventi una sorta di polmone cittadino in modo da riuscire a far coesistere lo spazio costruito da quello lasciato a verde.

Nei capitoli precedenti, dall'analisi del territorio, si è evidenziato lo "strappo" evidente che si è creato negli ultimi decenni tra la zona della Cala e il centro

storico di Palermo e contemporaneamente l'allontanamento della città stessa dall'elemento che la caratterizza: il mare.

Di fatto l'idea progettuale ha l'intenzione di ovviare questo "strappo" cercando di creare una forma che prosegua l'andamento degli edifici esistenti riducendo lo stacco nell'assetto urbanistico esistente ma che nel contempo diventi riconoscibile e ben visibile sul territorio.

2.1. LE RESIDENZE

Come detto in precedenza il complesso residenziale ha l'obiettivo di integrarsi con l'ambiente circostante rispettandolo, ma allo stesso tempo connotandosi come qualcosa di innovativo, nell'architettura e nella tecnologia utilizzata.

Il progetto è basato su una serie di componenti atti a garantire una flessibilità realizzativa in funzione della diversificata domanda residenziale.

Ha lo scopo e l'intenzione di dare una risposta al tema delle residenze speciali (continuative, *temporanee*, *per studenti*, ecc); la flessibilità del sistema è pensata anche per favorire la migliore integrazione edilizia in contesti di aree di espansione urbana, in territori con caratteri di forte sensibilità e criticità ambientale, ma anche allo sviluppo di insediamenti turistico ricettivi in un contesto di riqualificazione paesaggistica quale è l'area della Cala.

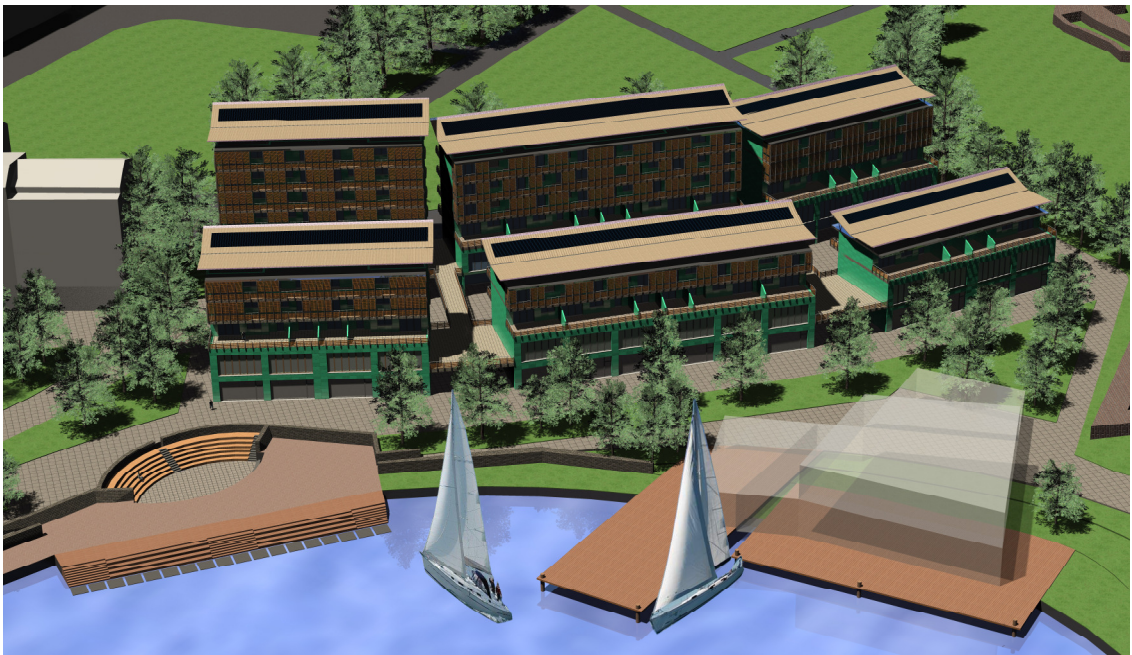


Figura 15 – Vista realistica dell'area d'intervento



Figura 16 – Vista prospettica degli edifici di progetto

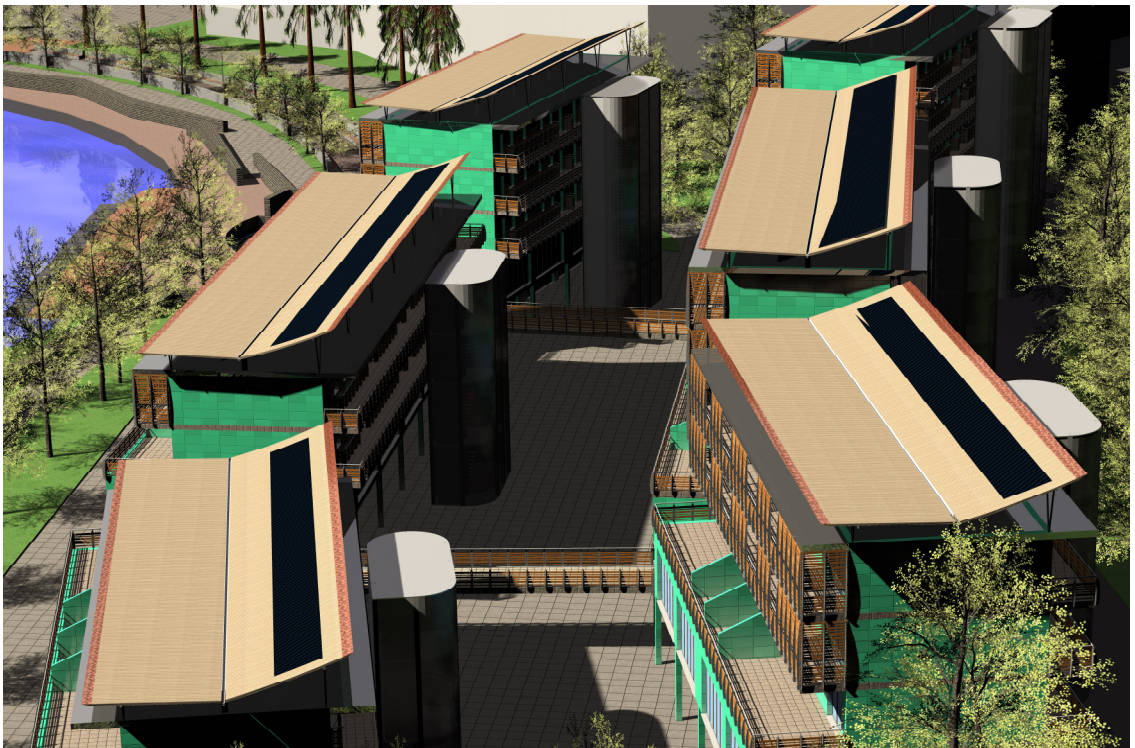


Figura 17 – Vista del percorso interno tra gli edifici

CAPITOLO 3

3. L'EDIFICIO SOSTENIBILE

Attualmente in Europa il consumo di energia nel campo dell'edilizia è circa il 40% del consumo totale; tale percentuale va divisa tra i settori residenziale e terziario. In particolare quasi due terzi dei consumi nel settore residenziale sono da attribuirsi al riscaldamento invernale ed al raffrescamento estivo, fabbisogno, quest'ultimo, in costante crescita.

La richiesta di comfort termico degli edifici è dunque ampliata, la popolazione è aumentata, il consumo di energia è cresciuto di conseguenza.

Inoltre sono aumentate e sono variate le esigenze e le richieste dei fruitori degli edifici. Le nuove esigenze sono di carattere estetico, di carattere architettonico, Le più rilevanti e quelle che maggiormente interferiscono con gli aspetti energetici sono la tendenza dell'involucro degli edifici verso la leggerezza e quella verso la trasparenza/traslucenza.

Queste esigenze presuppongono grandi superfici vetrate, traslucide e/o trasparenti, e superfici opache leggere e poco spesse.

Una strada alternativa che tenga conto delle esigenze di risparmio energetico e che al contempo tenti di soddisfare quelle di carattere estetico, architettonico e, in generale, di benessere fisico e psicologico, è percorribile grazie all'utilizzo di sistemi e di tecnologie come la facciata continua e la facciata ventilata oggi è possibile soddisfare le esigenze che intercorrono nella progettazione e nella pianificazione delle nuove costruzioni.

Un apporto fondamentale è dato dall'utilizzo di nuovi materiali dalle prestazioni in via di continua evoluzione quali ad esempio i Tim (materiali isolanti trasparenti), i materiali cromogenici, in grado di variare le proprie caratteristiche fisiche e chimiche, i materiali a transizione di fase, le pellicole olografiche. Oppure semplicemente riutilizzando materiali tradizionali, convertendoli e affidando loro un ruolo nuovo rispetto a quello che avevano in passato; è il caso del cotto e dei materiali ricomposti e rinforzati con leganti e fibre.

3.1. LA QUESTIONE ENERGETICA: la nuova strategia 20-20-20

La Commissione ha presentato una nuova strategia per un'energia competitiva, sostenibile e sicura.

La Comunicazione "Energia 2020" definisce le priorità energetiche per il prossimo decennio e delinea le azioni da adottare per affrontare le sfide del risparmio energetico, della realizzazione di un mercato caratterizzato da prezzi competitivi e forniture sicure, della promozione del primato tecnologico e di negoziati effettivi con i nostri partner internazionali.

La Commissione propone di concentrare le sue iniziative su due settori che presentano le maggiori potenzialità di risparmio energetico:

- i settori dei trasporti
- dell'edilizia.

Saranno lanciati quattro progetti in settori chiave per la competitività dell'Europa:

- nuove tecnologie per le reti intelligenti e stoccaggio dell'energia elettrica;
- ricerca sui biocarburanti di seconda generazione;
- partenariato "città intelligenti" per promuovere il risparmio energetico a livello locale.

Gli obiettivi UE in materia energetica sono stati integrati nella "strategia Europa 2020 per una crescita intelligente, sostenibile e inclusiva", adottata dal Consiglio europeo nel giugno 2010.

In particolare, l'UE mira a raggiungere gli obiettivi in materia di energia e di cambiamenti climatici fissati per il 2020:

- ridurre le emissioni di gas a effetto serra del 20%;
- aumentare la quota di energie rinnovabili al 20%;
- migliorare l'efficienza energetica del 20%.

3.2. L'ARCHITETTURA BIOCLIMATICA I SISTEMI PER LA SOSTENIBILITA'

La progettazione sostenibile è un processo socio-culturale che interessa l'ambiente e l'edilizia.

Principio fondamentale su cui si fonda la progettazione sostenibile è l'integrazione fra i caratteri morfo-tipologici dell'edificio e gli aspetti costruttivo-ambientali in cui è inserito.

La progettazione bioclimatica promuove l'utilizzo delle risorse climatiche per ridurre il consumo di combustibili fossili e raggiungere le migliori condizioni di salute e benessere per l'utente, la bioedilizia è un aspetto della progettazione ecocompatibile dell'architettura.

3.2.1. Fattori determinanti per le scelte tipologiche-costruttive

3.2.1.1. Orientamento

Lo studio delle caratteristiche ambientali ed energetiche del sito dove si andrà a costruire è imprescindibile nella corretta edificazione di un edificio e costituiscono gli obiettivi principali per una progettazione insediativa climaticamente orientata e consentono di controllare l'esposizione solare estiva e ottimizzare quella invernale. L'individuazione delle destinazioni d'uso dei singoli ambienti che caratterizzano il complesso edilizio è utile per determinare le zone climatiche dell'edificio: sostanzialmente zone più calde e più fredde. I locali che si vogliono più caldi e maggiormente illuminati (zona residenza e spazi comuni) saranno orientati verso sud ed avranno grandi finestre. I locali che non hanno bisogno di grande apporto di calore (zone dei percorsi di distribuzione e vani tecnici) saranno posti sul lato settentrionale dell'edificio. Attraverso l'orientamento della casa in direzione est-ovest, il progetto cerca di favorire lo sfruttamento passivo dell'energia solare, utilizzando le radiazioni solari come fonte gratuita di energia e godere del benefico effetto dei raggi solari anche in termini di luminosità degli ambienti.

3.2.1.2. Sistema di guadagno diretto

Questo significa principalmente lasciar entrare la radiazione solare durante l'inverno ed escluderla durante l'estate. D'inverno, quando il sole è basso nel

cielo, i raggi penetrano nelle aperture della facciata sud e riscaldano naturalmente gli ambienti. Durante le ore di luce il calore viene accumulato nella massa termica del pavimento, del soffitto e dei muri. Il calore immagazzinato nella massa termica continuerà ad irradiare nello spazio interno anche dopo il tramonto.

Da ciò ne consegue che le parti vetrate dell'organismo edilizio saranno disposte prevalentemente a sud; le finestre a sud saranno protette con schermature alla sommità dei loggiati per impedire in estate l'ingresso di radiazioni solari nelle ore più calde (schermature con sistemi fotovoltaici); il lato nord, che costituisce un elemento di dispersione termica, sarà ben coibentato e con poche aperture.

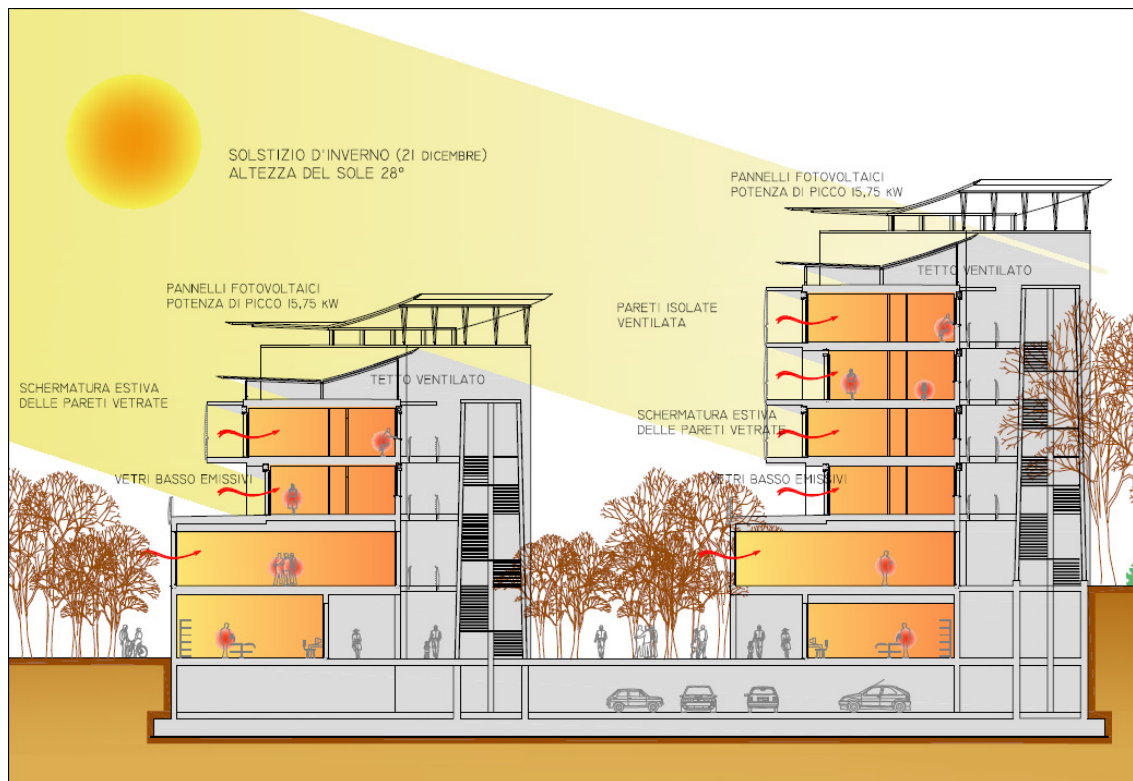


Figura 18 – Scheme design stagione invernale

3.2.1.3. Raffrescamento passivo

Negli ultimi anni i sistemi di climatizzazione estiva degli edifici hanno conosciuto una diffusione esponenziale con conseguenti aumenti del fabbisogno energetico dell'edificio. Le norme UNI TS 11300-3, pubblicate a gennaio 2009, hanno introdotto il calcolo del fabbisogno energetico per la climatizzazione estiva ai fini della certificazione energetica degli edifici.

I principi su cui si basa il controllo passivo del surriscaldamento dell'edificio in oggetto sono:

- protezione dell'edificio dall'eccessivo irraggiamento solare estivo con l'ausilio di schermature solari, pareti ventilate e aggetti;
- controllare lo sfasamento delle curva della temperatura dei componenti dell'involucro progettando correttamente l'inerzia termica delle pareti esposte all'irraggiamento;
- adottare sistemi naturali di raffrescamento per ventilazione che migliorano il bilancio termico dell'edificio aumentando gli scambi convettivi tra uomo ed ambiente con correnti d'aria generate da fenomeni naturali come l'azione del vento e l'effetto camino.

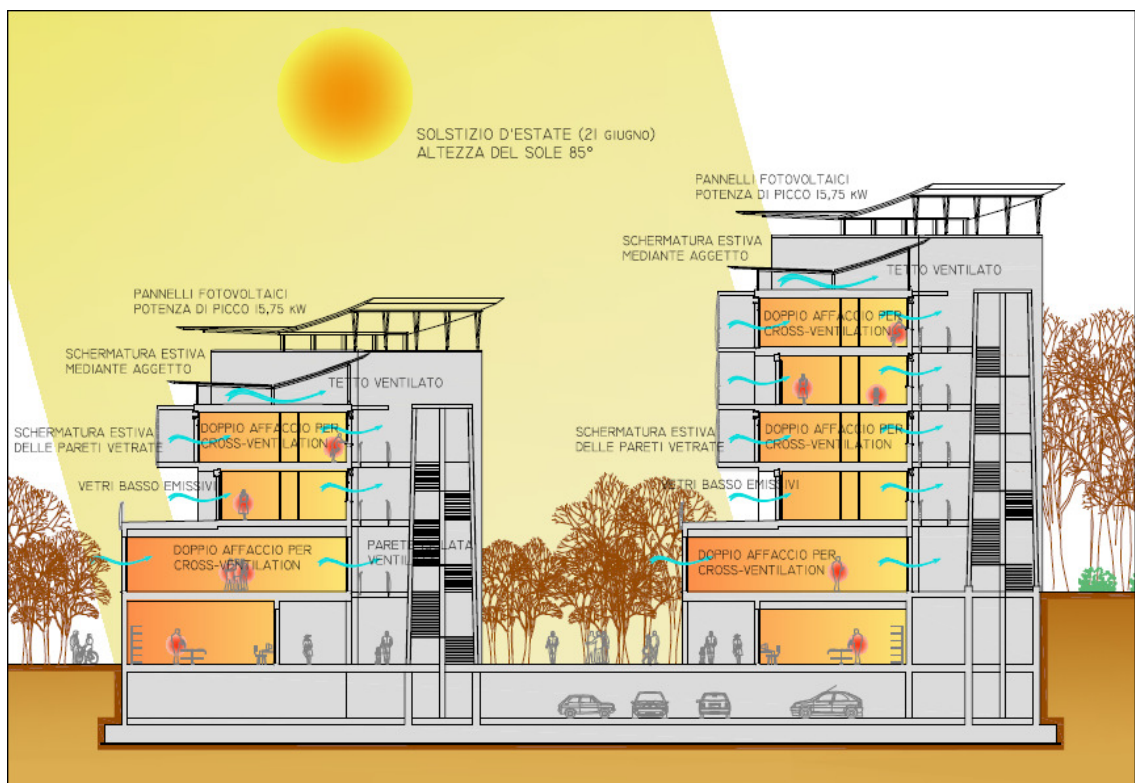


Figura 19 – Scheme design stagione estiva

3.2.1.4. Morfologia dell'involucro edilizio:

Per quanto riguarda la forma dell'involucro edilizio, essa sarà il risultato dell'integrazione di molteplici fattori legati sostanzialmente alle prestazioni richieste per la sua destinazione d'uso e fruibilità.

3.3. LA PROGETTAZIONE TECNOLOGICA

3.3.1. Le soluzioni tecnologiche

3.3.1.1. Le chiusure opache

Le chiusure opache non consentono il passaggio della luce e impediscono la visuale dall'interno verso l'esterno e viceversa; per tali caratteristiche vengono impiegate solitamente nell'ambito dell'edilizia residenziale.

Analizziamo il sistema della facciata ventilata, noto da tempo, relativamente all'introduzione di nuovi materiali utilizzabili per il rivestimento esterno.

Le facciate ventilate consentono di soddisfare l'esigenza di isolamento termico, di risparmio energetico, di leggerezza e di pregio architettonico. Esternamente una facciata ventilata viene percepita come una qualsiasi parete rivestita; la differenza consiste nel fatto che le lastre di rivestimento vengono montate a secco su una sottostruttura a sua volta ancorata alla parete perimetrale dell'edificio.

Tra la muratura e il rivestimento trovano posto uno strato di isolamento termico ed un canale di ventilazione. Durante il periodo estivo, all'interno del canale di ventilazione, si ingenera, per effetto camino, un movimento ascendente di aria calda. La presenza di fori di ventilazione in corrispondenza dell'attacco a terra del rivestimento ed in corrispondenza della chiusura di copertura dell'edificio, consente all'aria calda la fuoriuscita dai fori superiori mentre aria più fresca viene aspirata all'interno del canale dai fori inferiori.

3.3.1.2. Le chiusure trasparenti

Le chiusure trasparenti hanno la funzione di consentire il passaggio della luce. Questo comporta una dispersione di calore nel periodo invernale, mentre nel periodo estivo un incremento del carico termico. Per ovviare a questo problema esistono in edilizia diverse soluzioni tecnologiche che rendono buone prestazioni in termine di trasmittanza termica.

Analizziamo in questa sede 3 diverse tipologie di serramento che verranno trattati in seguito per le verifiche termoigrometriche:

- serramenti in PVC
- serramenti in legno
- serramenti in alluminio.

Il **PVC** (cloruro di polivinile) è un materiale termoplastico ottenuto da sale e petrolio. Il PVC, grazie alle sue caratteristiche, è un materiale riciclabile al 100%, poiché è possibile fonderlo ripetutamente senza perdita di quelle qualità che lo contraddistinguono e che lo rendono ideale nella realizzazione dei serramenti.

Porte, finestre, infissi e serramenti in PVC hanno una durata notevole che può superare i 60 anni. Per la longevità, resistenza, impermeabilità e per il suo costo contenuto, il PVC ha rimpiazzato nel tempo materiali tradizionali come legno e alluminio, più costosi e soprattutto più difficili da lavorare. Il PVC oggi rappresenta la soluzione ideale in un'ottica di risparmio energetico e rispetto dell'ambiente per le seguenti qualità: ha un eccellente isolamento termico: il PVC è per sua natura un materiale isolante.

Il **LEGNO** è un materiale leggero, ma molto resistente. Assicura prestazioni di altissimo livello, e la disponibilità di una vasta gamma di legname, ognuno con caratteristiche differenti, fa sì che si adatti alle più svariate esigenze abitative.

Un serramento di legno rappresenta energia e natura. Innanzitutto il legno è una materia prima riciclabile e rinnovabile. Il serramento di legno, al termine del suo utilizzo, si trasforma in materiale per costruzioni e imballaggi, oppure in una fonte energetica pulita. Perché il legno è una materia non inquinante, che fornisce una valida alternativa al combustibile fossile.

L'**ALLUMINIO** è un materiale leggero, con una durata notevole, grazie alla capacità di sviluppare una pellicola impenetrabile di ossido sulle superfici esposte, non è soggetto a problemi di corrosione atmosferica. Per questo è particolarmente adatto per applicazioni architettoniche e per la produzione di serramenti e facciate continue.

L'alluminio è facilmente lavorabile e può essere modellato, con tutte le comuni tecniche di lavorazione, più facilmente della maggior parte degli altri metalli. Può essere forgiato, laminato fino ad ottenere un foglio sottilissimo, estruso in profili complessi o piegato.

L'alluminio è facilmente riciclabile con un costo energetico contenuto.

CAPITOLO 4

4. PROGETTAZIONE TERMOIGROMETRICA

Le problematiche legate alla tutela ambientale e alla riduzione dei consumi obbliga al risparmio energetico. Nel settore dell'edilizia la più ragionevole forma di risparmio è resa possibile attraverso l'isolamento termico. Allo stato attuale, leggi e normative tecniche contengono molte prescrizioni vincolanti concernenti le misure da adottare per l'isolamento termico delle strutture: la risposta a queste esigenze può essere data solamente disponendo di sufficienti conoscenze sui materiali e sul loro comportamento termo igrometrico. Non bisogna infatti dimenticare che l'obiettivo finale di un intervento di coibentazione è e deve essere il raggiungimento di condizioni generali di confort termico e igrometrico, escludendo danni e patologie alle strutture. L'applicazione indiscriminata di criteri generali di isolamento, senza la considerazione di particolari condizioni di temperatura, ventilazione ed umidità, delle disuniformità quali quelle costituite dai ponti termici e dal comportamento fisico dei materiali, ha portato spesso al verificarsi dannosi "effetti collaterali". Tali danni possono essere evitati tramite una corretta e completa progettazione dell'isolamento.

4.1. REQUISITI E PRESTAZIONI DEL SISTEMA TECNOLOGICO: CONCETTI DI FISICA TECNICA AMBIENTALE

Ogni corpo solido è caratterizzato da un proprio contenuto di energia termica determinato dalla sua temperatura e dalla sua capacità di accumulare calore. Si ha un flusso di calore o trasporto di energia quando un corpo non si trova in una situazione di equilibrio energetico rispetto all'ambiente circostante cioè quando i corpi vicini presentano temperature diverse. Gli spostamenti di energia in relazione con il tempo avvengono dal corpo più caldo al corpo più caldo lungo la resistenza più piccola nello spazio tridimensionale.

La dipendenza dal tempo deriva dalla capacità dei materiali di accumulare energia termica e la tridimensionalità del flusso deriva dalla limitazione spaziale dei corpi. Il trasporto di calore può avvenire:

- per conduzione;
- per convezione;
- per irraggiamento.

Nella conduzione il calore si propaga senza il trasporto di materia: la propagazione del calore avviene attraverso la propagazione di vibrazioni nella materia e al moto degli elettroni liberi. La relazione matematica che descrive il fenomeno fisico in queste ipotesi è il postulato di Fourier:

$$\Phi = \frac{dQ}{d\tau} = -\lambda S \frac{dt}{dx}$$

Dove Φ è il flusso termico in Watt (o energia termica dQ che fluisce nell'intervallo di tempo $d\tau$) che attraverso un cilindro di area S e di spessore dx per effetto di una differenza di temperatura dt , λ è la conducibilità o conduttività termica, proprietà caratteristica del materiale.

Nella convezione invece si ha il trasporto contemporaneo di energia e di massa al contatto solido-fluido.

I processi di scambio termico sulle superfici si basano principalmente sul trasporto contemporaneo mediante convezione e irraggiamento, mentre all'interno della parete in assenza di intercapedini si ha principalmente un trasporto di calore per conduzione.

Il termine coibentazione esprime il concetto di isolamento termico.

È necessario mantenere all'interno degli ambienti civili e industriali determinate condizioni di benessere termico: ciò comporta la presenza di una barriera

(componente edilizia) che impedisce al calore, che coincide con un elevato livello energetico (ad esempio all'interno di edifici riscaldati), di raggiungere una compensazione con un livello energetico più basso (aria fredda all'esterno dell'edificio).

Riferito ai componenti esterni di un edificio in inverno, significa ottenere il più basso passaggio di calore dal lato interno dei componenti all'esterno. Se si vuole dotare un componente edilizio di elevate capacità coibentanti bisogna tenere in considerazione le leggi fisiche del passaggio di calore.

4.1.1. Conduttività termica λ e resistività $1/\lambda$

La conduttività termica di un materiale indica il flusso di calore per unità di area che, in condizioni stazionarie, passa attraverso uno strato unitario (1m) del materiale in presenza di una differenza di temperatura unitaria (1K) tra le due facce opposte e parallele della parete di materiale considerato. La conduttività dipende dalla porosità e dal contenuto igrometrico del materiale.

Un materiale compatto a bassa porosità e a struttura chiusa è sempre un buon conduttore termico. I valori numerici della conduttività saranno allora molto alti. Un materiale ad elevata porosità a celle aperte o chiuse conduce male il calore e si avranno quindi valori di conduttività molto bassi. Si ricava da ciò che materiali ad alto isolamento termico siano leggeri e costituiti in gran parte da celle o zone contenenti aria immobilizzata.

Nel settore dell'edilizia si può fare riferimento per l'isolamento termico ai valori di conduttività per materiali da costruzione contenuti nella norma UNI 10351.

La resistività dei materiali viene ricavata dall'inverso della conduttività. Il calcolo della resistenza termica unitaria interna di un materiale omogeneo di spessore s si effettua con la formula s/λ .

Nel caso di un componente multistrato, dove gli strati sono normali alla direzione del flusso di calore per il calcolo delle resistenze unitarie di ogni singolo strato calcolate per i relativi spessore e valori di conduttività. Il calcolo della resistenza termica totale interna si effettua con la formula:

$$\frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{s_n}{\lambda_n}$$

4.1.2. Resistenza termica (1/K) e trasmittanza (K)

Per il calcolo della resistenza di componenti multistrato bisogna tenere conto della trasmissione termica dei singoli strati (resistenza termica) e del passaggio di calore dalle superfici interne ed esterne del componente all'aria.

La resistenza termica si ottiene dalla somma della resistenza termica unitaria dei singoli strati e della resistenza liminare interna ed esterna. Il calcolo si effettua con la formula

$$R_t = \frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}$$

Generalmente per esprimere più chiaramente la trasmissione di calore si fa ricorso alla trasmittanza: questa è praticamente il reciproco della resistenza termica. Il calcolo si effettua con la formula:

$$k = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

come è evidente dall'equazione dimensionale il valore K fornisce una precisa indicazione sulla quantità di calore W che viene dispersa per mq della superficie dell'edificio con una differenza di temperatura di un grado Kelvin.

A valori bassi di K corrisponde quindi una minore dispersione di calore, una migliore coibentazione e un maggiore risparmio dei costi.

4.1.3. Capacità termica e inerzia termica

Una relazione fra calore e temperatura è data dal concetto di calore specifico. È definito come la quantità di energia termica necessaria a provocare l'innalzamento di una unità di temperatura nell'unità di massa della sostanza ed è misurata in J/kg°C o in J/m³°C se riferita all'unità di volume.

Detta ρ la densità di una sostanza kg/m³ si ha che la relazione fra i due calori specifici:

$$c_v = c_p \times \rho$$

La capacità termica C di un corpo è data dal prodotto della sua massa per il calore specifico, c_p, del materiale; rappresenta cioè il rapporto fra la quantità di calore trasmessa ad una sostanza e la variazione di temperatura subita dalla sostanza stessa, ed espressa in J/°C.

La capacità termica di una parete è data dal prodotto della sua massa per unità di superficie, ρ_s (pari alla densità dello strato per il suo spessore, ed è espressa in kg/mq per il suo calore specifico, c_p (J/kg °C):

$$C = c_p \times \rho_s$$

Per una parete esterna tale capacità è spesso confusa con l'inerzia termica, che invece rappresenta il ritardo con cui il componente risponde alle variazioni di temperatura.

4.1.4. Prevenzione della condensa e il fenomeno del vapore

4.1.4.1. Umidità relativa (φ)

L'aria è una miscela di azoto, ossigeno, anidride carbonica, idrogeno, gas nobili e vapore acqueo (fase aeriforme dell'acqua).

Come misura per la quantità del vapore acqueo presente nell'aria si usa il concetto di umidità relativa. Essa è data dal rapporto fra la pressione parziale del vapore presente nell'aria alla temperatura T e la pressione di saturazione alla stessa temperatura. Questa viene indicata in percentuale: il 100% indica che l'aria è completamente satura di vapore acqueo, mentre un'umidità relativa dello 0% definisce una condizione d'aria totalmente priva di vapore acqueo. I valori percentuali intermedi forniscono la quantità di vapore acqueo riferito alla saturazione a parità di temperatura dell'aria. La quantità di vapore acqueo, a parità di temperatura cresce in rapporto all'aumento dell'umidità relativa ovvero a parità di umidità relativa con l'aumento della temperatura.

(grafico quantità d'acqua nell'aria in rapporto all'umidità relativa)

4.1.4.2. Temperatura del punto di rugiada (θ_s)

Dal punto di vista fisico la temperatura del punto di rugiada è quella in corrispondenza della quale in una miscela gassosa di vapore il gas è saturo alla quantità presente di vapore. Al di sotto di questa temperatura limite subentra la condensa del vapore acqueo (passaggio dalla fase aeriforme a quella liquida) a seguito della sovraconsolidazione.

4.1.4.3. Pressione del vapore acqueo (p) e pressione di saturazione (p_s)

La pressione atmosferica totale è il risultato della somma delle pressioni dei singoli gas che compongono l'aria comprendendo anche la pressione del

vapore acqueo. Di norma la pressione atmosferica totale è uguale da entrambi i lati del componente edilizio. Diverso però è il comportamento dei singoli gas. Nel caso di un componente con differenti condizioni microclimatiche all'interno ed all'esterno, la pressione parziale avrà valori differenti. Queste differenti pressioni del vapore provocano uno sbalzo di pressione parziale ed innescano un flusso di diffusione del vapore acqueo.

Qui sotto sono state riportate le curve della pressione del vapore satura, determinata dalla temperatura e dalla pressione parziale, con un umidità relativa del 50% e del 100%.

$$P = \varphi \times P_s$$

4.1.4.4. Permeabilità al vapore dei materiali

La permeabilità al vapore δ , al pari della conduttività termica λ , è una caratteristica del materiale che esprime l'attitudine a trasmettere per diffusione il vapore d'acqua contenuto nell'aria atmosferica. Unità di misura utilizzata è kg/sec m Pa.

La resistività alla diffusione del vapore ($1/\delta$) è l'inverso della permeabilità al vapore. La resistività alla diffusione al vapore può essere espressa anche come rapporto (μ) fra la permeabilità al vapore dell'aria in quiete e la permeabilità al valore del materiale (δ).

4.1.4.5. Resistenza alla diffusione del vapore R_v (s/ δ)

La resistenza R_v dello strato al passaggio del flusso di vapore si può ottenere con due formule differenti, una in funzione della permeabilità δ del materiale e l'altra in funzione del coefficiente μ . Nel primo caso la resistenza alla diffusione di vapore è definita come rapporto tra lo spessore s e la permeabilità δ del materiale; nel secondo caso come prodotto del coefficiente di resistenza al passaggio del vapore μ del materiale per la resistività alla diffusione al vapore dell'aria e per lo spessore s . si riportano quindi le espressioni utilizzate per il calcolo della resistenza alla diffusione del vapore:

$$R_v = \frac{s}{\delta}$$

4.2. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

La prima e più efficace strategia di risparmio energetico nell'edificio è la limitazione delle dispersioni. Essa è facilmente ottenibile con l'isolamento termico.

Per questo negli edifici è opportuno intervenire coibentando tetti, solai, pareti, finestre e tubazioni. Successivamente è indispensabile ottimizzare il processo di combustione ed infine consentire al sole di fare la sua parte riscaldando naturalmente gli ambienti. Questi stessi concetti sono alla base delle normative per il risparmio energetico promulgate in tutti i Paesi e che tengono conto in ogni caso che il risparmio di energia deve essere ottenuto senza sacrificare il comfort abitativo.

La progettazione, la costruzione e l'esercizio degli edifici civili e industriali è regolata dal **Decreto Legislativo n. 192 del 19 agosto 2005** e **DPR 59/2009** che fissa i requisiti minimi nazionali e la metodologia di calcolo della prestazione energetica, nonché i criteri generali per l'edilizia pubblica.

4.3. **DECRETO LEGISLATIVO 19 AGOSTO 2005, N. 192**

Il Decreto Legislativo n. 192 del 19 agosto 2005, concernente attuazione della direttiva 2002/91/Ce sul rendimento energetico in edilizia, stabilisce i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili e la diversificazione energetica, contribuire a conseguire gli obiettivi nazionali di limitazione delle emissioni di gas a effetto serra posti dal protocollo di Kyoto, promuovere la competitività dei comparti più avanzati attraverso lo sviluppo tecnologico.

Disciplina in particolare:

- la metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche integrate degli edifici;
- l'applicazione di requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici;
- i criteri generali per la certificazione energetica degli edifici;
- le ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione;

- i criteri per garantire la qualificazione e l'indipendenza degli esperti incaricati della certificazione energetica e delle ispezioni degli impianti;
- la raccolta delle informazioni e delle esperienze, delle elaborazioni e degli studi necessari all'orientamento della politica energetica del settore;
- la promozione dell'uso razionale dell'energia anche attraverso l'informazione e la sensibilizzazione degli utenti finali, la formazione e l'aggiornamento degli operatori del settore.

4.4. CONTENUTI DEL DPR 59/2009 E I REQUISITI NAZIONALI

Il **DPR 59/2009** “Regolamento di attuazione dell’art. 4, comma 1, lett. a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192”, fissa i requisiti minimi nazionali e la metodologia di calcolo della prestazione energetica.

In primo luogo introduce tre nuove definizioni (art. 2) relative a grandezze termofisiche e a soluzioni tecnologiche, relative alla riduzione dei carichi termici estivi:

- i **sistemi filtranti**, per ridurre gli apporti solari diretti attraverso le schermature trasparenti
- la **trasmissione termica periodica YIE** (W/m^2K), parametro che valuta la capacità di una parete opaca di sfasare ed attenuare il flusso termico (calcolata secondo la UNI EN 13786, e già prevista nella maggior parte dei software di calcolo termotecnici) e definita come il rapporto tra il flusso termico che attraversa l’unità di superficie su un lato del componente e la sollecitazione termica che si ha sull’altro lato;
- la **copertura a verde**, altra soluzione tecnologica che, al pari del tetto ventilato, contribuisce a ridurre i carichi termici, oltre che altri vantaggi di carattere “ecologista” ed architettonico. All’art. 3 definisce, in maniera univoca, quali siano le metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici e impianti.

Per l’Italia si adottano le norme tecniche nazionali “definite nel contesto delle norme EN a supporto della direttiva 2002/91/CE, della serie UNI/TS 11300 e loro successive modificazioni. Di seguito si riportano le norme a oggi disponibili:

- **UNI/TS 11300 - 1 Prestazioni energetiche degli edifici** – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale
- **UNI/TS 11300 - 2 Prestazioni energetiche degli edifici** – Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.

4.5. I REQUISITI MINIMI

L'art. 4 definisce i **Criteri generali e requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici ed impianti**, riprende il transitorio dell'Allegato I del DLgs 192/2005 con alcune novità.

Per gli edifici di nuova costruzione e nei casi di ristrutturazione di edifici esistenti di cui all'art. 3 comma 2 lett. a) e b), ovvero con Superficie utile maggiore di 1000 m², ed ampliamenti maggiori del 20% del volume esistente; bisogna rispettare i seguenti requisiti minimi:

- il valore dell'indice EP_i per la climatizzazione invernale, deve essere minore dell'Allegato C del DLgs 192/2005 e smi (art. 4, comma 2);
- il valore dell'indice EP_{e, invol}, "prestazione energetica per il raffrescamento estivo dell'involucro edilizio" (art. 4, comma 3) dato dal rapporto tra il fabbisogno annuo di energia termica per il raffrescamento dell'edificio quale risultato della procedura di calcolo della UNITS 11300 parte 1, che deve essere minore di quanto previsto dalle lettere a) e b) dell'art. 4 comma 3:
 - a) per gli edifici residenziali di cui alla classe E1, esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme, ai seguenti valori:
 - 40 kWh/m² anno nelle zone climatiche A e B;
 - 30 kWh/m² anno nelle zone climatiche C, D, E, e F;
 - b) per tutti gli altri edifici ai seguenti valori:
 - 14 kWh/m³ anno nelle zone climatiche A e B;
 - 10 kWh/m³ anno nelle zone climatiche C, D, E, e F.
- viene mantenuta la procedura semplificata nel caso di edifici con rapporto tra superficie trasparente e superficie utile dell'edificio minore di 0,18 e quindi possibilità di omettere il calcolo del fabbisogno annuo di energia primaria se sono rispettate le condizioni di cui all'art. 4 comma 8 relative alle trasmittanze e prescrizioni impiantistiche.

Per gli interventi di ristrutturazione o manutenzione straordinaria di cui all'articolo 3 comma 2 lett. c) punto 1) del DLgs 192/2005 relativi all'involucro edilizio o ampliamento volumetrici minori del 20%, e che prevedono "a titolo esemplificativo e non esaustivo, rifacimento di pareti esterne, di intonaci esterni, del tetto o dell'impermeabilizzazione delle coperture" si applica:

- per le strutture opache verticali a ponte termico corretto il rispetto delle trasmittanze limite di cui all'Allegato C del DLgs 192/2005 (tabella 2.1), se il ponte termico non è corretto si fa riferimento alla trasmittanza media della parete, inclusi sottofinestre o aree limitate con riduzione di spessore (art.4 comma 4 lett. a)
- per le strutture opache orizzontali o inclinate a ponte termico corretto il rispetto delle trasmittanze limite di cui all'Allegato C del DLgs 192/2005 (tabelle 3.1 e 3.2), anche se verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento, se il ponte termico non è corretto si veda il punto precedente (non si applica per gli edifici della categoria E.8 attività industriali, artigianali, ecc.).
- per le chiusure apribili ed assimilabili, quali porte finestre o vetrine anche se non apribili, comprensive di infissi, devono rispettare trasmittanze limite di cui all'Allegato C del DLgs 192/2005 (tabelle 4.a e 4.b), escluso gli accessi pedonali automatizzati (art.4 comma 4 lett. c).

Per **nuove costruzioni, ristrutturazioni totali, parziali o manutenzione straordinaria**, resta confermato il limite della trasmittanza delle strutture di separazione tra edifici o unità immobiliari o di separazione tra ambienti dotati di impianto di riscaldamento e ambienti non riscaldati, che deve essere minore di $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$, sempre fatti salvi il rispetto del DPCM del dicembre 1997 sui requisiti acustici passivi degli edifici.

Allo stesso modo deve essere verificata l'assenza di condensazioni superficiali e interstiziali delle pareti opache con condizioni al contorno di umidità relativa interna pari al 65% e temperatura interna 20°C .

Al fine di limitare i fabbisogni energetici in regime estivo e la temperatura interna per gli interventi di cui sopra nuove costruzioni, ristrutturazioni totali con superficie maggiore o minore di 1000 m^2 (escluso ristrutturazione edifici E.5, E.6, E.7, E.8), sono introdotte (art. 4 comma 18) le seguenti prescrizioni tecniche:

- verifica puntuali dell'efficacia dei sistemi schermanti delle superfici vetrate, che possono essere interni o esterni (quindi anche tende esterne interne, veneziane, scruti, tapparelle, aggetti, brise soleil, frangisole, ecc..)
- per tutte le zone climatiche esclusa la F con irradianza media mensile sul piano orizzontale maggiore o uguale a $290 \text{ W/m}^2\text{anno}$, verifica che:
 - le pareti verticali poste a est, sudest, sud, sud-ovest, ovest abbiamo una massa superficiale M_s maggiore di 230 kg/m^2 , oppure che il valore della trasmittanza termica periodica YIE sia inferiore a $0,12 \text{ W/m}^2\text{°K}$
 - le chiusure opache orizzontali ed inclinate deve avere un valore della trasmittanza termica periodica YIE sia inferiori a $0,20 \text{ W/m}^2\text{°K}$.

Le modifiche rispetto al testo precedente riguardano (articolo 4 commi 6 e 7):

- le pompe di calore per le quali all'art. 4 comma 5 lettera b) si specifica che la verifica è fatta tenendo conto del fattore di conversione tra kWh energia elettrica e MJ fissati dall'Autorità per l'Energia Elettrica e per il Gas (nel precedente DLgs 192/2005 tale valore era fissato in $0,36 \text{ kWh-elettrici/MJ}$)
- la verifica dimensionale dell'impianto nel caso di aumento di potenza del generatore di calore l'equilibratura del sistema di distribuzione nel caso di impianti centralizzati. BIOMASSE E RINNOVABILI Ai commi 12 e 13 sono introdotte le caratteristiche degli impianti alimentati da fonte rinnovabili a biomasse combustibili, che devono rispettare i requisiti minimi fissati dal DPR 59/2009 in merito al rendimento utile nominale (Classe 3 UNI EN 303-5), alle biomasse ammissibili secondo il DLgs 152/2006 (Allegato X).

Il **DPR 59/2009** fissa gli obblighi in merito alla dotazione minima di fonti energetiche rinnovabili nel caso di edifici pubblici o privati.

In caso di nuova costruzione, nuovi impianti termici o ristrutturazione degli stessi (art. 4, comma 22), è obbligatorio l'utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di energia termica ed elettrica, in particolare copertura di almeno il 50% della produzione di acqua calda sanitaria da fonti energetiche rinnovabili.

4.6. IL METODO CEN

Il CEN (Comitato europeo per la normalizzazione) ha sviluppato un metodo di calcolo che è stato preso come base per la Norma UNI 10344 per il calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento degli edifici.

Il metodo si basa sul concetto di fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti di energia, cioè sul fatto che la radiazione solare entrante in un edificio ed il calore prodotto dalle fonti energetiche interne non vengono utilizzati per intero a detrazione delle dispersioni dovute alla differenza di temperatura tra interno ed esterno; si ha invece una efficienza di utilizzazione che dipende dalle caratteristiche geometriche e termiche e dal rapporto fra guadagni e perdite (Butera, 1995).

Il calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento di un edificio, nell'ipotesi di mantenere la temperatura interna rigorosamente costante 24 ore su 24, si esegue in sette passi:

1. L'edificio si divide in zone riscaldate, se occorre tenere queste zone a temperatura diversa, e in zone non riscaldate; se tutte le parti riscaldate dell'edificio si tengono alla stessa temperatura, l'edificio si divide in due sole zone: quella riscaldata e quella non riscaldata; la zona è una sola in assenza di aree non riscaldate;
2. Si calcolano le dispersioni tra ciascuna zona, l'esterno e il terreno, basandosi su una temperatura interna dell'aria costante 24 ore al giorno per tutti i giorni del periodo di riscaldamento;
3. Si calcolano i flussi termici per trasmissione e ventilazione fra le zone diverse;
4. Si calcolano i guadagni solari e quelli interni;
5. Si trova un fattore di utilizzazione dei guadagni, sulla base del rapporto guadagni/perdite e dell'inerzia termica della zona;
6. Si calcola il fabbisogno netto di energia di ciascuna zona, mese per mese, come differenza tra le perdite e i guadagni netti (quelli effettivamente utilizzati = guadagni lordi per fattori di utilizzazione);
7. Si calcola il fabbisogno totale annuo di energia dell'edificio, come somma di quello di tutte le zone, per tutti i mesi.

4.7. EDILCLIMA

Il programma consente di effettuare i calcoli di progetto con il massimo rigore scientifico, nel rispetto della normativa vigente. Il programma esegue:

- il calcolo della potenza invernale per il dimensionamento dell'impianto di riscaldamento;
- il calcolo dell'energia invernale per le verifiche di legge e per la diagnosi energetica;
- il calcolo dell'energia utile estiva dell'involucro edilizio;
- il calcolo della potenza estiva per il dimensionamento dell'impianto di climatizzazione estiva.

Il metodo di calcolo adottato dal programma è fornito dal **nuovo quadro normativo**, costituito dalle seguenti norme, già viste nei capitoli precedenti:

- **UNI/TS 11300-1** per il calcolo del fabbisogno di energia utile dell'edificio o della singola unità immobiliare;
- **UNI/TS 11300-2** per il calcolo dei rendimenti del sistema di riscaldamento e per la determinazione del consumo per la produzione di acqua calda sanitaria.

Queste sono le caratteristiche che consentono al programma di attuare la **SCELTA EUROPEA**, secondo la quale le norme di calcolo devono consentire:

- di giudicare la conformità di edifici ed impianti alle prescrizioni di leggi o regolamenti, espresse in termini di limiti al consumo energetico;
- di ottimizzare le prestazioni energetiche di un edificio in fase di progettazione, verificando diverse possibili soluzioni;
- di verificare gli effetti di possibili interventi di risparmio energetico sugli edifici esistenti, calcolando il consumo con e senza la misura di risparmio energetico ipotizzata.

Il programma calcola la trasmittanza delle strutture edili secondo UNI EN ISO 6946 ed effettua la verifica termoigrometrica secondo le procedure della norma UNI EN ISO 13788, verificando la possibile formazione di condensa superficiale ed interstiziale.

La verifica si svolge per ciascuno dei 12 mesi dell'anno, durante i quali si calcola se, quando e quanta condensa si accumula nella struttura e se questa è in grado di evaporare nel periodo più favorevole.

4.7.1. Caratteristiche termoigrometriche e dinamiche delle strutture

EDILCLIMA un volta definite le condizioni al contorno:

- le condizioni interne di umidità che dipendono dal tipo di utilizzo dei locali (classe di concentrazione del vapore da bassa ad alta).
- le condizioni esterne (temperatura ed umidità) che dipendono dalla località e tengono conto della variazione nei 12 mesi dell'anno,

calcola la trasmittanza delle strutture edili secondo UNI EN ISO 6946 ed effettua la verifica termo igrometrica secondo le procedure della norma UNI EN ISO 13788, verificando la possibile formazione di condensa superficiale ed interstiziale.

Il programma con gli stessi input è permette di determinare le **caratteristiche termiche in regime dinamico** secondo **UNI EN ISO 13786**, che descrivono il comportamento termico del componente quando soggetto a flusso termico variabile. Vengono quindi calcolati:

- **trasmittanza termica periodica YIE (W/m²K);**
- **fattore di attenuazione:** contributo della massa dell'elemento allo sfasamento dell'onda termica ed è calcolato come rapporto tra la trasmittanza termica periodica e la trasmittanza termica;
- **sfasamento dell'onda termica:** ritardo temporale dell'onda termica sulla superficie interna del componente, espresso in ore. Trattandosi di un ritardo dell'onda di flusso termico risulta sempre negativo.

La verifica si svolge per ciascuno dei 12 mesi, durante i quali si calcola se, quando e quanta condensa si accumula nella parete e se questa è in grado di evaporare nel periodo più favorevole.

Per la verifica, la quantità di condensa massima accumulata non deve superare un valore limite previsti dalla norma UNI EN ISO 13786 e deve evaporare completamente durante la stagione estiva.

I risultati della verifica termoigrometrica vengono presentati sia in forma grafica che tabellare:

- sezione della struttura
- grafici, con l'andamento mensile delle curve di temperatura, pressione di vapore e di saturazione degli strati costituenti la struttura (diagrammi di GLASER).

4.7.2. Potenza estiva

Con gli stessi dati introdotti per il calcolo invernale (dati climatici - caratteristiche termiche delle strutture e dei componenti finestrati - superfici disperdenti) si effettua **il calcolo del fabbisogno estivo di potenza**, secondo il metodo dei fattori di accumulo (Carrier - Pizzetti).

Il calcolo della potenza viene eseguito per tutte le ore del giorno, dalle 8 alle 18, per il mese più caldo, e per tutti i mesi da Gennaio a Dicembre.

Vengono calcolati i vari contributi: per latitudine, per radiazione solare, per trasmissione termica, per ricambio d'aria, per persone, i carichi elettrici e gli altri carichi interni.

Il programma permette di calcolare le portate e le potenze per il dimensionamento degli impianti ad **ARIA PRIMARIA e TUTT'ARIA**.

Con il termine "ARIA PRIMARIA" si intende un impianto di ventilazione atto a fornire l'aria di rinnovo richiesta nei locali; l'aria viene immessa in ambiente ad una temperatura ed umidità tali da sottrarre al carico termico totale del locale una parte del carico sensibile e del carico latente.

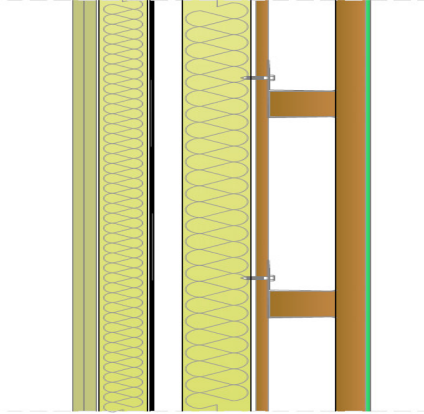
Inserendo le condizioni termoigrometriche dell'aria di mandata, il programma calcola:

- la portata dell'aria primaria;
- la potenza asportata dall'aria primaria e quindi il carico;
- residuo del locale che deve essere asportato dal ventilconvettore;
- le caratteristiche termiche della batteria di trattamento dell'aria.

4.8. CALCOLI E VERIFICHE TERMOIGROMETRICHE

4.8.1. Verifica delle strutture opache

Parete esterna ventilata



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	Polistirene espanso sint. per VARIPLUS	60	0,029	0,483	30	2,000	5,000	2,069
4	Aria non ventilata (fl.ascend.)	30	0,188	6,250	0	600,000	600,000	0,160
5	Polistirene espanso sint. per VARIPLUS	100	0,029	0,290	30	2,000	5,000	3,448
6	Barriera vapore in fogli di P.V.C.	6,5	0,160	24,615	1400	0,020	0,020	0,041
7	Pannelli di fibra di legno duri e extraduri	25	0,140	5,600	800	2,703	2,703	0,179
8	Aria debolmente ventilata (fl.ascend.)	100	1,250	12,500	0	-	-	0,080
9	Lamiera di rame	5	380,0	76000	8900	-	-	0,000

Spessore totale	352	mm
Massa superficiale	101	kg/m ²
Conduttanza unitaria superficiale interna	7,692	W/m ² K
Conduttanza unitaria superficiale esterna	23,238	W/m ² K
Resistenza unitaria superficiale interna	0,130	m ² K/W
Resistenza unitaria superficiale esterna	0,043	m ² K/W
TRASMITTANZA PERIODICA	0,114	W/m²K
TRASMITTANZA TOTALE	0,160	W/m²K
RESISTENZA TERMICA TOTALE	6,250	m²K/W

VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1285	11,1	888
Estiva (luglio)	25,5	1794	25,5	1771

- 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 **155** [Pa].
- 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 **916** [Pa].

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **4,0 °C**

T e UR esterne verifica termoigrometrica: **T e UR variabili, medie mensili.**

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

Classe concentrazione del vapore: Umidità relativa interna costante: **50,0% + 5%**

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **2,406** 10^{-12} kg/sm² Pa

Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,040** m²K/W

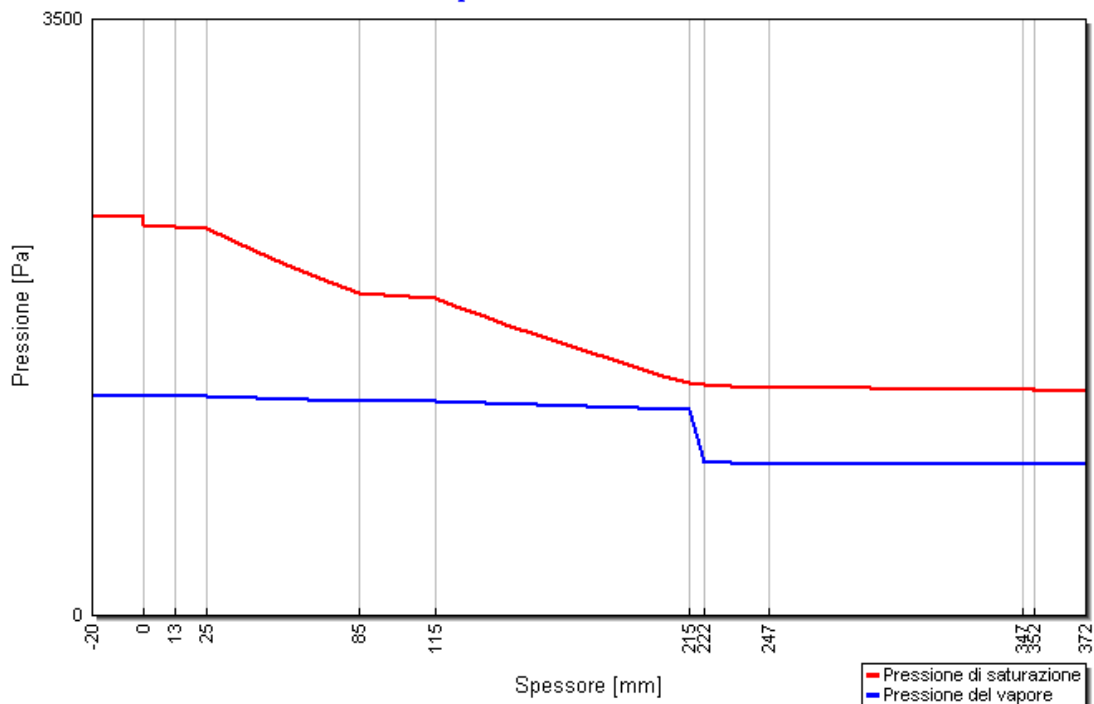
Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva per UR_{sup. amm} 80,0%**

Mese critico **Gennaio** f_{Rsi}^{max} **0,335** ≤ f_{Rsi} **0,961**

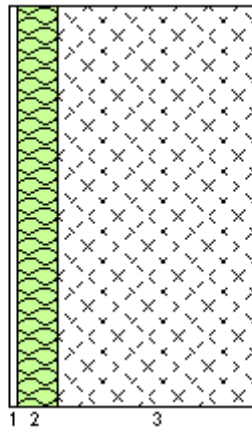
Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**

Verifica termoigrometrica: **Nessuna condensazione**

Grafico delle pressioni del mese di GENNAIO



Parete controterra



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	Intonaco di gesso	10	0,570	57,000	1300	20,000	33,333	0,018
2	Polistirene espanso sint. in lastre (UNI 7819)	50	0,040	0,800	25	3,333	3,333	1,250
3	C.I.s. di sabbia e ghiaia pareti esterne	250	2,150	8,600	2400	2,000	3,333	0,116

Spessore totale	310	mm
Massa superficiale	614	kg/m ²
Conduttanza unitaria superficiale interna	7,692	W/m ² K
Conduttanza unitaria superficiale esterna	23,238	W/m ² K
Resistenza unitaria superficiale interna	0,130	m ² K/W
Resistenza unitaria superficiale esterna	0,043	m ² K/W
TRASMITTANZA PERIODICA	0,190	W/m²K
TRASMITTANZA TOTALE	0,642	W/m²K
RESISTENZA TERMICA TOTALE	1.558	m²K/W

VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	818	18	2063
Estiva (luglio)	25,5	1794	18	2063

- 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 non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale.
- La differenza minima di pressione tra quella di saturazione e quella reale è pari a **1341** [Pa].

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: 20,0 °C

Temperatura esterna per calcolo potenza: 4,0 °C

T e UR esterne verifica termoigrometrica: T e UR variabili, medie mensili.

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

Classe concentrazione del vapore: Umidità relativa interna costante: 30,0% + 5%

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: 7,117 10^{-12} kg/sm² Pa

Resistenza superficiale interna/esterna: 0,250 / 0,040 m²K/W

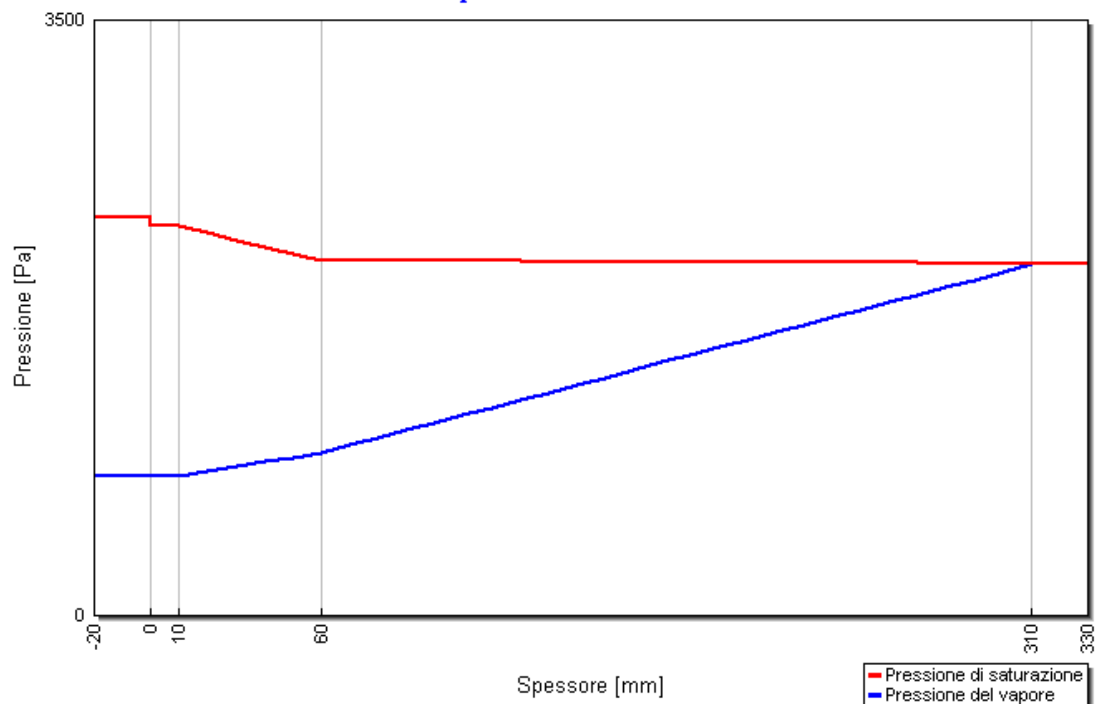
Verifica criticità di condensa superficiale: Positiva per UR_{sup. amm} 80,0%

Mese critico Gennaio $f_{Rsi}^{max} 0,0 \leq f_{Rsi} 0,851$

Verifica del rischio di condensa interstiziale: Positiva

Verifica termoigrometrica: Nessuna condensazione

Grafico delle pressioni del mese di GENNAIO



Parete divisoria interna



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	Poliuretano espanso in continuo in lastre	50	0,032	0,640	30	1,429	1,429	1,562
4	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050
5	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050

Spessore totale	100	mm
Massa superficiale	47	kg/m ²
Conduttanza unitaria superficiale interna	7,692	W/m ² K
Conduttanza unitaria superficiale esterna	7,692	W/m ² K
Resistenza unitaria superficiale interna	0,130	m ² K/W
Resistenza unitaria superficiale esterna	0,130	m ² K/W
TRASMITTANZA PERIODICA	0,464	W/m²K
TRASMITTANZA TOTALE	0,494	W/m²K
RESISTENZA TERMICA TOTALE	2,024	m²K/W

VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1285	11,1	888
Estiva (luglio)	25,5	1794	25,5	1771

- 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 **522** [Pa].
- 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 **893** [Pa].

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **4,0 °C**

T e UR esterne verifica termoigrometrica: **T e UR variabili, medie mensili.**

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

Classe concentrazione del vapore: Umidità relativa interna costante: **50,0% + 5%**

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **26,667** 10^{-12} kg/sm² Pa

Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,250** m²/K/W

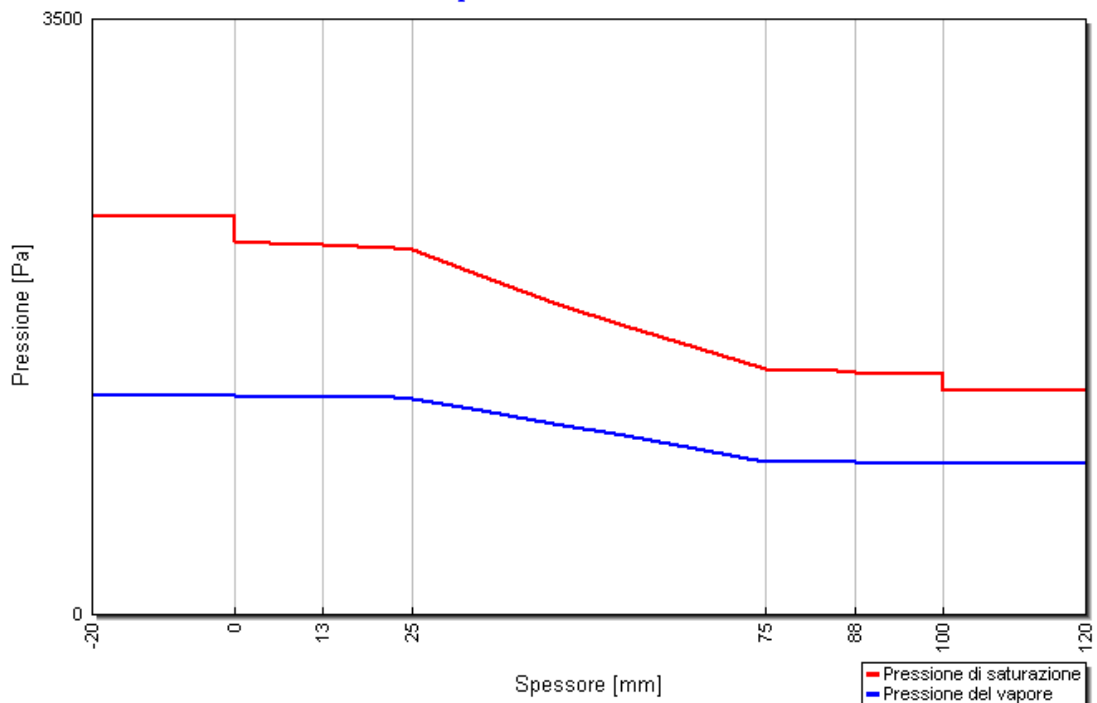
Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva per UR_{sup. amm} 80,0%**

Mese critico **Gennaio** f_{Rsi}^{max} **0,335** ≤ f_{Rsi} **0,890**

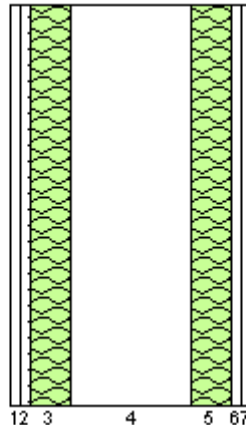
Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**

Verifica termoigrometrica: **Nessuna condensazione**

Grafico delle pressioni del mese di GENNAIO



Parete divisoria tra due unità abitative



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	Polistirene espanso sint. in lastre (UNI 7819)	50	0,040	0,800	30	2,667	2,667	1,250
4	Aria non ventilata (fl.ascend.)	150	0,938	6,250	0	3000,000	3000,000	0,160
5	Polistirene espanso sint. in lastre (UNI 7819)	50	0,040	0,800	30	2,667	2,667	1,250
6	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050
7	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050

Spessore totale	300	mm
Massa superficiale	48	kg/m ²
Conduttanza unitaria superficiale interna	7,692	W/m ² K
Conduttanza unitaria superficiale esterna	7,692	W/m ² K
Resistenza unitaria superficiale interna	0,130	m ² K/W
Resistenza unitaria superficiale esterna	0,130	m ² K/W
TRASMITTANZA PERIODICA	0,297	W/m²K
TRASMITTANZA TOTALE	0,321	W/m²K
RESISTENZA TERMICA TOTALE	3,115	m²K/W

VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1285	11,1	888
Estiva (luglio)	25,5	1794	25,5	1771

- 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 **492** [Pa].
- 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 **904** [Pa].

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **4,0 °C**

T e UR esterne verifica termoigrometrica: **T e UR variabili, medie mensili.**

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

Classe concentrazione del vapore: Umidità relativa interna costante: **50,0% + 5%**

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **24,969** 10^{-12} kg/sm² Pa

Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,250** m²K/W

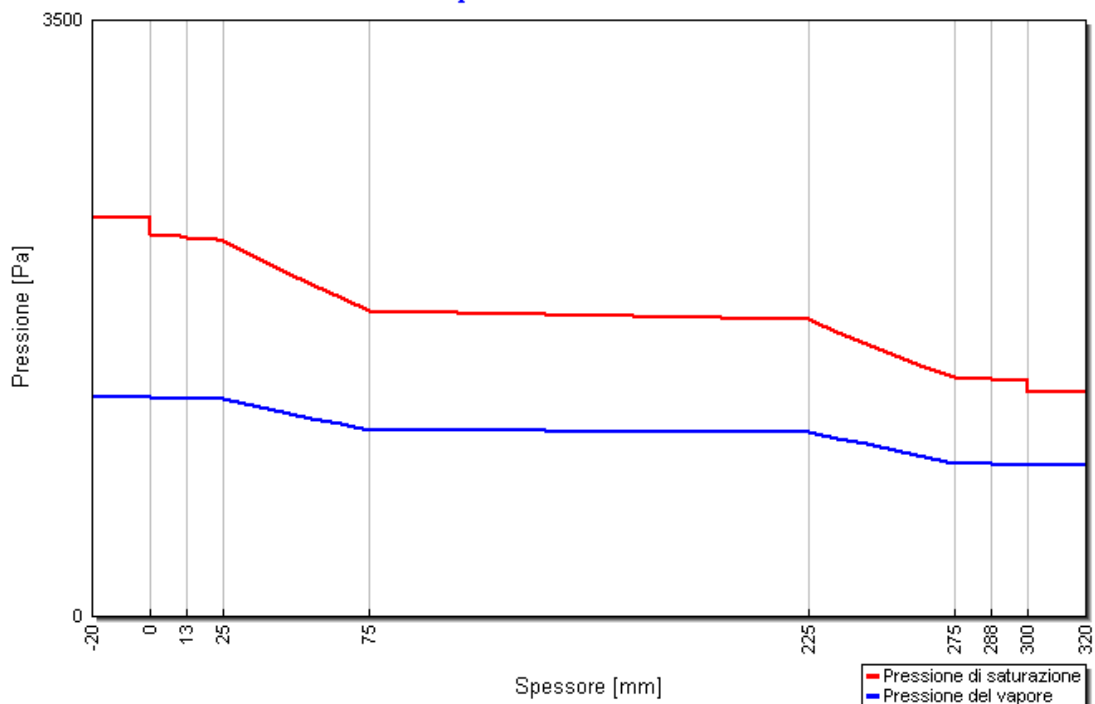
Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva** per UR_{sup. amm} **80,0%**

Mese critico **Gennaio** f_{Rsi}^{max} **0,335** ≤ f_{Rsi} **0,926**

Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**

Verifica termoigrometrica: **Nessuna condensazione**

Grafico delle pressioni del mese di GENNAIO



Portoncino d'ingresso



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 abete flusso perpend. alle fibre	10	0,120	12,000	450	0,311	0,935	0,083
2	Barriera vapore foglio di alluminio (> .08 mm)	2	220,0	110000	2700	0,000	0,000	0,000
3	Aria non ventilata (fl.orizz.)	15	0,088	5,882	0	300,000	300,000	0,170
4	Barriera vapore foglio di alluminio (> .08 mm)	2	220,0	110000	2700	0,000	0,000	0,000
5	Poliuretano espanso in fabbrica fra lamiere sigillate	70	0,024	0,343	30	1,429	1,429	2,917
6	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	10	0,120	12,000	450	0,311	0,935	0,083

Spessore totale	109	mm
Massa superficiale	22	kg/m ²
Conduttanza unitaria superficiale interna	7,692	W/m ² K
Conduttanza unitaria superficiale esterna	23,238	W/m ² K
Resistenza unitaria superficiale interna	0,130	m ² K/W
Resistenza unitaria superficiale esterna	0,043	m ² K/W
TRASMITTANZA PERIODICA	0,277	W/m²K
TRASMITTANZA TOTALE	0,292	W/m²K
RESISTENZA TERMICA TOTALE	3,425	m²K/W

VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1285	11,1	888
Estiva (luglio)	25,5	1794	25,5	1771

- 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 **442** [Pa].
- 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 **916** [Pa].

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **4,0 °C**

T e UR esterne verifica termoigrometrica: **T e UR variabili, medie mensili.**

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

Classe concentrazione del vapore: Umidità relativa interna costante: **50,0% + 5%**

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **0,025** 10^{-12} kg/sm² Pa

Resistenza superficiale interna/esterna: **0,130 / 0,040** m²K/W

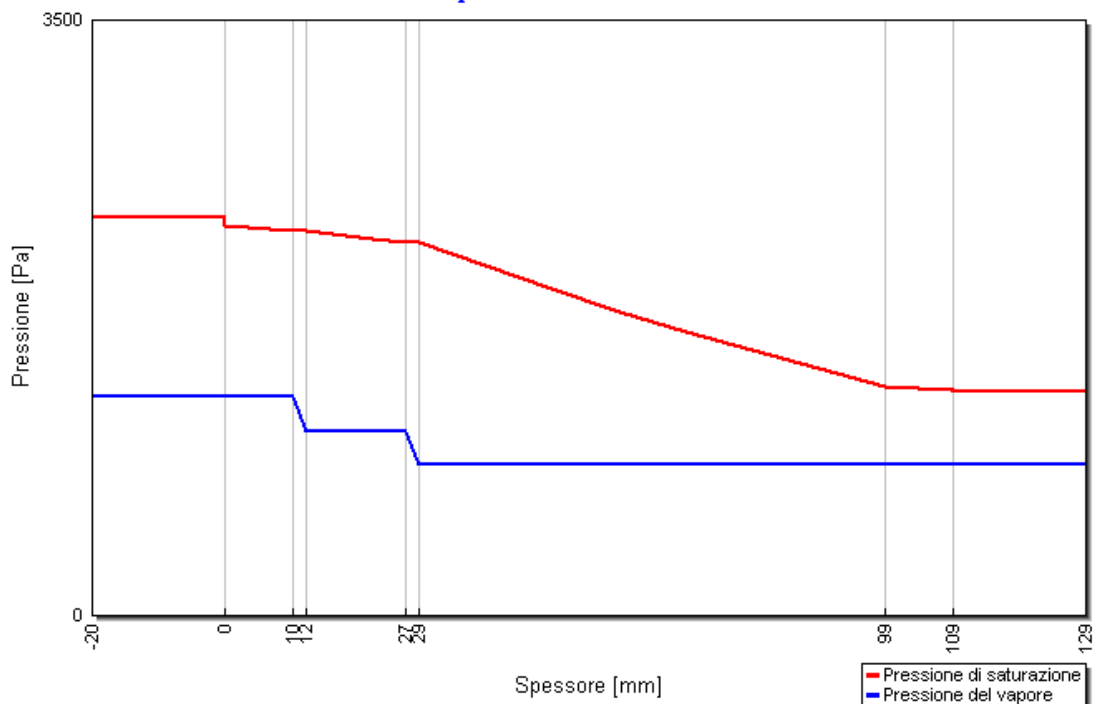
Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva** per UR_{sup. amm} **80,0%**

Mese critico **Gennaio** f_{Rsi}^{max} **0,335** ≤ f_{Rsi} **0,962**

Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**

Verifica termoigrometrica: **Nessuna condensazione**

Grafico delle pressioni del mese di GENNAIO



Porta interna



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 abete flusso perpend. alle fibre	10	0,120	12,000	450	0,311	0,935	0,083
2	Aria non ventilata (fl.orizz.)	25	0,139	5,556	0	500,000	500,000	0,180
3	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	10	0,120	12,000	450	0,311	0,935	0,083

Spessore totale	45	mm
Massa superficiale	9	kg/m ²
Conduttanza unitaria superficiale interna	7,692	W/m ² K
Conduttanza unitaria superficiale esterna	7,692	W/m ² K
Resistenza unitaria superficiale interna	0,130	m ² K/W
Resistenza unitaria superficiale esterna	0,130	m ² K/W
TRASMITTANZA PERIODICA	1,630	W/m²K
TRASMITTANZA TOTALE	1,648	W/m²K
RESISTENZA TERMICA TOTALE	0,607	m²K/W

VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1285	11,1	888
Estiva (luglio)	25,5	1794	25,5	1771

- 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 **575** [Pa].
- 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 **697** [Pa].

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **4,0 °C**

T e UR esterne verifica termoigrometrica: **T e UR variabili, medie mensili.**

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

Classe concentrazione del vapore: Umidità relativa interna costante: **50,0% + 5%**

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **15,540** 10^{-12} kg/sm² Pa

Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,250** m²K/W

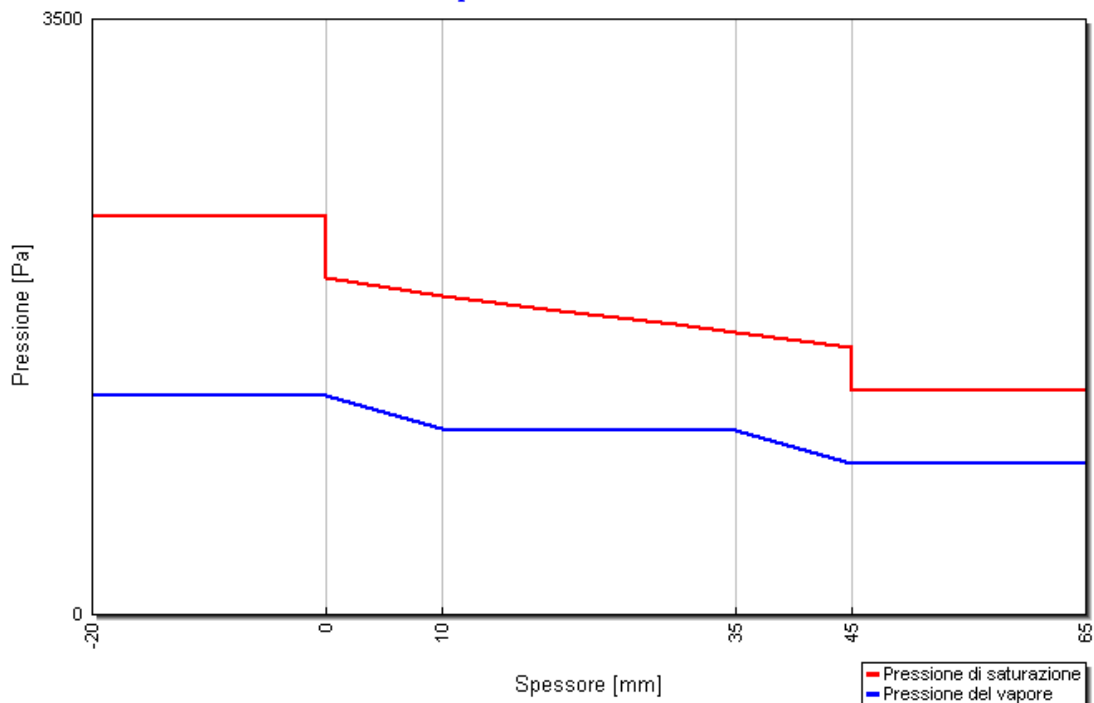
Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva per UR_{sup. amm} 80,0%**

Mese critico **Gennaio** $f_{Rsi}^{max} 0,335 \leq f_{Rsi} 0,705$

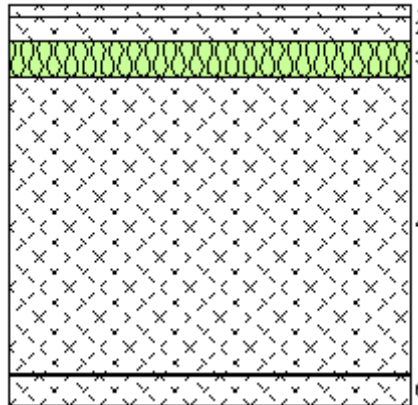
Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**

Verifica termoigrometrica: **Nessuna condensazione**

Grafico delle pressioni del mese di GENNAIO



Tipo Pavimento controterra



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	C.I.s. di vermiculite par. scant. (um. 12-14%)	20	0,150	7,500	250	66,667	66,667	0,133
2	Sottofondo di cemento magro	40	0,900	22,500	1800	6,667	6,667	0,044
3	Polistirene espanso, estruso senza pelle	60	0,034	0,567	50	1,000	1,000	1,765
4	C.I.s. di sabbia e ghiaia pareti interne (um. 2-5%)	500	1,910	3,820	2400	2,000	3,333	0,262
5	Impermeabilizzazione con bitume	5	0,170	34,000	1200	0,004	0,004	0,029
6	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	50	1,490	29,800	2200	2,857	2,857	0,034

Spessore totale	675	mm
Massa superficiale	1396	kg/m ²
Conduttanza unitaria superficiale interna	5,882	W/m ² K
Conduttanza unitaria superficiale esterna	23,238	W/m ² K
Resistenza unitaria superficiale interna	0,170	m ² K/W
Resistenza unitaria superficiale esterna	0,043	m ² K/W
TRASMITTANZA PERIODICA	0,008	W/m²K
TRASMITTANZA TOTALE	0,403	W/m²K
RESISTENZA TERMICA TOTALE	2,481	m²K/W

VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	818	13	1497
Estiva (luglio)	25,5	1142	13	1497

- 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 **8** [Pa].
- 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 **1278** [Pa].

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **4,0 °C**

T e UR esterne verifica termoigrometrica: **T fissa, media annuale 13,00 °C**
UR fissa pari a 100,00 %.

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

Classe concentrazione del vapore: Umidità relativa interna costante: **30,0% + 5%**

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **0,631 10^{-12} kg/sm² Pa**

Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,040 m²K/W**

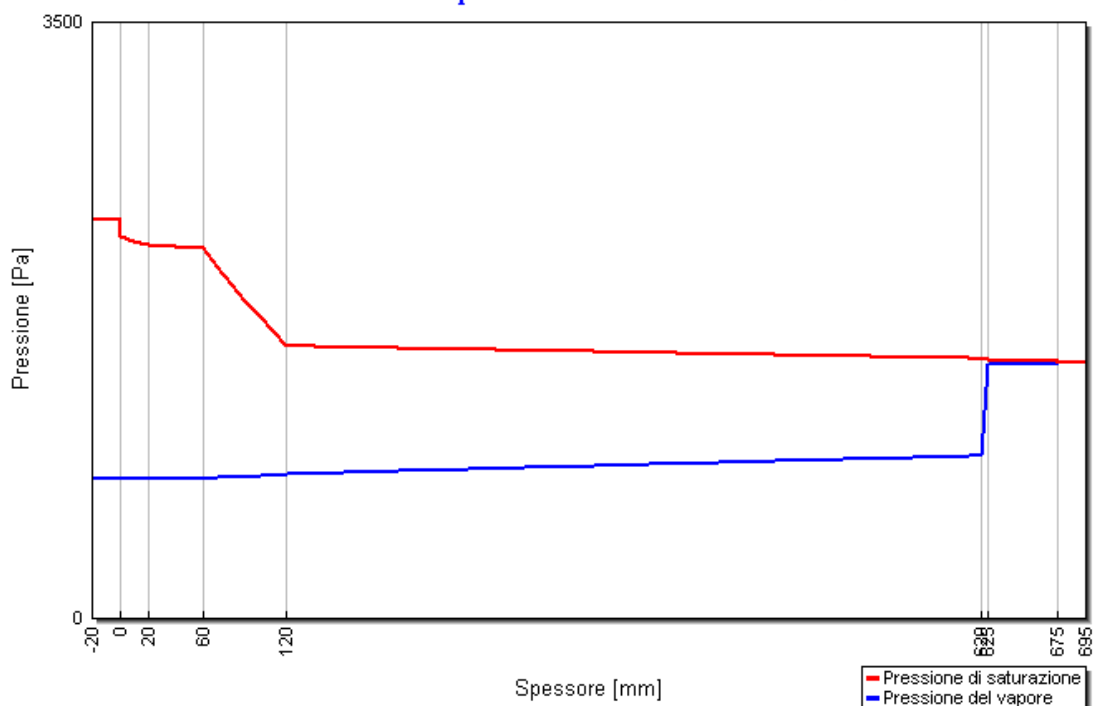
Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva per UR_{sup. amm} 80,0%**

Mese critico **Gennaio $f_{Rsi}^{max} 0,0 \leq f_{Rsi} 0,902$**

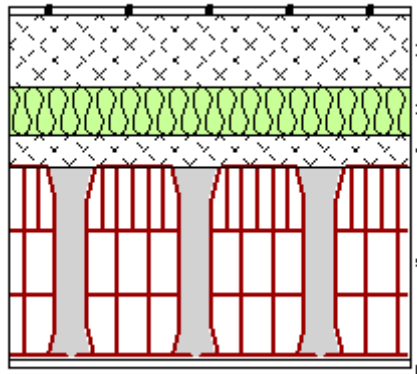
Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**

Verifica termoigrometrica: **Nessuna condensazione**

Grafico delle pressioni del mese di GENNAIO



Pavimento su cantina



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	Piastrelle in ceramica	10	1,000	100	2300	1,000	1,000	0,010
2	Sottofondo di cemento magro	90	0,900	10,000	1800	6,667	6,667	0,100
3	Polistirene espanso sint. in lastre (UNI 7819)	60	0,041	0,683	20	4,444	4,444	1,463
4	C.I.s. di sabbia e ghiaia pareti interne (um. 2-5%)	40	1,910	47,750	2400	2,000	3,333	0,021
5	Pavimento tipo predalles	240	0,800	3,333	1479	22,222	22,222	0,300
6	Intonaco plastico	10	0,400	40,000	1400	1,333	1,333	0,025

Spessore totale	450	mm
Massa superficiale	651	kg/m ²
Conduttanza unitaria superficiale interna	5,882	W/m ² K
Conduttanza unitaria superficiale esterna	5,882	W/m ² K
Resistenza unitaria superficiale interna	0,170	m ² K/W
Resistenza unitaria superficiale esterna	0,170	m ² K/W
TRASMITTANZA PERIODICA	0,019	W/m²K
TRASMITTANZA TOTALE	0,443	W/m²K
RESISTENZA TERMICA TOTALE	2,257	m²K/W

VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1052	11,1	888
Estiva (luglio)	25,5	1468	25,5	1771

- 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 **513 [Pa]**.

- 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 **1116** [Pa].

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **4,0 °C**

T e UR esterne verifica termoigrometrica: **T e UR variabili, medie mensili.**

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

Classe concentrazione del vapore: Umidità relativa interna costante: **40,0% + 5%**

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **13,280** 10^{-12} kg/sm² Pa

Resistenza superficiale interna/esterna: **0,130 / 0,250** m²K/W

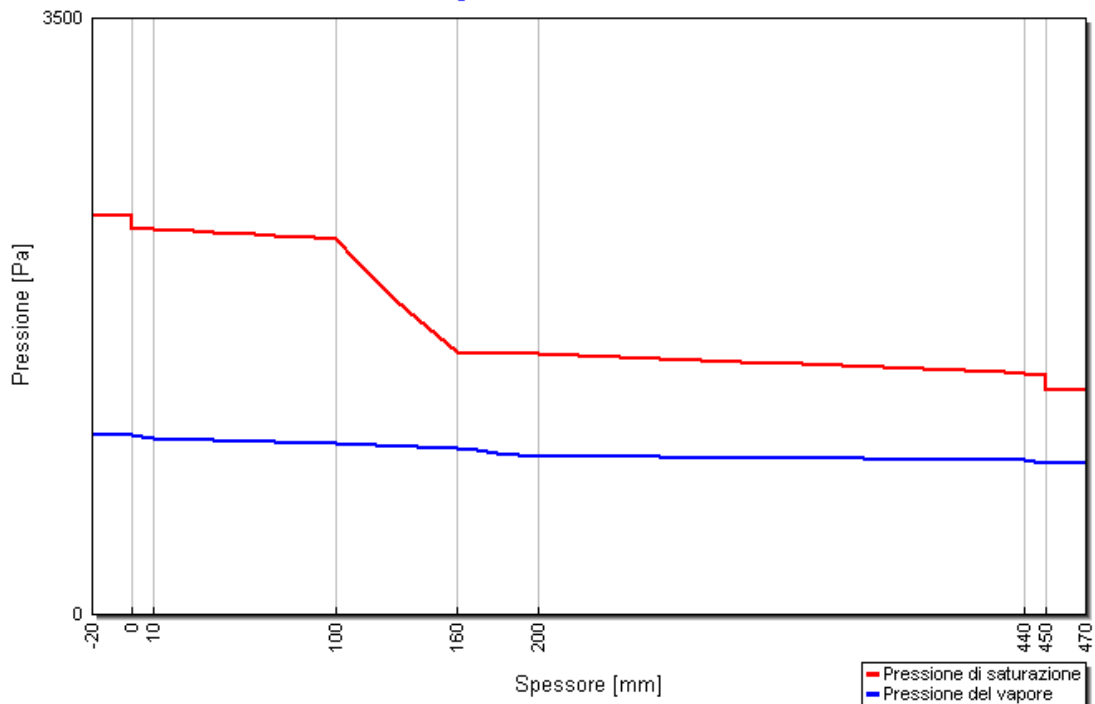
Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva per UR_{sup. amm} 80,0%**

Mese critico **Gennaio** f_{Rsi}^{max} **0,0** ≤ f_{Rsi} **0,943**

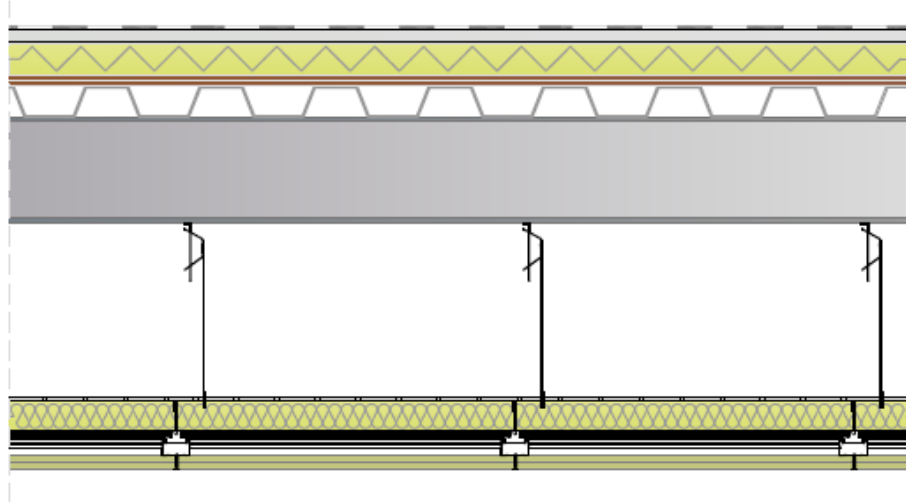
Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**

Verifica termoigrometrica: **Nessuna condensazione**

Grafico delle pressioni del mese di GENNAIO



Soletta interpiano



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	Piastrelle in ceramica	7	1,000	143	2300	1,000	1,000	0,007
2	Doppia pavilastra Knauf	20	0,900	45,000	1800	6,667	6,667	0,022
3	Strato isolante di feltro	4	0,050	12,500	120	10,000	13,333	0,080
4	Pannello naturale in fibra di legno	50	0,040	0,800	150	40,000	40,000	1,250
6	Pannelli di trucioli di legno pressati	10	0,100	10,000	500	1,869	3,922	0,100
7	Lamiera di acciaio	0,6	52,00	86667	7800	0,000	0,000	0,000
8	Aria non ventilata (fl.orizz.)	270	1,500	5,556	0	5400,000	5400,000	0,180
9	Strato isolante di lana	40	0,060	1,500	200	10,000	13,333	0,667
10	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050
11	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050

Spessore totale	443	mm
Massa superficiale	118	kg/m ²
Conduttanza unitaria superficiale interna	5,882	W/m ² K
Conduttanza unitaria superficiale esterna	5,882	W/m ² K
Resistenza unitaria superficiale interna	0,170	m ² K/W
Resistenza unitaria superficiale esterna	0,170	m ² K/W
TRASMITTANZA PERIODICA	0,132	W/m²K
TRASMITTANZA TOTALE	0,364	W/m²K
RESISTENZA TERMICA TOTALE	2,747	m²K/W

VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1285	11,1	888
Estiva (luglio)	25,5	1794	25,5	1771

- 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 **427** [Pa].
- 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 **901** [Pa].

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **4,0 °C**

T e UR esterne verifica termoigrometrica: **T e UR variabili, medie mensili.**

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

Classe concentrazione del vapore: Umidità relativa interna costante: **50,0% + 5%**

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **0,016** 10^{-12} kg/sm² Pa

Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,250** m²K/W

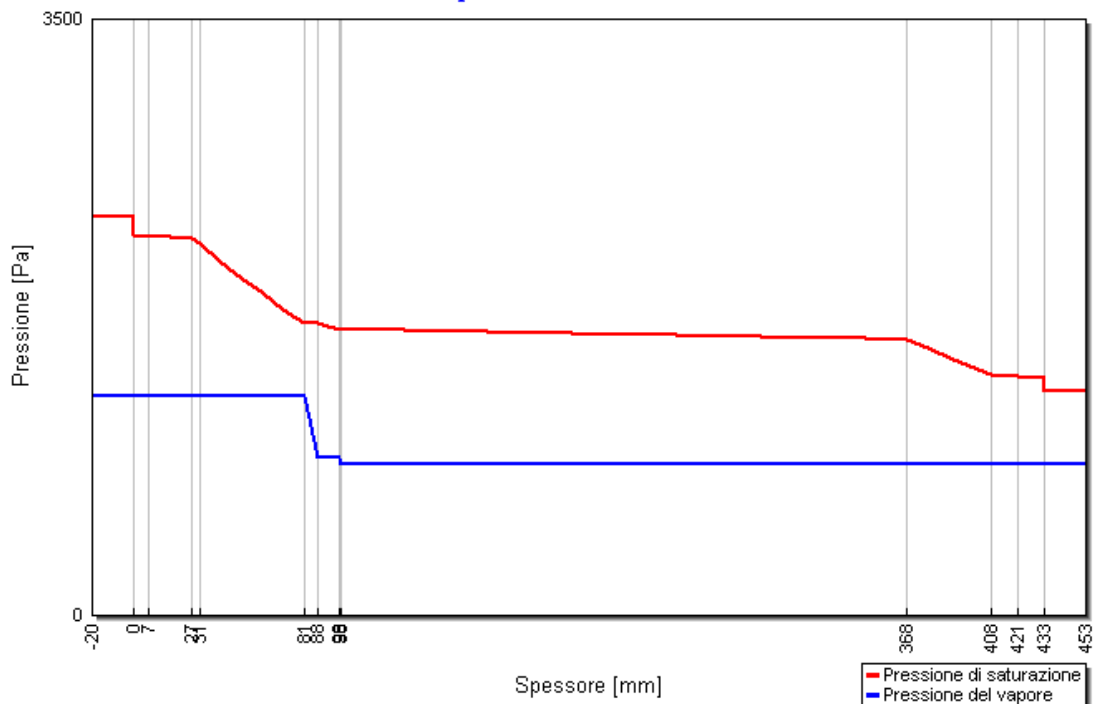
Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva per UR_{sup. amm} 80,0%**

Mese critico **Gennaio** f_{Rsi}^{max} **0,335** ≤ f_{Rsi} **0,914**

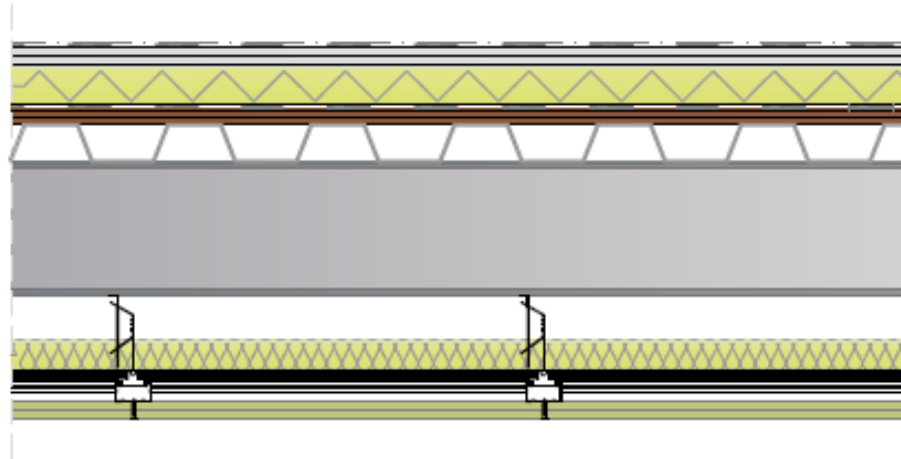
Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**

Verifica termoigrometrica: **Nessuna condensazione**

Grafico delle pressioni del mese di GENNAIO



Soletta di copertura



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	Impermeab. in cartone bitumato da tetto	10	0,230	23,000	1200	0,004	0,004	0,043
2	Doppia pavilastra Knauf	25	0,900	36,000	1800	6,667	6,667	0,028
3	Strato isolante di feltro	3	0,050	16,667	120	10,000	13,333	0,060
4	Pannello naturale in fibra di legno per BIO	60	0,040	0,667	150	40,000	40,000	1,500
5	Barriera vapore in fogli di P.V.C.	3	0,160	53,333	1400	0,020	0,020	0,019
6	Pannelli di trucioli di legno pressati	2	0,100	50,000	500	1,869	3,922	0,020
7	Lamiera di acciaio	0,6	52,00	86667	7800	0,000	0,000	0,000
8	Aria non ventilata (fl.orizz.)	270	1,500	5,556	0	5400,000	5400,000	0,180
9	Strato isolante di lana	60	0,060	1,000	200	10,000	13,333	1,000
10	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050
11	Cartongesso in lastre	12,5	0,250	20,000	900	20,000	50,000	0,050

Spessore totale	459	mm
Massa superficiale	111	kg/m ²
Conduttanza unitaria superficiale interna	10	W/m ² K
Conduttanza unitaria superficiale esterna	23,238	W/m ² K
Resistenza unitaria superficiale interna	0,1	m ² K/W
Resistenza unitaria superficiale esterna	0,043	m ² K/W
TRASMITTANZA PERIODICA	0,172	W/m²K
TRASMITTANZA TOTALE	0,323	W/m²K
RESISTENZA TERMICA TOTALE	3,096	m²K/W

VERIFICA TERMOIGROMETRICA

Condizioni al contorno

CONDIZIONE	Ti [°C]	Pi [Pa]	Te [°C]	Pe [Pa]
Invernale (gennaio)	20,0	1519	11,1	888
Estiva (luglio)	25,5	2120	25,5	1771

- 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 **271** [Pa].
- 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 **697** [Pa].

DATI TERMOIGROMETRICI secondo UNI EN ISO 13788:

Temperatura interna periodo di riscaldamento: **20,0 °C**

Temperatura esterna per calcolo potenza: **4,0 °C**

T e UR esterne verifica termoigrometrica: **T e UR variabili, medie mensili.**

Criterio per l'aumento dell'umidità interna:

Classe concentrazione del vapore: Umidità relativa interna costante: **50,0% + 5%**

RISULTATI DELLA VERIFICA TERMOIGROMETRICA secondo UNI EN ISO 13788:

Permeanza: **0,115** 10^{-12} kg/sm² Pa

Resistenza superficiale interna/esterna: **0,250 / 0,040** m²K/W

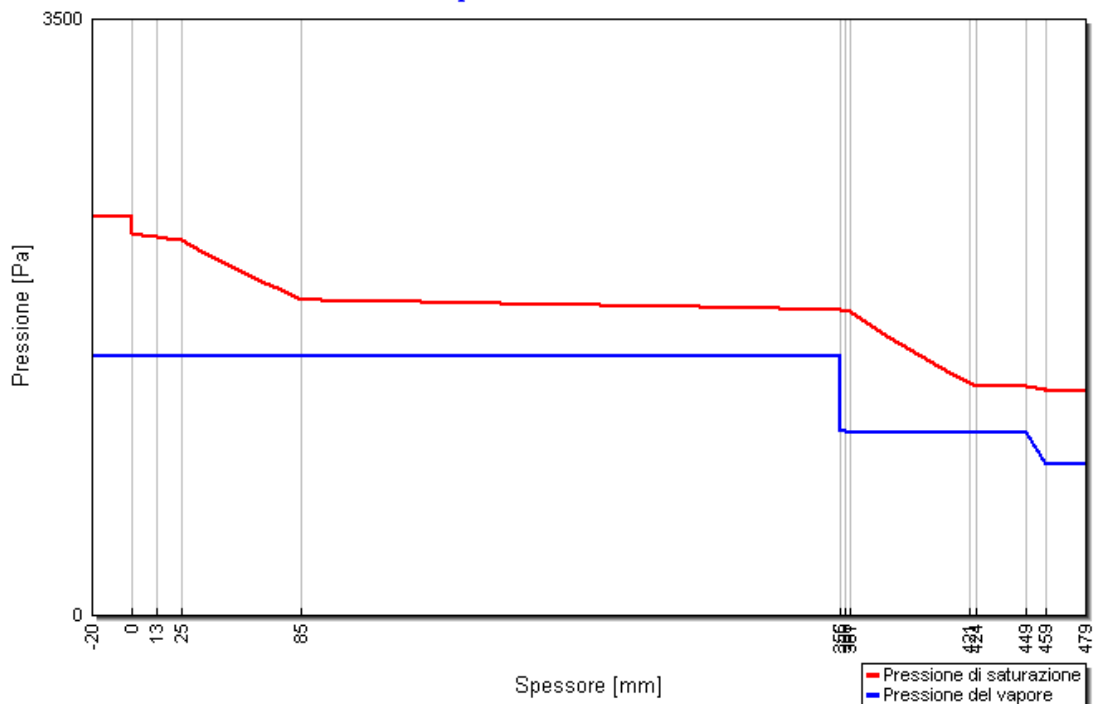
Verifica criticità di condensa superficiale: **Positiva per UR_{sup. amm} 80,0%**

Mese critico **Gennaio** f_{Rsi}^{max} **0,335** ≤ f_{Rsi} **0,923**

Verifica del rischio di condensa interstiziale: **Positiva**

Verifica termoigrometrica: **Nessuna condensazione**

Grafico delle pressioni del mese di GENNAIO



4.8.2. Verifica delle strutture trasparenti

Per quel che concerne la verifica delle strutture trasparenti si è fatto uno studio su 6 diversi tipi di strutture (diversificate per tipo di telaio e di vetro) studiando gli effetti, espressi in dispersioni di calore, sull'intero edificio in modo da adottare la soluzione tecnologica più performante.

Si sono prese in considerazione le seguenti soluzioni:

- Serramento con telaio in alluminio spessore 32 mm, e doppio vetro normale con camera d'aria da 15 mm (Argon)
- Serramento con telaio in PVC tripla camera, con doppio vetro normale, con camera d'aria da 15 mm (Argon)
- Serramento con telaio in legno tenero da 500 kg/m³ spessore 45 mm, con doppio vetro normale, con camera d'aria da 15 mm (Argon)
- Serramento con telaio in alluminio spessore 32 mm, con doppio vetro basso-emissivo, con camera d'aria da 15 mm (Argon)
- Serramento con telaio in PVC tripla camera, con doppio vetro basso-emissivo, con camera d'aria da 15 mm (Argon)
- Serramento con telaio in legno tenero da 500 kg/m³ spessore 45 mm, con doppio vetro basso-emissivo, con camera d'aria da 15 mm (Argon)

Si è quindi proceduto con il calcolo delle trasmittanze per ogni tipologia di struttura attraverso la formula:

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + L_{fg} \Psi_{fg}}{A_g + A_f}$$

dove:

U_w Trasmittanza termica del serramento

L_{fg} Perimetro vetro

A_g Superficie solo vetro

A_f Superficie solo telaio

U_g Trasmittanza termica solo vetro

U_f Trasmittanza termica solo telaio

Ψ_{fg} k distanziale

Serramento in alluminio da 32 mm con doppio vetro normale

Caratteristiche finestre:

- Rapporto vetro/serramento: 0,8
- Trasmittanza vetro **U_g**: 1,50 W/m²k
- Trasmittanza telaio **U_f**: 4,44 W/m²k
- Fattore solare **g**: 0,75
- K distanziale **Ψ_{fg}**: 0,08 W/mK

Calcolo trasmittanza termica dei serramenti:

Tipologia	Caratteristiche geometriche							U _w
	Altezza H (m)	Largh. L (m)	Sup. Lorda Finestr. (m ²)	Sup. Cassonetto (m ²)	Lfg	Ag	Af	
Vetrina negozio	3,00	6,00	18,00	1,80	17,60	14,40	3,60	2,166
Finestre uffici	3,00	6,00	18,00	1,80	17,60	14,40	3,60	2,166
Porta finestra "a"	2,40	3,00	7,20	0,90	10,40	5,76	1,44	2,204
Porta finestra "b"	2,40	2,00	4,80	0,60	8,40	3,84	0,96	2,228
Finestra "a"	1,40	1,00	1,40	0,30	4,40	1,12	0,28	2,339
Finestra "b"	1,40	0,50	0,70	0,15	3,40	0,56	0,14	2,477
Finestra "c"	1,40	2,00	2,80	0,60	6,40	2,24	0,56	2,271

Tipologia	Sup. Finestr. (m ²)	U _w	giorni	Ore giorno	T _i (°C)	T _e (°C)	Q gennaio (W)	Q _t (kWh)
Vetrina negozio	18,00	2,166	31	24	20	5	584,88	435,15
Finestre uffici	18,00	2,166	31	24	20	5	584,88	435,15
Porta finestra "a"	7,20	2,204	31	24	20	5	237,98	177,06
Porta finestra "b"	4,80	2,228	31	24	20	5	160,42	119,35
Finestra "a"	1,40	2,339	31	24	20	5	49,13	36,55
Finestra "b"	0,70	2,477	31	24	20	5	26,00	19,35
Finestra "c"	2,80	2,271	31	24	20	5	120,81	89,88

Dispersione per trasmissione totale Q_t nel mese di gennaio: **1.312,49 kWh**

Serramento in alluminio da 32 mm con doppio vetro basso-emissivo

Caratteristiche finestre:

- Rapporto vetro/serramento: 0,8
- Trasmittanza vetro U_g : 1,10 W/m²K
- Trasmittanza telaio U_f : 4,44 W/m²K
- Fattore solare g : 0,67
- K distanziale Ψ_{fg} : 0,11 W/mK

Calcolo trasmittanza termica dei serramenti:

Tipologia	Caratteristiche geometriche							Uw
	Altezza H (m)	Largh. L (m)	Sup. Lorda Finestr. (m ²)	Sup. Cassonetto (m ²)	Lfg	Ag	Af	
Vetrina negozio	3,00	6,00	18,00	1,80	17,60	14,40	3,60	1,746
Finestre uffici	3,00	6,00	18,00	1,80	17,60	14,40	3,60	1,746
Porta finestra "a"	2,40	3,00	7,20	0,90	10,40	5,76	1,44	1,789
Porta finestra "b"	2,40	2,00	4,80	0,60	8,40	3,84	0,96	1,817
Finestra "a"	1,40	1,00	1,40	0,30	4,40	1,12	0,28	1,945
Finestra "b"	1,40	0,50	0,70	0,15	3,40	0,56	0,14	2,102
Finestra "c"	1,40	2,00	2,80	0,60	6,40	2,24	0,56	1,866

Tipologia	Sup. Finestr. (m ²)	Uw	giorni	Ore giorno	Ti (°C)	Te (°C)	Q gennaio (W)	Qt (kWh)
Vetrina negozio	18,00	1,746	31	24	20	5	471,50	350,80
Finestre uffici	18,00	1,746	31	24	20	5	471,50	350,80
Porta finestra "a"	7,20	1,789	31	24	20	5	193,22	143,76
Porta finestra "b"	4,80	1,817	31	24	20	5	130,83	97,34
Finestra "a"	1,40	1,945	31	24	20	5	40,84	30,38
Finestra "b"	0,70	2,102	31	24	20	5	22,07	16,42
Finestra "c"	2,80	1,866	31	24	20	5	78,38	58,31

Dispersione per trasmissione totale Qt nel mese di gennaio: **1.047,80 kWh**

Serramento in legno tenero 500 kg/m³ da 60 mm con doppio vetro normale

Caratteristiche finestre:

- Rapporto vetro/serramento: 0,8
- Trasmittanza vetro **U_g**: 1,50 W/m²k
- Trasmittanza telaio **U_f**: 2,14 W/m²k
- Fattore solare **g**: 0,75
- K distanziale **Ψ_{fg}**: 0,06 W/mK

Calcolo trasmittanza termica dei serramenti:

Tipologia	Caratteristiche geometriche							
	Altezza H (m)	Largh. L (m)	Sup. Lorda Finestr. (m ²)	Sup. Cassonetto (m ²)	Lfg	Ag	Af	Uw
Vetrina negozio	3,00	6,00	18,00	1,80	17,60	14,40	3,60	1,687
Finestre uffici	3,00	6,00	18,00	1,80	17,60	14,40	3,60	1,687
Porta finestra "a"	2,40	3,00	7,20	0,90	10,40	5,76	1,44	1,715
Porta finestra "b"	2,40	2,00	4,80	0,60	8,40	3,84	0,96	1,733
Finestra "a"	1,40	1,00	1,40	0,30	4,40	1,12	0,28	1,817
Finestra "b"	1,40	0,50	0,70	0,15	3,40	0,56	0,14	1,919
Finestra "c"	1,40	2,00	2,80	0,60	6,40	2,24	0,56	1,765

Tipologia	Sup. Finestr. (m ²)	Uw	giorni	Ore giorno	Ti (°C)	Te (°C)	Q gennaio (W)	Qt (kWh)
Vetrina negozio	18,00	1,687	31	24	20	5	455,40	338,82
Finestre uffici	18,00	1,687	31	24	20	5	455,40	338,82
Porta finestra "a"	7,20	1,715	31	24	20	5	185,18	137,78
Porta finestra "b"	4,80	1,733	31	24	20	5	124,78	92,83
Finestra "a"	1,40	1,817	31	24	20	5	38,15	28,38
Finestra "b"	0,70	1,919	31	24	20	5	20,15	14,99
Finestra "c"	2,80	1,765	31	24	20	5	74,136	55,16

Dispersione per trasmissione totale Qt nel mese di gennaio: **1.006,78 kWh**

Serramento in legno tenero 500 kg/m³ da 60 mm con doppio vetro basso-emissivo

Caratteristiche finestre:

- Rapporto vetro/serramento: 0,8
- Trasmittanza vetro **U_g**: 1,10 W/m²k
- Trasmittanza telaio **U_f**: 2,14 W/m²k
- Fattore solare **g**: 0,67
- K distanziale **Ψ_{fg}**: 0,08 W/mK

Calcolo trasmittanza termica dei serramenti:

Tipologia	Caratteristiche geometriche							
	Altezza H (m)	Largh. L (m)	Sup. Lorda Finestr. (m ²)	Sup. Cassonetto (m ²)	Lfg	Ag	Af	Uw
Vetrina negozio	3,00	6,00	18,00	1,80	17,60	14,40	3,60	1,386
Finestre uffici	3,00	6,00	18,00	1,80	17,60	14,40	3,60	1,386
Porta finestra "a"	2,40	3,00	7,20	0,90	10,40	5,76	1,44	1,424
Porta finestra "b"	2,40	2,00	4,80	0,60	8,40	3,84	0,96	1,448
Finestra "a"	1,40	1,00	1,40	0,30	4,40	1,12	0,28	1,559
Finestra "b"	1,40	0,50	0,70	0,15	3,40	0,56	0,14	1,697
Finestra "c"	1,40	2,00	2,80	0,60	6,40	2,24	0,56	1,491

Tipologia	Sup. Finestr. (m ²)	Uw	giorni	Ore giorno	Ti (°C)	Te (°C)	Q gennaio (W)	Qt (kWh)
Vetrina negozio	18,00	1,386	31	24	20	5	374,28	278,46
Finestre uffici	18,00	1,386	31	24	20	5	374,28	278,46
Porta finestra "a"	7,20	1,424	31	24	20	5	153,74	114,39
Porta finestra "b"	4,80	1,448	31	24	20	5	104,26	77,57
Finestra "a"	1,40	1,559	31	24	20	5	32,75	24,36
Finestra "b"	0,70	1,697	31	24	20	5	17,81	13,25
Finestra "c"	2,80	1,491	31	24	20	5	62,616	46,59

Dispersione per trasmissione totale Qt nel mese di gennaio: **833,09 kWh**

Serramento in PVC Con doppio vetro normale

Caratteristiche finestre:

- Rapporto vetro/serramento: 0,8
- Trasmittanza vetro **U_g**: 1,50 W/m²k
- Trasmittanza telaio **U_f**: 2,00 W/m²k
- Fattore solare **g**: 0,75
- K distanziale **Ψ_{fg}**: 0,06 W/mK

Calcolo trasmittanza termica dei serramenti:

Tipologia	Caratteristiche geometriche							Uw
	Altezza H (m)	Largh. L (m)	Sup. Lorda Finestr. (m ²)	Sup. Cassonetto (m ²)	Lg	Ag	Af	
Vetrina negozio	3,00	6,00	18,00	1,80	17,60	14,40	3,60	1,659
Finestre uffici	3,00	6,00	18,00	1,80	17,60	14,40	3,60	1,659
Porta finestra "a"	2,40	3,00	7,20	0,90	10,40	5,76	1,44	1,687
Porta finestra "b"	2,40	2,00	4,80	0,60	8,40	3,84	0,96	1,705
Finestra "a"	1,40	1,00	1,40	0,30	4,40	1,12	0,28	1,789
Finestra "b"	1,40	0,50	0,70	0,15	3,40	0,56	0,14	1,891
Finestra "c"	1,40	2,00	2,80	0,60	6,40	2,24	0,56	1,737

Tipologia	Sup. Finestr. (m ²)	Uw	giorni	Ore giorno	Ti (°C)	Te (°C)	Q gennaio (W)	Qt (kWh)
Vetrina negozio	18,00	1,659	31	24	20	5	447,84	333,19
Finestre uffici	18,00	1,659	31	24	20	5	447,84	333,19
Porta finestra "a"	7,20	1,687	31	24	20	5	182,16	135,53
Porta finestra "b"	4,80	1,705	31	24	20	5	122,76	91,33
Finestra "a"	1,40	1,789	31	24	20	5	37,56	27,94
Finestra "b"	0,70	1,891	31	24	20	5	19,86	14,78
Finestra "c"	2,80	1,737	31	24	20	5	72,96	54,28

Dispersione per trasmissione totale Qt nel mese di gennaio: **990,25 kWh**

Serramento in PVC Con doppio vetro basso-emissivo

Caratteristiche finestre:

- Rapporto vetro/serramento: 0,8
- Trasmittanza vetro **U_g**: 1,10 W/m²k
- Trasmittanza telaio **U_f**: 2,00 W/m²k
- Fattore solare **g**: 0,67
- K distanziale **Ψ_{fg}**: 0,08 W/mK

Calcolo trasmittanza termica dei serramenti:

Tipologia	Caratteristiche geometriche							U _w
	Altezza H (m)	Largh. L (m)	Sup. Lorda Finestr. (m ²)	Sup. Cassonetto (m ²)	L _g	A _g	A _f	
Vetrina negozio	3,00	6,00	18,00	1,80	17,60	14,40	3,60	1,358
Finestre uffici	3,00	6,00	18,00	1,80	17,60	14,40	3,60	1,358
Porta finestra "a"	2,40	3,00	7,20	0,90	10,40	5,76	1,44	1,396
Porta finestra "b"	2,40	2,00	4,80	0,60	8,40	3,84	0,96	1,420
Finestra "a"	1,40	1,00	1,40	0,30	4,40	1,12	0,28	1,531
Finestra "b"	1,40	0,50	0,70	0,15	3,40	0,56	0,14	1,669
Finestra "c"	1,40	2,00	2,80	0,60	6,40	2,24	0,56	1,463

Tipologia	Sup. Finestr. (m ²)	U _w	giorni	Ore giorno	T _i (°C)	T _e (°C)	Q gennaio (W)	Q _t (kWh)
Vetrina negozio	18,00	1,358	31	24	20	5	366,72	272,84
Finestre uffici	18,00	1,358	31	24	20	5	366,72	272,84
Porta finestra "a"	7,20	1,396	31	24	20	5	150,72	112,14
Porta finestra "b"	4,80	1,420	31	24	20	5	102,24	76,07
Finestra "a"	1,40	1,531	31	24	20	5	32,16	23,93
Finestra "b"	0,70	1,669	31	24	20	5	17,52	13,03
Finestra "c"	2,80	1,463	31	24	20	5	61,44	45,71

Dispersione per trasmissione totale Q_t nel mese di gennaio: **816,5 kWh**

4.8.3. Calcolo delle dispersioni dell'intero edificio

Dati climatici:

- Zona climatica:	B
- Gradi giorno:	751
- Differenza di temperatura interno/esterno:	16 °C

Caratteristiche dimensionali:

- Superficie totale esterna:	7.328,36	m ²
- Volume lordo:	9.473,04	m ³
- Fattore di Forma (S/V):	0,774	
- Somma superfici introdotte:	7.369,16	m ²

Dispersioni

- Fabbisogno per trasmissione Pt:	66.094	W
- Fabbisogno per ventilazione Pv:	25.767	W
- Fabbisogno globale Pg:	91.861	W
- Dispersioni strutture opache:	30.939	W
- Dispersioni ponti termici:	10.711	W
- Dispersioni componenti finestrati:	24.444	W

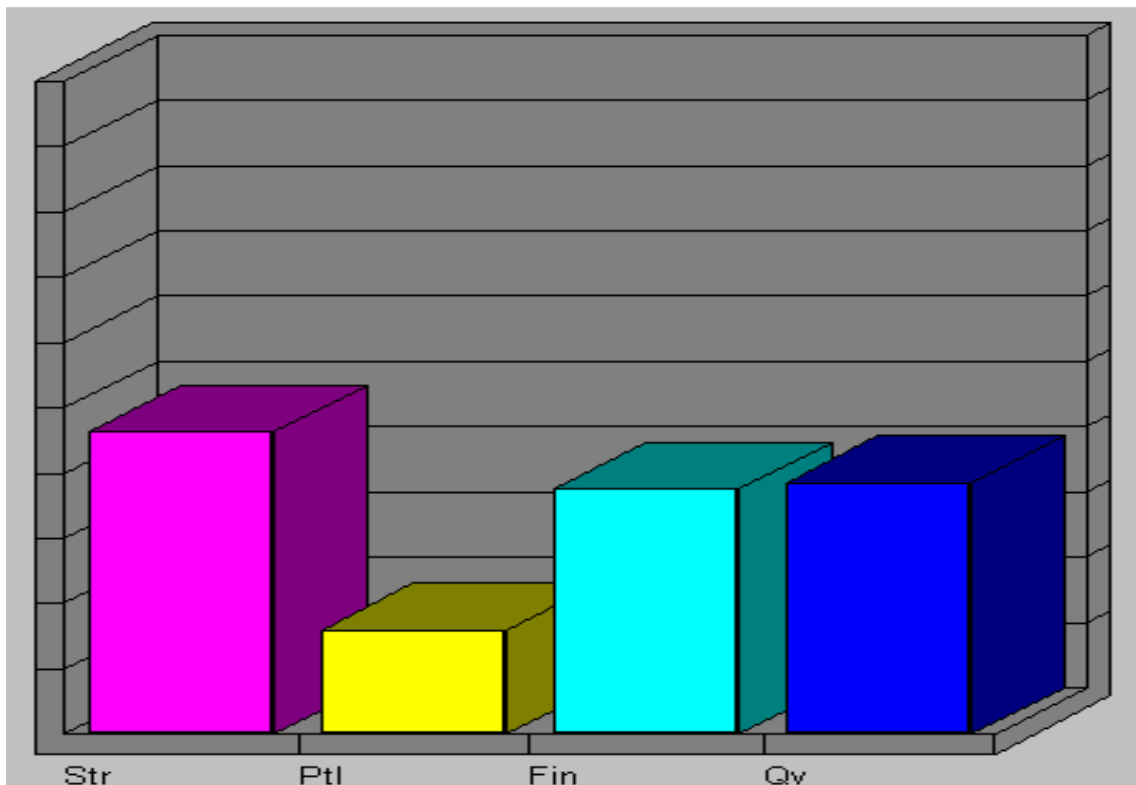


Figura 20 – Diagramma dispersioni edificio

4.8.4. Calcolo dei carichi termici estivi

Dati generali di progetto:

- Temperatura Esterna Bulbo Asciutto :	32 °C
- Temperatura Esterna Bulbo Umido :	22,5 °C
- Umidità Relativa Esterna :	45 %
- Escursione Termica Giornaliera :	6,5 °C
- Latitudine Nord :	38 °7 '
- Mese Considerato :	Agosto
- Temperatura Interna Bulbo Asciutto :	26 °C
- Temperatura Interna Bulbo Umido :	19 °C
- Umidità Relativa Interna :	52,3 %
- Escursione Temperatura Annuale :	27 °C

Potenze Termiche Emesse Dalle Persone

- Sensibile :	64 W
- Latente :	70 W
- Coefficiente Di Contemporaneità :	1

Totale Per Presenza Di Persone

- Coefficiente Di Contemporaneità :	1
-------------------------------------	---

Totale Per Carichi Elettrici

- Coefficiente Di Sicurezza (Qutile/Qtot) :	1,05
- Coefficiente Di Correzione Radiazione Solare:	1

Denominazione Struttura	U picco W/m²K	DT °C	Peso kg/m²	Colore
Parete esterna ventilata	0,16	0	101	M
Parete interna cartongesso	0,49	20	47	
Parete interna strutturale	0,32	20	48	
Porta esterna	0,29	0	22	S
Porta interna	1,65	20	9	
Soletta interpiano	0,36	20	118	
Soletta interpiano	0,38	20	118	
Soletta copertura	0,32	0	111	M

Denominazione ponte termico	U picco W/m²K	DT °C	Peso kg/m²	Colore
P.T. coperture	0,35	0	750	M
P.T. balconi, poggiali	0,50	0	750	M
P.T. solette intermedie	0,50	0	750	M
P.T. serramenti, porte e finestre	0,20	0	750	M

Tabella 1 - Totali dei massimi carichi estivi

N° Zona	Descrizione Zona	Q sensibile (W)	Q latente (W)	Q totale (W)	Qs/ Qt	Q utile +5% (W)
1	Zona 1	34.605	5.942	40.547	0,85	42.574
2	Zona 2	42.112	8.448	50.560	0,83	53.088
3	Zona 3	4.366	804	5.170	0,84	5.428
4	Zona 4	5.434	1.069	6.503	0,84	6.828
5	Zona 5	1.877	433	2.310	0,81	2.426
6	Zona 6	1.879	434	2.313	0,81	2.429
7	Zona 7	5.437	1.068	6.505	0,84	6.830
8	Zona 8	4.392	815	5.207	0,84	5.467
9	Zona 9	5.155	1.076	6.231	0,83	6.543
10	Zona 10	1.792	433	2.225	0,81	2.336
11	Zona 11	4.119	816	4.935	0,83	5.182
12	Zona 12	4.123	815	4.938	0,83	5.185
13	Zona 13	1.797	435	2.232	0,81	2.344
14	Zona 14	5.177	1.077	6.254	0,83	6.567
15	Zona 15	4.144	815	4.959	0,84	5.207
16	Zona 16	5.107	1.073	6.180	0,83	6.489
17	Zona 17	1.796	429	2.225	0,81	2.336
18	Zona 18	1.798	430	2.228	0,81	2.339
19	Zona 19	5.108	1.072	6.180	0,83	6.489
20	Zona 20	4.186	815	5.001	0,84	5.251
21	Zona 21	5.510	1.072	6.582	0,84	6.911
22	Zona 22	1.890	428	2.318	0,82	2.434
23	Zona 23	4.340	816	5.156	0,84	5.414
24	Zona 24	4.343	815	5.158	0,84	5.416
25	Zona 25	1.897	429	2.326	0,82	2.442
26	Zona 26	5.523	1.077	6.600	0,84	6.930
	TOTALI DEI MASSIMI	167907	32936	200843	0,84	210878

Tabella 2 - Fabbisogno estivo - INTERO EDIFICIO

	Ora	Q sensibile (W)	Q latente (W)	Q totale (W)	Qs/ Qt	Q utile +5% (W)
TOTALI SENZA RIDUZIONE CONTEMPORANEITA'	8	85.143	33.507	118.650	0,72	124.582
	10	142.741	32.046	174.787	0,82	183.526
	12	163.750	33.532	197.282	0,83	207.146
	14	163.109	32.466	195.575	0,83	205.354
	16	116.183	32.466	148.649	0,78	156.081
	18	98.030	29.918	127.948	0,77	134.345

	Ora	Q sensibile (W)	Q latente (W)	Q totale (W)	Qs/ Qt	Q utile +5% (W)
TOTALI CON RIDUZIONE CONTEMPORANEITA'	8	85.143	33.507	118.650	0,72	124.582
	10	142.741	32.046	174.787	0,82	183.526
	12	163.750	33.532	197.282	0,83	207.146
	14	163.109	32.466	195.575	0,83	205.354
	16	116.183	32.466	148.649	0,78	156.081
	18	98.030	29.918	127.948	0,77	134.345

	Ora	Q irraggiamento (W)	Q trasmissione (W)	Q ricambio (W)	Q interni (W)
Q utili SUDDIVISI CON RIDUZIONE CONTEMPORANEITA'	8	22.086	2.953	15.931	77.680
	10	74.486	5.155	17.466	77.680
	12	86.560	10.922	22.120	77.680
	14	74.486	17.311	26.098	77.680
	16	22.086	22.785	26.098	77.680
	18	3.976	24.132	22.160	77.680

CARICO TERMICO TOTALE DELL'EDIFICIO

	Ora	Q sensibile (W)	Q latente (W)	Q totale (W)	Qs/ Qt	Q utile +5% (W)
TOTALI	12	163750	33532	197282	0,83	207146

- Totale volumi interni: 1241,5 m³
- Totale superficie in pianta: 344,9 m²
- Totale persone conteggiate nei locali: 44
- Totale persone con coefficiente di contemporaneità: 44
- Totale potenza elettrica conteggiata nei locali: 6897 W
- Totale potenza elettrica con coefficiente di contemporaneità : 6897 W
- Totale altro calore sensibile: 0 W
- Totale altro calore latente: 0 W

Tabella 3 - Carichi di radiazione solare attraverso il vetro (W/m²)

LATITUDINE: 38° 7' Nord MESE : Agosto

(Percentuale di vetratura del serramento = 0,85 - Atmosfera limpida - Altezza s.l.m. = 0 - Temperatura di rugiada = 19,5 °C)

ORIENTAMENTO	ORA SOLARE					
	8	10	12	14	16	18
N	35	43	44	43	35	21
NE	270	57	44	43	35	8
E	513	320	44	43	35	8
SE	429	422	192	43	35	8
S	69	256	299	256	69	8
SO	35	43	192	422	430	145
O	35	43	44	320	513	254
NO	35	43	44	57	270	206
Orizzontale	319	592	687	592	319	26

Tabella 4 - Temperatura esterna (°C), umidità relativa (%)

(T.Int = 26°C) E DIFFERENZE DI ENTALPIA PER L'ARIA DI RINNOVO (kJ/kg)

	ORA SOLARE					
	8	10	12	14	16	18
TEMPERATURA B.A.	26,4	27,8	29,2	31,5	31,5	30,9
TEMPERATURA B.U.	21,2	21,4	22,0	22,5	22,5	22,0
UMIDITA' RELATIVA	63,7	57,6	54,2	46,8	46,8	46,8
Dh sensibile	0,55	1,96	3,44	5,80	5,80	5,15
Dh latente	6,90	6,21	6,92	6,42	6,42	5,21

Tabella 5 - Fattori di accumulo per schermi interni

DURATA DI FUNZIONAMENTO DELL'IMPIANTO: 12 ore

ORIENTAMENTO	PESO (kg/m ²) PAVIMENTO	ORA SOLARE					
		8	10	12	14	16	18
NE	750	0,62	0,33	0,25	0,22	0,20	0,14
	500	0,64	0,35	0,24	0,20	0,17	0,13
	150	0,75	0,37	0,19	0,15	0,12	0,07
E	750	0,71	0,57	0,29	0,25	0,21	0,16
	500	0,73	0,58	0,29	0,24	0,19	0,13
	150	0,82	0,65	0,25	0,16	0,11	0,07
SE	750	0,59	0,74	0,61	0,33	0,26	0,22
	500	0,57	0,75	0,63	0,34	0,25	0,17
	150	0,61	0,86	0,69	0,30	0,17	0,09
S	750	0,40	0,64	0,77	0,73	0,49	0,29
	500	0,38	0,64	0,79	0,77	0,51	0,28
	150	0,48	0,79	0,89	0,56	0,24	0,11
SO	750	0,27	0,25	0,50	0,72	0,69	0,30
	500	0,25	0,23	0,50	0,74	0,70	0,31
	150	0,18	0,14	0,50	0,82	0,79	0,26
O	750	0,28	0,25	0,22	0,46	0,71	0,61
	500	0,28	0,24	0,20	0,44	0,72	0,66
	150	0,25	0,17	0,13	0,44	0,82	0,74
NO	750	0,27	0,23	0,20	0,24	0,56	0,66
	500	0,27	0,22	0,19	0,23	0,58	0,60
	150	0,25	0,18	0,14	0,19	0,64	0,79
N Ombra	750	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
	500	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
	150	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabella 6 - Fattori di accumulo per schermi esterni o nessuno schermo

DURATA DI FUNZIONAMENTO DELL'IMPIANTO: 12 ore

ORIENTAMENTO	PESO (kg/m ²) PAVIMENTO	ORA SOLARE					
		8	10	12	14	16	18
NE	750	0,47	0,42	0,36	0,30	0,26	0,23
	500	0,50	0,45	0,34	0,27	0,23	0,17
	150	0,69	0,48	0,27	0,18	0,14	0,09
E	750	0,50	0,53	0,44	0,36	0,30	0,25
	500	0,54	0,57	0,44	0,34	0,28	0,20
	150	0,71	0,70	0,39	0,23	0,15	0,09
SE	750	0,43	0,54	0,57	0,50	0,41	0,35
	500	0,41	0,58	0,61	0,49	0,37	0,30
	150	0,47	0,75	0,73	0,45	0,23	0,14
S	750	0,42	0,51	0,61	0,66	0,61	0,48
	500	0,39	0,50	0,64	0,70	0,63	0,45
	150	0,25	0,54	0,78	0,82	0,61	0,28
SO	750	0,40	0,34	0,41	0,54	0,60	0,54
	500	0,37	0,31	0,39	0,50	0,64	0,50
	150	0,25	0,17	0,39	0,70	0,79	0,47
O	750	0,44	0,36	0,31	0,35	0,49	0,58
	500	0,44	0,34	0,29	0,33	0,51	0,60
	150	0,38	0,22	0,16	0,33	0,69	0,76
NO	750	0,39	0,33	0,28	0,26	0,37	0,49
	500	0,41	0,31	0,25	0,24	0,39	0,55
	150	0,36	0,24	0,17	0,17	0,50	0,74
N Ombra	750	0,79	0,84	0,88	0,91	0,93	0,93
	500	0,86	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95
	150	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabella 7 - Differenza di temperatura equivalente per i muri irradiati o in ombra

COLORE : SCURO - MESE : AGOSTO - LATITUDINE : 40° Nord

TEMP. ESTERNA : 32,0 °C

ESCURS. TEMP. GIORN. : 6,5 °C

TEMP. INTERNA : 26,0 °C

ORIENTAMENTO	PESO (kg/m ²) MURI	ORA SOLARE					
		8	10	12	14	16	18
NE	100	12,50	13,60	8,10	7,00	8,10	8,10
	300	-0,80	13,60	11,40	5,80	7,00	8,10
	500	2,50	2,50	9,20	8,10	5,80	7,00
	700	3,60	3,60	3,60	8,10	8,10	5,80
E	100	17,00	20,30	18,10	7,00	8,10	8,10
	300	0,30	17,00	17,50	8,10	7,00	8,10
	500	3,60	8,10	13,60	13,60	10,30	8,10
	700	5,80	4,70	5,80	10,30	10,30	9,20
SE	100	7,50	14,70	15,90	13,60	9,20	8,10
	300	0,30	11,40	15,90	14,20	10,30	8,10
	500	3,60	3,60	9,20	10,30	10,30	8,10
	700	4,70	4,70	3,60	8,10	9,20	9,20
S	100	-1,90	2,50	12,50	17,00	14,70	9,20
	300	-1,90	-0,80	7,00	13,60	14,70	11,40
	500	1,40	1,40	2,50	7,00	9,20	10,30
	700	3,60	2,50	2,50	2,50	5,80	8,10
SO	100	-1,90	0,30	3,60	14,70	22,50	23,60
	300	0,30	0,30	1,40	7,00	18,10	20,30
	500	3,60	2,50	3,60	4,70	8,10	12,50
	700	4,70	4,70	3,60	3,60	4,70	5,80
O	100	-1,90	0,30	3,60	11,40	22,50	27,00
	300	0,30	0,30	2,50	5,80	14,70	22,50
	500	3,60	3,60	3,60	4,70	7,00	11,40
	700	5,80	4,70	4,70	5,80	5,80	7,00
NO	100	-1,90	0,30	3,60	7,00	13,60	22,50
	300	-1,90	-0,80	1,40	4,70	7,00	17,00
	500	2,50	2,50	2,50	2,50	3,60	7,00
	700	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	4,70
N Ombra	100	-1,90	-0,80	2,50	5,80	8,10	7,00
	300	-1,90	-0,80	0,30	3,60	5,80	7,00
	500	0,30	0,30	0,30	1,40	2,50	3,10
	700	0,30	0,30	0,30	0,30	1,40	2,50

Tabella 8 - Differenza di temperatura equivalente per i tetti irradiati o in ombra

COLORE : SCURO - MESE : AGOSTO - LATITUDINE : 40° Nord

TEMP. ESTERNA : 32,0 °C

ESCURS. TEMP. GIORN. : 6,5 °C

TEMP. INTERNA : 26,0 °C

ORIENTAMENTO	PESO (kg/m ²) TETTI	ORA SOLARE					
		8	10	12	14	16	18
Irradiati	100	-0,80	1,40	9,20	17,00	23,10	24,20
	200	1,40	3,60	9,20	15,90	21,40	23,10
	300	3,60	4,70	9,20	15,30	19,70	22,00
Ombra	100	-1,90	0,30	3,60	7,00	8,10	7,00
	200	-1,90	-0,80	1,40	4,70	7,00	7,00
	300	-0,80	-0,80	0,30	2,50	4,70	5,80

4.8.5. CONCLUSIONI

Analizzando quindi i risultati dei calcoli del fabbisogno, invernale ed estivo, effettuati per le diverse tipologie di pareti finestrate si evince che la migliore prestazione si ottiene impiegando finestre con telaio in PVC con tripla camera e superficie vetrata del tipo vetrocamera 4-16-4 con intercapedine Argon, basso-emissivo.

CAPITOLO 5

5. SCELTE IMPIANTISTICHE

Nel seguente capitolo verrà dimensionato l'impianto di riscaldamento.

Il sistema preso in esame è quello della Pompa di calore (riscaldamento e raffreddamento), funzionante ad energia elettrica.

Le caratteristiche di queste unità di riscaldamento e condizionamento permettono di realizzare dei notevoli risparmi energetici anche in funzione della loro modularità, in quanto il consumo viene gestito individualmente, mediante l'utilizzo di unità indipendenti, dislocate nei singoli locali.

Il suo funzionamento ad energia elettrica permette di ottenere, in abbinamento ad un impianto fotovoltaico, un impianto di riscaldamento, raffreddamento ed elettrico che ha un costo di gestione quasi pari a zero.

L'obiettivo dello studio è quello di dimensionare un impianto del tipo pompa di calore e un campo fotovoltaico e paragonare l'energia prodotta dall'impianto fotovoltaico al fabbisogno elettrico per il funzionamento della pompa di calore per valutare il grado risparmio.

5.1. POMPA DI CALORE

La pompa di calore è una macchina a ciclo inverso in grado di trasferire calore da un fluido a temperatura più bassa ad un altro a temperatura più alta.

La pompa di calore deve il suo nome al fatto che essa provvede a trasportare del calore da un livello inferiore a un livello superiore di temperatura, invertendo il flusso naturale del calore che in natura, come noto, fluisce da un livello (temperatura) più alto ad uno più basso.

La funzione della pompa di calore può quindi essere paragonata a quella di una pompa per l'acqua posta tra due bacini collegati tra loro ma posizionati a quote diverse: l'acqua scorrerà dal bacino più alto a quello più basso. È però possibile riportare l'acqua nel bacino più alto utilizzando una pompa che preleva l'acqua dal bacino più basso.

La pompa di calore è costituita da un circuito chiuso, percorso da uno speciale fluido (frigorigeno) che, a seconda delle condizioni di temperatura e di pressione in cui si trova, assume lo stato liquido o di vapore.

Il circuito chiuso è costituito da:

- un compressore;
- un condensatore;
- una valvola di espansione;
- un evaporatore.

Il condensatore e l'evaporatore sono costituiti da scambiatori di calore, cioè particolari tubi posti a contatto con i fluidi di servizio (che possono essere acqua o aria) nei quali scorre il fluido frigorifero. Questo cede calore al condensatore (lato ad alta temperatura) e lo sottrae all'evaporatore (lato a bassa temperatura).

Nel funzionamento il fluido frigorifero, all'interno del circuito, subisce le seguenti trasformazioni:

- Condensazione: il fluido frigorifero, proveniente dal compressore, passa dallo stato gassoso a quello liquido cedendo calore all'esterno.
- Espansione: passando attraverso la valvola di espansione il fluido frigorifero liquido si raffredda e si trasforma parzialmente in vapore.
- Evaporazione: il fluido frigorifero assorbe calore ed evapora completamente.
- Compressione: il fluido frigorifero allo stato gassoso e a bassa pressione, proveniente dall'evaporatore, viene portato ad alta pressione; nella compressione si riscalda assorbendo una certa quantità di calore.

L'insieme di queste trasformazioni costituisce il ciclo della pompa di calore: fornendo energia con il compressore al fluido frigorifero questo, nell'evaporatore, assorbe calore dal mezzo circostante e, tramite il condensatore, lo cede al mezzo da riscaldare.

5.1.1. Efficienza della Pompa di Calore

Nel corso del suo funzionamento, la pompa di calore:

- consuma energia elettrica per il compressore.
- assorbe calore nell'evaporatore, dal mezzo circostante (aria o acqua)
- cede calore al mezzo da riscaldare nel condensatore (aria o acqua).

Il vantaggio nell'uso della pompa di calore deriva dalla sua capacità di fornire più energia (calore) di quella impiegata per il suo funzionamento in quanto estrae calore dall'ambiente esterno (aria o acqua).

L'efficienza di una pompa di calore elettrica è misurata dal coefficiente di prestazione "C.O.P." che è il rapporto tra energia fornita (calore ceduto al mezzo da riscaldare) ed energia elettrica consumata.

Il C.O.P. è variabile a seconda del tipo di pompa di calore e delle condizioni di funzionamento ed ha, in genere, valori intorno a 2,5.

Questo vuol dire che per 1 kWh di energia elettrica consumato, fornirà 2,5 kWh di calore al mezzo da riscaldare.

L'efficienza sarà tanto maggiore quanto più bassa è la temperatura a cui il calore viene ceduto (nel condensatore) e quanto più alta quella della sorgente da cui viene assorbito (nell'evaporatore).

Va tenuto conto inoltre che la potenza termica resa dalla pompa di calore dipende dalla temperatura a cui la stessa assorbe calore.

Quando la temperatura della sorgente fredda (aria) è compresa tra -2°C e 2°C la pompa di calore si disattiva in quanto le sue prestazioni si ridurrebbero significativamente.

Il mezzo esterno da cui si estrae calore è detto SORGENTE FREDDA. Nella pompa di calore il fluido frigorifero assorbe calore dalla sorgente fredda tramite l'evaporatore.

Le principali sorgenti fredde sono:

- l'ARIA: esterna al locale da riscaldare, tipicamente l'aria dell'ambiente esterno.
- l'ACQUA: di falda, di fiume, di lago quando questa è presente in prossimità dei locali da riscaldare e a ridotta profondità.
- il Terreno, nel quale vengono inserite a profondità variabile delle specifiche tubazioni relative all'evaporatore (tubazioni chiamate sonde geotermiche).

Il POZZO CALDO è il mezzo (aria o acqua) al quale viene ceduto il calore prodotto e recuperato. Nel condensatore il fluido frigorifero cede al pozzo caldo sia il calore prelevato dalla sorgente fredda che l'energia fornita dal compressore. Il calore può essere ceduto all'ambiente attraverso i ventilconvettori, costituiti da armadietti nei quali l'aria viene fatta circolare attraverso corpi scaldanti. Questi possono essere del tipo a parete, a soffitto oppure ad incasso:

- serpentine inserite nel pavimento, nelle quali circola acqua calda. Il riscaldamento avviene prevalentemente per radiazione;
- canalizzazioni, che trasferiscono il calore prodotto dalla pompa di calore ai diversi locali, per mezzo di canali d'aria e bocchette di diffusione.

5.1.2. Le tipologie di Pompe di Calore

Le pompe di calore si distinguono in base alla sorgente fredda e al pozzo che utilizzano. In funzione del fluido utilizzato per il trasferimento del calore dalla sorgente fredda alla pompa di calore e da questa al pozzo caldo ci possono essere 4 tipologie:

- **ARIA-ACQUA:** la pompa di calore preleva calore dalla sorgente fredda costituita dall'aria (esterna) e la cede al pozzo caldo costituito da un circuito d'acqua (di riscaldamento degli ambienti).
- **ARIA-ARIA:** la pompa di calore preleva calore dalla sorgente fredda costituita dall'aria (esterna) e cede al pozzo caldo costituito ancora da aria (quella dell'ambiente riscaldato).
- **ACQUA-ACQUA:** la pompa di calore preleva calore dalla sorgente fredda costituita da acqua (di lago, fiume o falda) e la cede al pozzo caldo costituito da un circuito d'acqua (di riscaldamento degli ambienti).
- **ACQUA-ARIA:** la pompa di calore preleva calore dalla sorgente fredda costituita da acqua (di lago, fiume o falda) e la cede al pozzo caldo costituito da aria (quella dell'ambiente riscaldato).

L'ARIA come sorgente fredda ha il vantaggio di essere disponibile ovunque; tuttavia la potenza resa dalla pompa di calore diminuisce con la temperatura della sorgente.

L'ACQUA come sorgente fredda garantisce le prestazioni della pompa di calore senza risentire delle condizioni climatiche esterne; tuttavia richiede un costo addizionale dovuto al sistema di adduzione dell'acqua.

Il TERRENO, come sorgente fredda ha il vantaggio di subire minori sbalzi di temperatura rispetto all'aria.

5.1.3. Applicazioni della Pompa di Calore

Le possibili applicazioni della pompa di calore sono:

- CLIMATIZZAZIONE DEGLI AMBIENTI: La pompa di calore, mediante valvola di inversione, è in grado di scambiare tra loro le funzioni dell'evaporatore e del condensatore, fornendo così calore in inverno e freddo in estate (tipo reversibile).
- RISCALDAMENTO DEGLI AMBIENTI: La pompa di calore può essere utilizzata anche per la sola produzione di calore per il riscaldamento degli ambienti. In questo caso gli impianti possono essere di tipo:
 - monovalente: la pompa di calore è in grado di coprire interamente il fabbisogno termico necessario al riscaldamento degli ambienti.
 - bivalente: costituito dalla pompa di calore e da un sistema di riscaldamento ausiliario che copra il fabbisogno termico quando la temperatura dell'aria scende solo al di sotto di 0 °C.

5.1.4. Dimensionamento

Il dimensionamento dell'impianto a pompa di calore richiede un'accurata valutazione dei fabbisogni di calore:

- $Q_{h,s}$ Fabbisogno energia utile per il riscaldamento stagionale
- $Q_{hvs,s}$ Fabbisogno energia utile per il riscaldamento con intermittenza, stagionale
- Q_H, gn, out Energia prodotta dal generatore per il riscaldamento ed immessa nella rete di distribuzione
- Q_{av} Energia assorbita dal bruciatore nel periodo di funzionamento
- Q_{af} Energia assorbita dalle pompe di circolazione nel periodo di funzionamento
- Q_H,gn,in Energia primaria richiesta in entrata dal sottosistema di generazione stagionale
- $Q_{aux,e}$ Energia assorbita dagli ausiliari del sottosistema di emissione nel periodo di funzionamento
- $Q_{aux,d}$ Energia assorbita dagli ausiliari del sottosistema di distribuzione nel periodo di funzionamento
- Q Energia primaria per il riscaldamento stagionale

5.1.4.1. Dati di progetto del generatore

- Funzionamento della pompa: ATTENUAZIONE
- Temperatura minima notturna: 18 °C
- Ore di intermittenza diurna: 8
- Ore di intermittenza notturna: 6
- Terminale: Ventilconvettore
- Regolazione: Ambiente a 2 posizioni ON/OFF
- Q_{h,s} 57.282 MJ
- Q_{hvs,s} 51.553 MJ
- Q_{H, gn, out} 57.823 MJ
- Q_{av} 0 MJ
- Q_{af} 503 MJ
- Q_{H,gn,in} 58.653 MJ
- Q_{aux,e} 585 MJ
- Q_{aux,d} 585 MJ
- Q 61.578 MJ

Rendimenti

- Rendimento di regolazione medio stagionale Eta c = 94,00 %
- Rendimento di emissione Eta e = 96,00 %
- Rendimento di distribuzione Eta d = 98,80 %
- Rendimento di generazione Eta gn = 98,60 %
- Rendimento di globale medio stagionale Eta g,s = 83,70 %

MESE	COPm	QH,gn,out	Qaf	Qav	Eta c	Eta gn	Q
Gennaio	1,00	23.840	151,23	0	94,00	99,00	24.966
Febbraio	1,00	14.552	151,23	0	94,00	98,30	15.678
Marzo	1,00	4.773	88,38	0	94,00	97,00	5.432
Aprile	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0
Maggio	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0
Giugno	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0
Luglio	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0
Agosto	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0
Settembre	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0
Ottobre	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0
Novembre	0,00	0	0	0	0,00	0,00	0
Dicembre	1,00	14.657	113,47	0	94,00	98,70	15.502

Consumo totale per il riscaldamento:	6,5	MJ/m³ anno
Consumo di energia elettrica:	6842,1	kWh/anno

5.1.4.2. Climatizzazione

Una pompa di calore a ciclo reversibile ha una capacità di raffrescamento di poco inferiore a quella di riscaldamento, fornendo, nel caso di pompa di calore aria/acqua, acqua ad una temperatura fino a 7 °C.

5.2. GENERATORE FOTOVOLTAICO

5.2.1. Come funziona un impianto fotovoltaico

Materiali come il silicio possono produrre energia elettrica se irradiati dalla luce solare. Caratteristica fisica che ha consentito di realizzare la cella fotovoltaica.

Le **celle fotovoltaiche** collegate tra loro formano un **modulo fotovoltaico** in grado di trasformare la luce solare direttamente in energia elettrica. Un modulo è costituito da 36 celle poste in serie e consente di produrre una potenza di circa 50 Watt. Ogni singola cella fotovoltaica (FV) può produrre circa 1,5 Watt di potenza a una temperatura standard di 25 °C. L'energia prodotta dal modulo prende il nome di **potenza di picco (Wp)**.

La modularità dei pannelli fotovoltaici consente una vasta flessibilità di impiego. Le celle possono essere combinate in serie in base alle esigenze energetiche dell'utenza o alle caratteristiche della superficie destinata all'impianto.

L'energia elettrica in uscita dal modulo viene passa per dispositivi **balance of system** per adattare la corrente e trasformarla in corrente alternata tramite il sistema di **inverter**. L'energia così modificata è introdotta nella rete elettrica per alimentare il consumo di elettricità locale (sistemi isolati in case o imprese) o per essere computata a credito da uno speciale contatore del gestore della rete elettrica.

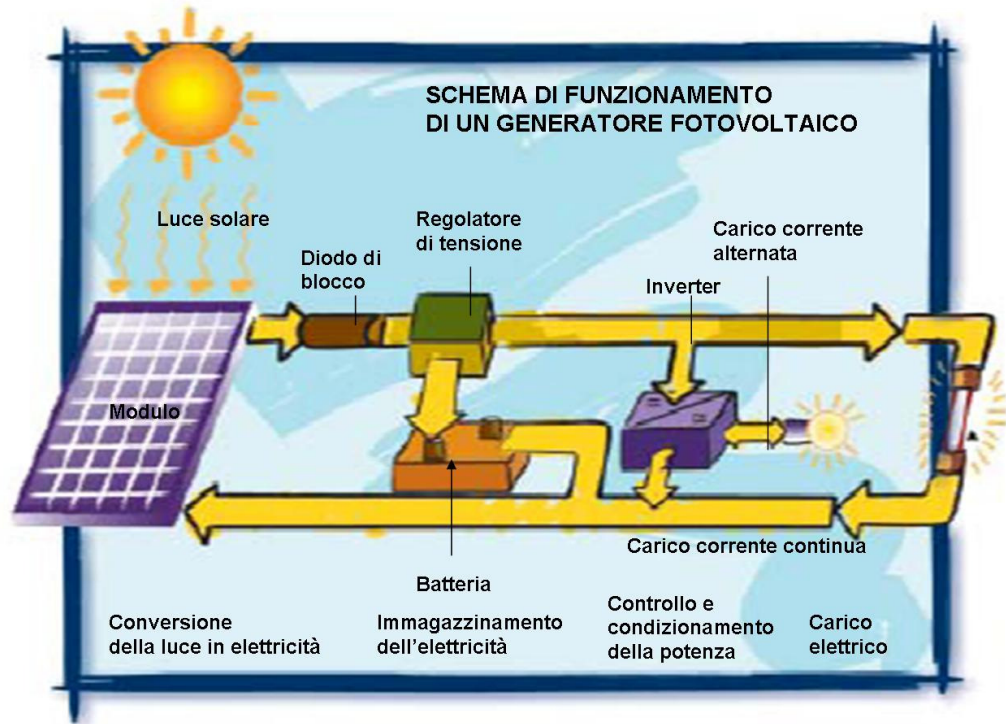


Figura 21 – Schema di funzionamento di un generatore fotovoltaico

5.2.2. Dimensionamento

Dati climatici:

- Latitudine Nord 38° 7'
- Latitudine Est 13°21'
- Altitudine s.l.m. 14 m.
- Zona climatica B
- Gradi giorno 751
- Temperatura esterna di progetto 5 °C

Temperature esterne medie mensili [°C]

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
T	11,1	11,6	13,1	15,5	18,8	22,7	25,5	25,4	23,6	19,8	16,0	12,6

Irradiazione solare giornaliera media mensile [MJ/m²]

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
OR	7,7	11,1	15,7	20,8	25,2	27,9	27,9	25,2	19,6	13,5	9,3	6,9
NE	2,8	4,3	6,7	9,8	12,9	14,7	14,4	12,1	8,4	5,2	3,3	2,5
E	5,8	8,1	10,9	13,8	16,1	17,5	17,7	16,6	13,6	9,8	7,1	5,3
SE	9,5	11,4	13,1	13,9	14,1	14,0	14,6	15,8	15,4	13,4	11,3	8,7
S	11,9	13,3	13,4	11,7	10,1	9,3	9,8	12,0	14,5	15,2	14,1	11,0

SO	9,5	11,4	13,1	13,9	14,1	14,0	14,6	15,8	15,4	13,4	11,3	8,7
O	5,8	8,1	10,9	13,8	16,1	17,5	17,7	16,6	13,6	9,8	7,1	5,3
NO	2,8	4,3	6,7	9,8	12,9	14,7	14,4	12,1	8,4	5,2	3,3	2,5
N	2,4	3,2	4,3	5,9	8,4	10,3	9,5	6,8	4,6	3,6	2,7	2,2

Irradianza media sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione: **322,9 W/m²**

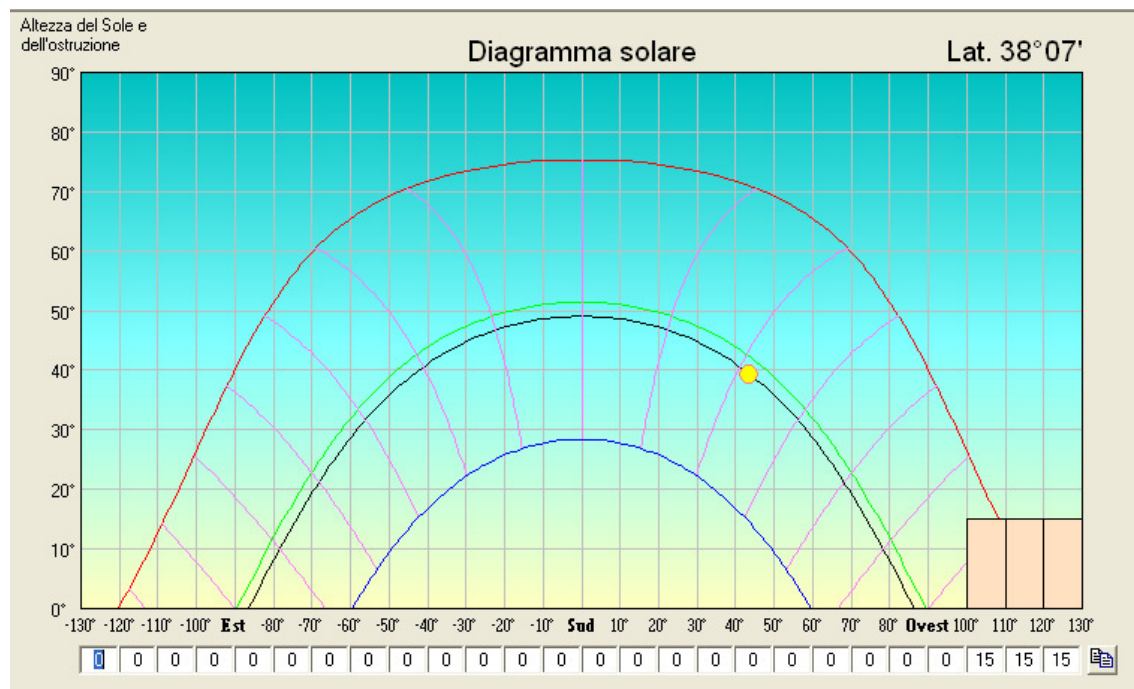
DATI CAMPO FOTOVOLTAICO

Dati piano di posa:

- Superficie disponibile 120 m²
- Inclinazione rispetto all'orizzontale (α): 26,5°
- Coefficiente di riflessione (ρ)

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
ρ	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07

Descrizione ombreggiamento:



- Solstizio d'estate (21 giugno)
- Equinozio di primavera e autunno (21 marzo e 23 settembre)
- Solstizio d'inverno (21 dicembre)
- Oggi (15 marzo)

Numero di pannelli fotovoltaici: 90

Potenza di picco: 15750 W

Dati posizionamento pannelli

Orientamento rispetto al Sud (γ): - 40°

Inclinazione rispetto al piano orizzontale (β): 26,5°

Inclinazione rispetto al piano di posa (ϑ): 0°

Dati pannello fotovoltaico

Descrizione: ADVENT SOLAR - Moduli ADVENT
Tipo: Policristallino
Potenza di picco: 75 W
Superficie: 1,312 m²
Superficie occupata: 1,312 m²

Dati efficienza impianto

Efficienza del pannello: 0,133
Efficienza dell'inverter: 0,9
Fattore di riduzione delle prestazioni: 0,9

Dati sistemi ausiliari

Potenza elettrica assorbita: 100 W
Ore di funzionamento annuali: 2000 ore

Producibilità elettrica campo fotovoltaico

Mese	Irradiazione mensile [kWh/m ²]	Energia mensile prodotta [kWh]	Energia mensile consumata [kWh]	Energia mensile netta [kWh]
Gennaio	89,56	1.142,53	9,34	1.133,19
Febbraio	107,50	1.371,40	11,21	1.360,19
Marzo	153,64	1.960,09	16,03	1.944,06
Aprile	179,89	2.294,99	18,76	2.276,22
Maggio	210,09	2.680,21	21,91	2.658,30
Giugno	217,58	2.775,77	22,70	2.753,07
Luglio	228,32	2.912,82	23,82	2.889,01
Agosto	219,89	2.805,29	22,94	2.782,35
Settembre	181,30	2.312,88	18,91	2.293,97
Ottobre	142,46	1.817,38	14,86	1.802,52
Novembre	104,62	1.334,73	10,91	1.323,81
Dicembre	82,52	1.052,76	8,61	1.044,15
TOTALE ANNUO	1.917,37	24.460,83	200,00	24.260,83

Verifica superficie disponibile

Superficie totale occupata dai pannelli:	118,08	m²
Superficie disponibile:	120,0	m²
Emissioni di CO2 evitate	4.847	kg/anno

5.3. CONCLUSIONI

Analizzando i dati ottenuti dai calcoli di progetto si evince che:

- la produzione di energia annua del fotovoltaico: **24.260,83 kWh**
- il consumo di energia elettrica della pompa di calore: **6.842,1 kWh/anno**

Quindi la produzione di energia elettrica del campo fotovoltaico è in grado di supportare il funzionamento della pompa di calore coprendo ben il 30% del fabbisogno di energia elettrica.

CAPITOLO 6

6. PROGETTAZIONE STRUTTURALE

6.1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli sono condotti, osservando le seguenti istruzioni di buona tecnica:

NTC 2008 - NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (DM 14/01/2008)
CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n. 617

Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.

ORDINANZA 3274/2003 del 20/03/2003

Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica.

D.M. 09/01/1996

Norme per il calcolo, l'esecuzione e il collaudo delle strutture in C.A., normale e precompresso e per le strutture metalliche;

D.M. n. 29 del 16/01/2006 circolari luglio e ottobre

Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni, dei carichi e dei sovraccarichi;

EUROCODICE 2 (UNI ENV 1992/1/1)

Progettazione delle strutture in cemento armato

EUROCODICE 3 (UNI ENV 1993/1/1)

Progettazione delle strutture di acciaio;

CNR – UNI 10011/1985

Costruzioni in acciaio: istruzioni per il calcolo, l'esecuzione e la manutenzione;

LEGGE 5/11/1971 N. 1086

Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, e a struttura metallica;

Le comuni norme di Scienza e Tecnica delle Costruzioni.

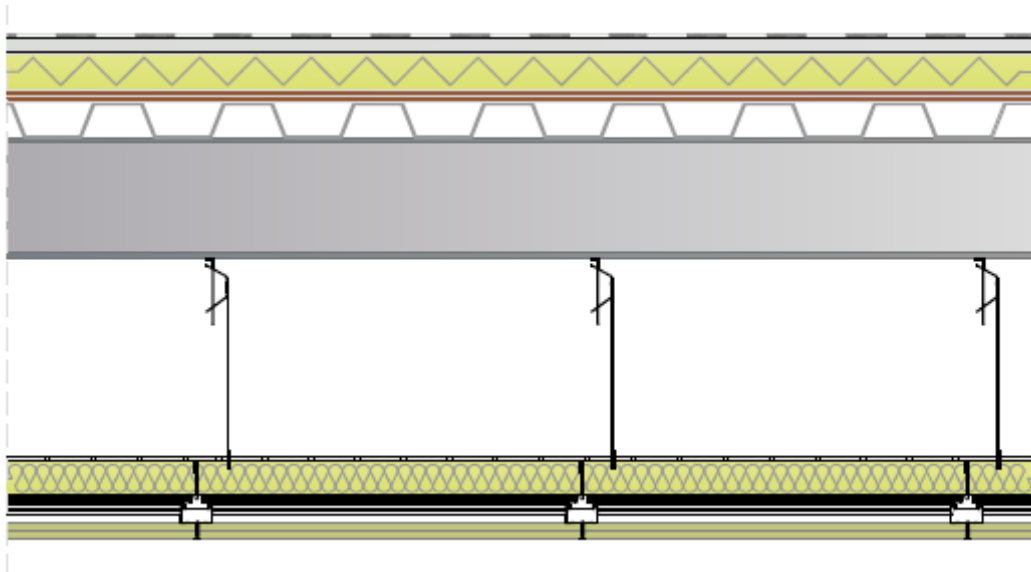
6.2. AZIONI SULLE COSTRUZIONI

Le azioni da considerarsi nelle costruzioni comprendono in generale:

- carichi permanenti;
- peso proprio della struttura;
- peso relativo alla finitura;
- carichi variabili per gli edifici;
- carichi di servizio, carico di neve;
- pressione cinetica del vento;
- forze dinamiche (sisma);
- azioni accidentali.

Attraverso l'analisi di questi carichi, sia per l'acciaio che per il calcestruzzo, dimensioneremo la parte di struttura a travi-pilastrati.

6.3. CALCOLO STRUTTURA IN ACCIAIO



Per compiere il calcolo di progetto o di verifica dei solai è necessario prima di tutto eseguire l'analisi dei carichi, costituiti dal peso permanente e dal sovraccarico.

6.4. ANALISI DEI CARICHI PERMANENTI

Sono considerati carichi permanenti quelli non rimovibili durante il normale esercizio della costruzione, come tamponature esterne, divisori interni, isolamenti, massetti, pavimenti e rivestimenti del piano di calpestio, intonaci, controsoffitti, impianti, ecc., ancorché in qualche caso sia necessario considerare situazioni transitorie in cui essi non siano presenti.

CARICHI PERMANENTI						
PESI PROPRI	N.	STRATI	PESO DI VOLUME [kg/m ³]	SPESS . [cm]	PESO [kN/m ²]	PESO [kg/m ²]
PESO RELATIVO ALLA FINITURA	1	Rivestimento in ceramica		0,65	0,200	20,00
	2	Pavilastra F 145 Knauf		2,50	0,268	26,80
	3	Feltro OVER-FOIL RS		0,30	0,001	0,12
	4	Pannelli in lana di legno mineralizzata CELENIT N		4,00	0,160	16,00
				2,00	0,100	10,00
	5	Pannelli in truciolare FIBRALEGNO LD	160,00	2,00	0,032	3,20
	6	Lamiera grecata tipo PROFILIA A55 P800 G6		0,10	0,120	11,97
	7	Intercapedine d'aria	-	28,50	-	-
	8	Lana minerale TERVOL	80,00	5,00	0,040	4,00
9	Controsoffitto thermacustic Knauf		2,50	0,046	4,60	
PESO PROPRIO STRUTTURALE (g)	10	Travi secondarie in acciaio IPE 160 Fe360		16,00	0,158	15,80
	11	Travi principali in acciaio IPE 270 Fe510		24,00	0,361	36,10

PESO PROPRIO GRAVANTE SULLA STRUTTURA SECONDARIA	47,55	0,97	96,69
PESO PROPRIO GRAVANTE SULLE TRAVI PRINCIPALI		1,12	112,49
PESO PROPRIO GRAVANTE SUI PILASTRI		1,49	148,59

6.5. ANALISI DEI CARICHI VARIABILI

Secondo il prospetto 5.1 del D.M. 16-01-1996:

Cat.	TIPO DI LOCALE	Verticali ripartiti kn/m ²	Verticali concentrati kN	Orizzontali lineari kN/m
1	Ambienti non suscettibili di affollamento (locali abitazione e relativi servizi, uffici non aperti al pubblico) e relativi terrazzi a livello praticabili	2,00	2,00	1,00
2	Ambienti suscettibili di affollamento (ristoranti, caffè, banche, ospedali, uffici aperti al pubblico, caserme) e relative terrazze a livello praticabili	3,00	2,00	1,00
3	Ambienti suscettibili di grande affollamento (sale convegni, cinema, teatri, chiese, negozi, tribune con posti fissi) e relativi terrazzi a livello praticabili	4,00	3,00	1,50
4	Sale da ballo, palestre, tribune libere, aree di vendita con esposizione diffusa (mercati, grandi magazzini, librerie, ecc.) e relativi terrazzi a livello praticabili	5,00	4,00	3,00
5	Balconi, ballatoi e scale comuni (esclusi quelli pertinenti alla cat. 4)	4,00	2,00	1,50
6	Sottotetti accessibili (per sola manutenzione)	1,00	2,00	1,00
7	Coperture: non accessibili accessibili (secondo cat. di appartenenza da 1 a 4) speciali (impianti, eliporti, altri) secondo il caso	0,50 --- ---	1,20 --- ---	--- --- ---
8	Rimesse e parcheggi per autovetture di peso a pieno carico fino a 30 kN per transito di automezzi di peso superiore a 30 kN (da valutarsi caso per caso)	2,50	2x10,0	1,00
9	Archivi, biblioteche, magazzini, depositi, laboratori, officine e simili: da valutarsi secondo il caso	≥ 6,00	6,00	1,00

6.5.1. CARICO DA NEVE

Il carico neve sulle coperture sarà valutato con la seguente espressione:

$$q_s = m_i \times q_{sk}$$

Dove:

q_s carico della neve sulla copertura

m_i coefficiente di forma della copertura

q_{sk} valore di riferimento del carico della neve al suolo

Il carico agisce in direzione verticale ed è riferito alla proiezione orizzontale della superficie della copertura.

6.5.1.1. Carico di neve al suolo

Il carico neve al suolo dipende dalle condizioni locali di clima e di esposizione, considerata la variabilità alle precipitazioni nevose da zona a zona.

Dal momento che la località presa in esame è posta a quota inferiore a 1500 m sul livello del mare, il valore di carico neve al suolo non dovrà essere assunto minore di quello calcolato in base alle espressioni nel seguito riportate, cui corrispondono valori con periodo di ritorno di circa 200 anni (vedi mappa in figura).



Figura 22 – Mappa delle zone per carico neve

ZONA 1

ZONA 1	q_{sk}	
$a_s \leq 200$ m	1,6	KN/m ²
$200m < a_s \leq 750$ m	$1,6 + 3(a_s - 200)/1000$	KN/m ²
$a_s > 750$ m	$3,25 + 8,5(a_s - 750)/1000$	KN/m ²

ZONA 2

ZONA 2	q_{sk}	
$a_s \leq 200$ m	1,15	KN/m ²
$200m < a_s \leq 750$ m	$1,15 + 2,6(a_s - 200)/1000$	KN/m ²
$a_s > 750$ m	$2,58 + 8,5(a_s - 750)/1000$	KN/m ²

ZONA 3

ZONA 3	q_{sk}	
$a_s \leq 200$ m	0,052	KN/m ²
$200m < a_s \leq 750$ m	$0,75 + 2,2(a_s - 200)/1000$	KN/m ²
$a_s > 750$ m	$1,96 + 8,5(a_s - 750)/1000$	KN/m ²

Dove a_s è la quota del suolo sul livello del mare nel sito di realizzazione dell'edificio.

6.5.1.2. coefficiente di forma per il carico neve

Coeff. di forma	$0^\circ \leq a \leq 15^\circ$	$15^\circ < a \leq 30^\circ$	$30^\circ < a \leq 65^\circ$	$a \leq 60^\circ$
m_1	0,8	0,8	$0,8 \times (60 - a)/30$	0
m_2	0,8	$0,8 + 0,4 \times (a - 15)/30$	$(60 - a)/30$	0
m_3	$0,8 + (0,8 \times a)/29$	$0,8 + (0,8 \times a)/30$	1,6	da valutare
m_3^*	0,8	$0,8 \times (60 - a)/45$		0

6.5.1.3. neve sporgente dall'estremità di una copertura

Si deve tenere conto anche dell'effetto della neve sporgente all'estremità, mediante l'applicazione di un carico di punta:

$$q_c = (k \times m_1^2 \times q_{sk}^2)/g$$

Dove:

- q_c carico per unità di lunghezza dovuto alla sporgenza della neve;
- m_i coeff. di forma appropriata al tipo di copertura;
- q_{sk} carico della neve al suolo (KN/m²);

k coeff. che tiene conto della forma irregolare della neve, clima, inclinazione falda, materiale, del manto di copertura (convenzionalmente $k = 1$);

g densità della neve (convenzionalmente 3 KN/m^3)

6.5.1.4. carico neve su protezioni paraneve ed altri ostacoli sulla copertura

$$F_s = q_s \times b \times \sin\alpha$$

Dove:

q_s $m_1 \times q_{sk} =$ carico della neve sulla copertura

b distanza dal colmo

a angolo di inclinazione della falda

a_s [m]	b [m]	α [°]	g [KN/m^3]	m_i	q_{sk} [KN/m^2]	q_s	q_c	F_s	q_{s_tot}
14,00	20,70	0	3,00	0,80	0,05	0,04	0,0006	0,00	0,04

Poiché la nostra copertura è piana, il valore di F_s è uguale a 0 ($\sin 0 = 0$).

6.5.2. AZIONI DEL VENTO

Il vento, la cui direzione si considera di regola orizzontale, esercita sulle costruzioni azioni che variano nel tempo provocando, in generale, effetti dinamici.

Per le costruzioni usuali tali azioni sono convenzionalmente ricondotte alle azioni statiche del vento che si traducono in pressioni e depressioni agenti normalmente alle superfici, sia esterne che interne, degli elementi che compongono la costruzione.

L'azione del vento sul singolo elemento viene determinata considerando la combinazione più gravosa della pressione agente sulla superficie esterna e della pressione agente sulla superficie interna dell'elemento.

Nel caso di costruzioni o elementi di grande estensione, si deve inoltre tenere conto delle azioni tangenti esercitate dal vento.

L'azione d'insieme esercitata dal vento su una costruzione è data dalla risultante delle azioni sui singoli elementi, considerando di regola, come direzione del vento, quella corrispondente ad uno degli assi principali della pianta della costruzione.

6.5.2.1. pressione del vento

La pressione del vento è data dall'espressione:

$$p = q_{ref} * C_e * C_p * C_d$$

Dove

q_{ref} pressione cinetica di riferimento

C_e coefficiente di esposizione

C_p coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento.

C_d coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alle vibrazioni strutturali.

6.5.2.2. azione tangente del vento

L'azione tangente per unità di superficie parallela alla direzione del vento è data dall'espressione

$$p_f = q_{ref} * c_e * c_f$$

Dove

c_f coefficiente d'attrito funzione della scabrezza della superficie sulla quale il vento esercita l'azione tangente.

6.5.2.3. pressione cinetica di riferimento

La pressione cinetica di riferimento q_{ref} [in N/m²] è data dall'esposizione

$$q_{ref} = v_{ref}^2 / 1.6$$

nella quale v_{ref} è la velocità di riferimento del vento (in m/s).

La velocità di riferimento v_{ref} è il valore massimo, riferito ad un intervallo di ritorno di 50 anni, della velocità del vento misurata a 10 m dal suolo su un terreno di II categoria e mediata su 10 minuti.

Categorie di esposizione del sito	k_r	z_0 (m)	z_{min} (m)
I	0.17	0.01	2
II	0.19	0.05	4
III	0.20	0.10	5
IV	0.22	0.30	8
V	0.23	0.70	12

In mancanza di adeguate indagini statistiche è data dall'espressione

	V_{ref}	
per $a_s < a_0$	$V_{ref,0}$	m/s
per $a_s > a_0$	$V_{ref,0} + k_a * (a_s - a_0)$	m/s

Dove:

$v_{ref,0}$, a_0 , k_a = dati dalla tabella in funzione della zona, definite in figura, ove sorge la costruzione;

a_s = l'altitudine sul livello del mare (in m) del sito ove sorge la costruzione.

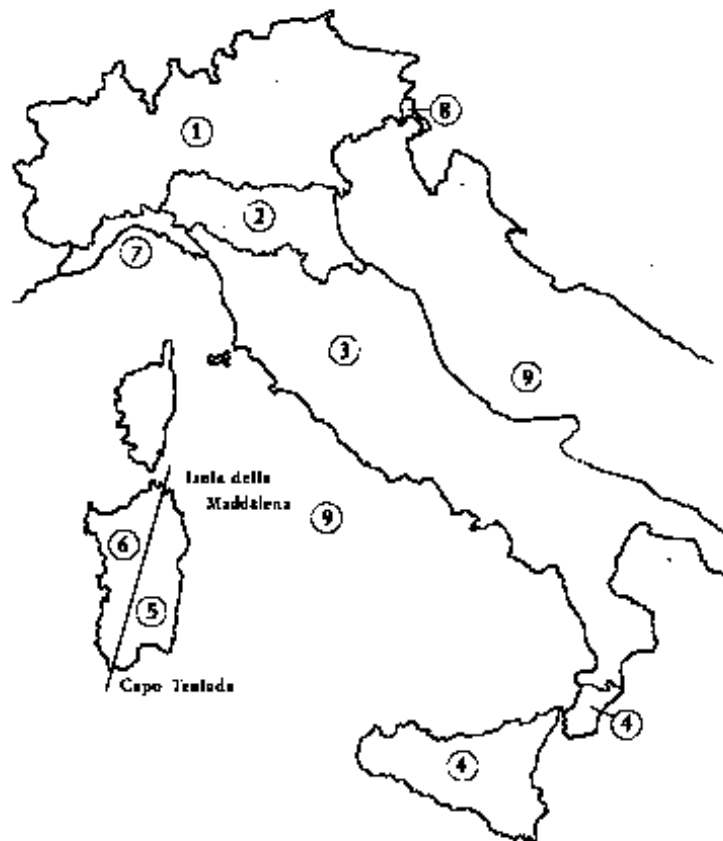


Figura 23 – Mappa delle zone per azione del vento

Zona	Descrizione	$V_{ref,0}$ (m/s)	a_0 (m)	k_a (1/s)
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0.012
2	Emilia Romagna	25	750	0.024
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Campania, Puglia, Basilicata, Calabria (esclusa Reggio Calabria)	27	500	0.030
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0.030
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'isola di Maddalena)	28	750	0.024
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'isola di Maddalena)	28	500	0.030
7	Liguria	29	1000	0.024
8	Provincia di Trieste	31	1500	0.012
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) a mare aperto	31	500	0.030

Ricavo i dati di $v_{ref,0}$, a_0 , k_a che fanno riferimento alla Zona 1

$v_{ref,0} =$	28	m/s
$a_0 =$	500	m
$k_a =$	0,030	1/s

L'altitudine sul livello del mare della Cala di Palermo è di 14 m s.l.m.

$a_s =$	14	m	<	a_0
---------	----	---	---	-------

dunque per determinare la v_{ref} utilizzo la seguente relazione: $q_{ref} = v_{ref}^2 / 1.6$

$v_{ref} =$	28	m/s
$q_{ref} =$	490,00	N/m ²

6.5.2.4. coefficiente di esposizione

Il coefficiente di esposizione (c_e) dipende dall'altezza della costruzione (z) sul suolo, dalla rugosità e dalla topografia del terreno, dall'esposizione del sito ove sorge la costruzione.

È dato dalla formula

	$C_e(z)$
per $z > z_{min}$	$k_r * \sqrt{[c_t * \ln(z/z_0)][7 + c_t * \ln(z/z_0)]}$
per $z < z_{min}$	$C_e(z_{min})$

Dove:

k_r , z_0 , z_{min} = assegnati in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

c_t = coefficiente di topografia.

In mancanza di analisi che tengano in conto sia della direzione di provenienza del vento sia delle variazioni di rugosità del terreno, la categoria di esposizione è assegnata in funzione della posizione geografica del sito ove sorge la costruzione e della classe di rugosità del terreno.

Classi di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15 m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusivi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli o con al più rari ostacoli isolati (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno.

Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe di rugosità A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione.

Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi rigorose, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

N.B. Nelle fasce entro i 40 km dalla costa delle zone 1, 2, 3, 4, 5 e 6, la categoria di esposizione è indipendente dall'altitudine del sito.

ZONE 1, 2, 3, 4, 5						
	mare	costa		500 m	750 m	
	2 Km	10 Km	30 Km			
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1, 2, 3, 4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2, 3, 4, 5 Categoria IV in zona 1						

Scelta la classe di rugosità del terreno posso andare a determinare la

La classe di esposizione risulta essere la II; in tabella vediamo a quali valori di k_r , z_0 , z_{min} corrisponde la classe II.

Categoria di esposizione del sito	k_r	z_0 (m)	z_{min} (m)
I	0.17	0.01	2
II	0.19	0.05	4
III	0.20	0.10	5
IV	0.22	0.30	8
V	0.23	0.7	12

$k_r =$	0,19	
$z_0 =$	0,05	m
$z_{min} =$	4	m
$C_t =$	1	

L'altezza della costruzione z è:

$z =$	20,7	m	>	z_{min}
-------	------	---	---	-----------

dunque per la formula (1) $c_{ev}(z)$:

$c_{ev}(z) =$	1,68
---------------	------

6.5.2.5. Edifici a pianta rettangolare con coperture piane, a falde inclinate

Per la valutazione della pressione esterna di elementi sopravvento, con inclinazione sull'orizzontale $0^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$ e per elementi sottovento (intendendo come tali quelli non direttamente investiti dal vento o quelli investiti da vento radente), si assumerà:

C_{pe}	
$0^\circ < \alpha < 20^\circ$	-0,4

Per la valutazione della pressione interna per costruzioni che presentano su due pareti opposte, normali alla direzione del vento, aperture di superficie non minore di 1/3 di quella totale, si assumerà:

$C_{pe} + C_{pi} =$	$\pm 1,2$	per gli elementi normali alla direzione del vento
$C_{pi} =$	$\pm 0,2$	per i rimanenti elementi
$C_p =$	1,2	

6.5.2.6. coefficiente di attrito

In assenza di più precise valutazioni suffragate da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento, si assumeranno i seguenti valori.

Superficie	Coefficiente d'attrito c_f
Liscia (acciaio, cemento a faccia liscia, ...)	0,01
Scabra (cemento a faccia scabra, catrame, ...)	0,02
Molto scabra (ondulata, costolata, piegata, ...)	0,04

Conoscendo i valori di q_{ref} , ce posso determinare l'azione tangente del vento (p_f)

$$p_f = q_{ref} * C_e * C_f$$

$C_f =$	0,01
$p_f =$	8,248

6.5.2.7. coefficiente dinamico

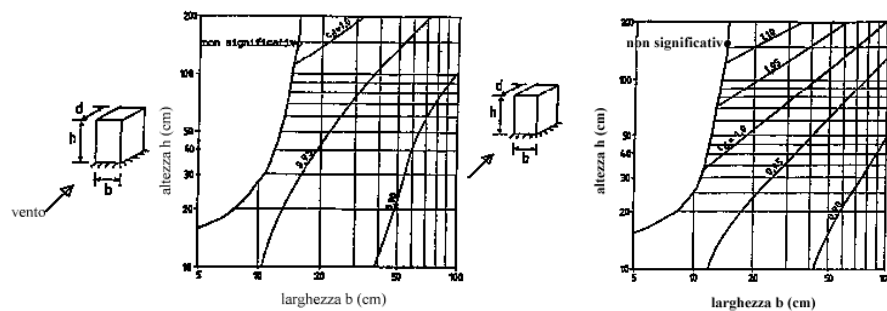
In mancanza di più precise valutazioni suffragate da opportuna documentazione, le seguenti figure forniscono il coefficiente dinamico degli edifici di altezza minore di 200 m.

$C_d =$	0,95
---------	------

Determino la pressione del vento (p)

$$P = q_{ref} * C_e * C_p * C_d$$

$p =$	940,30	N/m^2
-------	--------	---------



In conclusione i CARICHI VARIABILI sono riportati nel seguente prospetto:

CARICHI VARIABILI				
	N.	TIPO DI CARICO	PESO [kN/m ²]	PESO [kg/m ²]
CARICHI VARIABILI (q)	1	Ambienti non suscettibili di affollamento (locali abitazione e relativi servizi, uffici non aperti al pubblico)	2,00	200,00
	2	neve	0,04	4,22
	3	vento	0,94	94,03
	4	sisma		
TOTALE			2,98	298,25

PESO TOTALE GRAVANTE SULLE TRAVI SECONDARIE	3,95	394,94
PESO TOTALE GRAVANTE SULLE TRAVI PRINCIPALI	4,11	410,74
PESO TOTALE GRAVANTE SUI PILASTRI	4,47	446,84

6.6. DIMENSIONAMENTO

6.6.1. TRAVE SECONDARIA – S.L.E.

Caratteristiche acciaio

Fe 360		
f_y	235	N/mm ²
E	206.000	N/mm ²
σ_{AMM}	160	N/mm ²
σ_R	360.000	kN/m ²

Analisi dei carichi

$$F_d = \gamma_g * G_k + \gamma_p * P_k + \gamma_q * Q_k$$

G_k ; valore caratteristico delle azioni permanenti	0,97	kN/m ²	
P_k ;		kN/m ²	
Q_k ;	2,98	kN/m ²	
γ_g ;	1,40	}	(EC3 par. 2.3.4)
γ_p ;	1,50		
γ_q ;	1,50		

$F_d =$	5,83	kN/m ²
i (interasse)=	1,20	m
$q = F_d * i$	6,99	KN/m

Procedimento di calcolo

l (luce)=	4,16	m
$M_{MAX} = ql^2/8$	15,13	KNm
$y_{MAX} = l/250$	0,02	m
$y = (5/384) * (q * l^4 / E * J_x)$		

Verifica delle travi

Fe 360	DATI DEL PROFILO	J_x ; momento di inerzia	869	cm ⁴
		h	160	mm
		Sezione	20,09	cm ²
		Peso	15,80	kg/m
		W_X ; resistenza	108,70	cm ³
		σ	139.164,77	kN/m ²
		q	7,15	kN/m
		M_{MAX}	15,47	kN/m
		y	0,016	m
IPE 160	VERIFICA	$y < y_{MAX}$	VERIFICATO	

6.6.2. TRAVE SECONDARIA – S.L.U.

Procedimento di calcolo

l (luce)	4,16	m
$M_{MAX} = ql^2/8$	15,13	kNm
$W_{MIN} = (M_{MAX} * Y_S) / f_y$		

FERRO	$f_y [N/mm^2]$
Fe 360	235

$Y_S =$	1,10
---------	------

FERRO	$W_{MIN} [cm^3]$
Fe 360	70,81

Verifica delle travi

Fe 360	DATI DEL PROFILO	J_x ; momento di inerzia	869	cm^4
		h	160	mm
		Sezione	20,09	cm^2
		Peso	15,80	kg/m
		W_x ; resistenza	108,70	cm^3
IPE 160	VERIFICA	$W_x \geq W_{MIN}$	VERIFICATO	

6.6.3. TRAVE SECONDARIA DI BORDO

Analisi dei carichi

Q=	0,58	KN/m
P=	1,79	KN/m
P+Q=	2,37	KN/m

Fe 360 IPE 160	DATI DEL PROFILO	J _x ; momento di inerzia	869	cm ⁴
		h	160	mm
		Sezione	20,09	cm ²
		Peso	15,80	kg/m
		W _x ; resistenza	108,70	cm ³
		J _x	0,00001	m ⁴

E=	206.000,00	N/mm ²	206.000.000	kN/m ²
L=	4,16	m		

6.6.3.1. Combinazioni di carico

Ipotesi 1

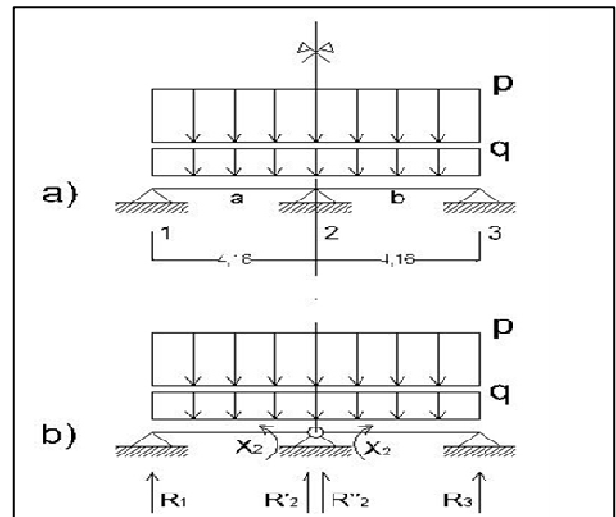
Φ ₂₂	1,548692
Φ ₂₀	0,007939

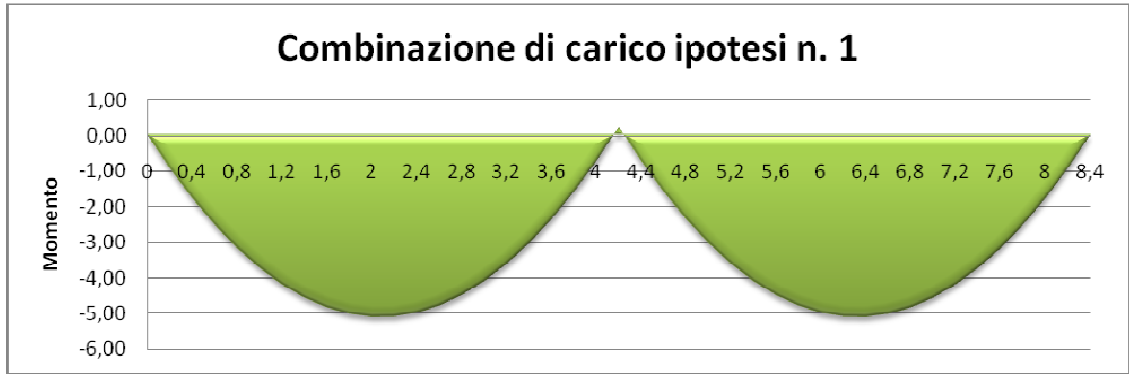
Matrice di rigidità	Noti
1,5487	-0,0079

Matrice inversa	Noti
0,69	-0,0079

X ₂	-0,004	kNm
----------------	--------	-----

R ₁	4,928	kNm	+	V _{a1}
R' ₂	,930	kNm	-	V _{a2}
R'' ₂	4,930	kNm	+	V _{b2}
R ₃	4,928	kNm	-	V _{b3}





Ipotesi 2

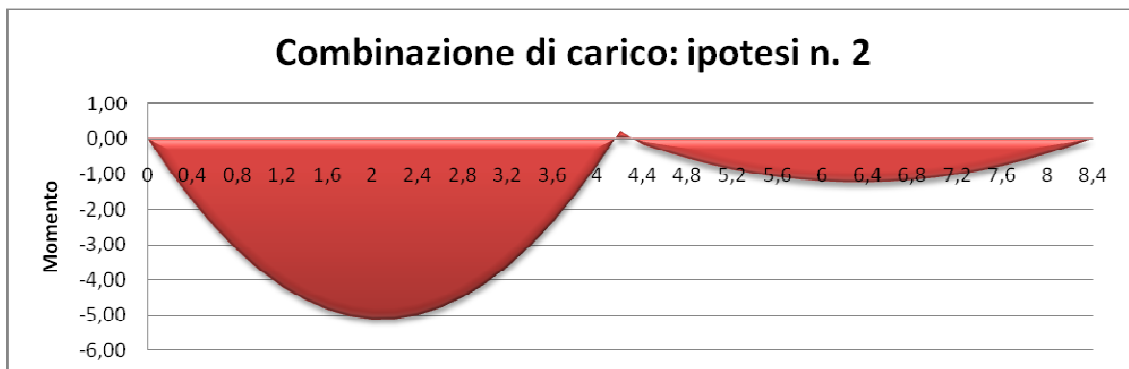
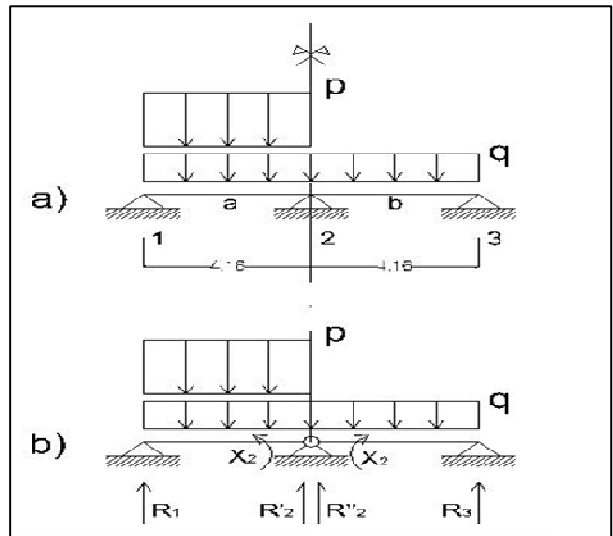
Φ_{22}	1,548692
Φ_{20}	0,004941

Matrice di rigidezza	Noti
1,548692	-0,004941

Matrice inversa	Noti
0,646	-0,004941

X_2	-0,003	kNm
-------	--------	-----

R_1	4,928	kNm	+	V_{a1}
R'_2	4 930	kNm	-	V_{a2}
R''_2	1,207	kNm	+	V_{b2}
R_3	1,206	kNm	-	V_{b3}



Ipotesi 3

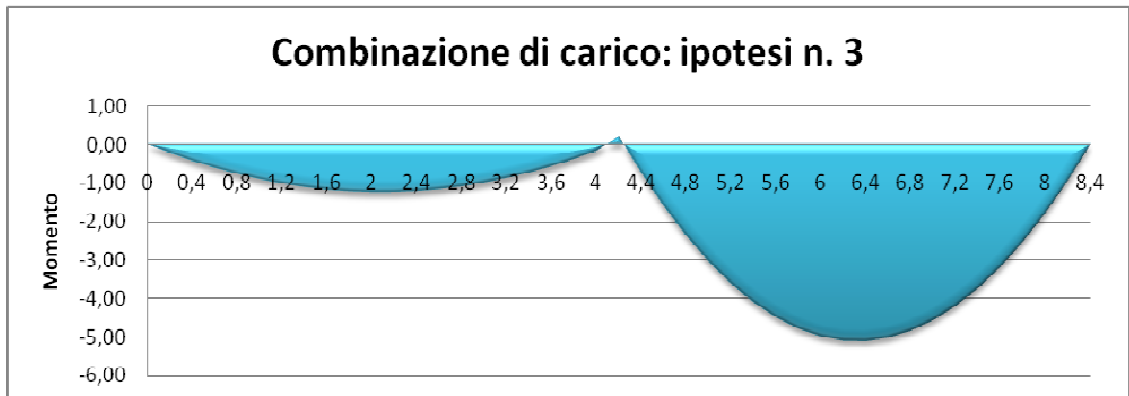
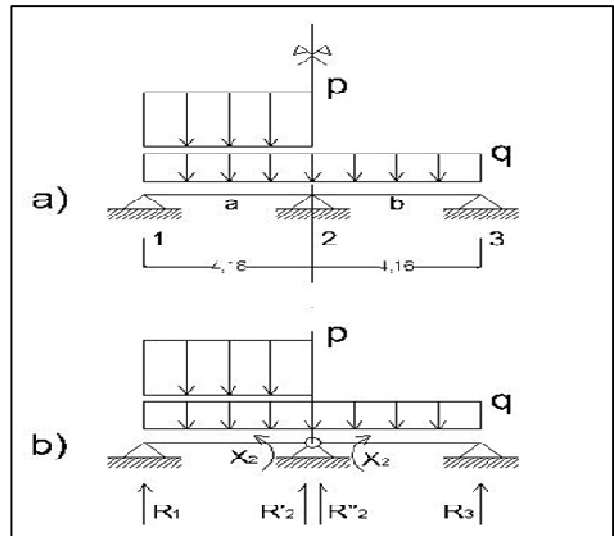
Φ_{22}	1,548692
Φ_{20}	0,004941

Matrice di rigidezza	Noti
1,548692	-0,004941

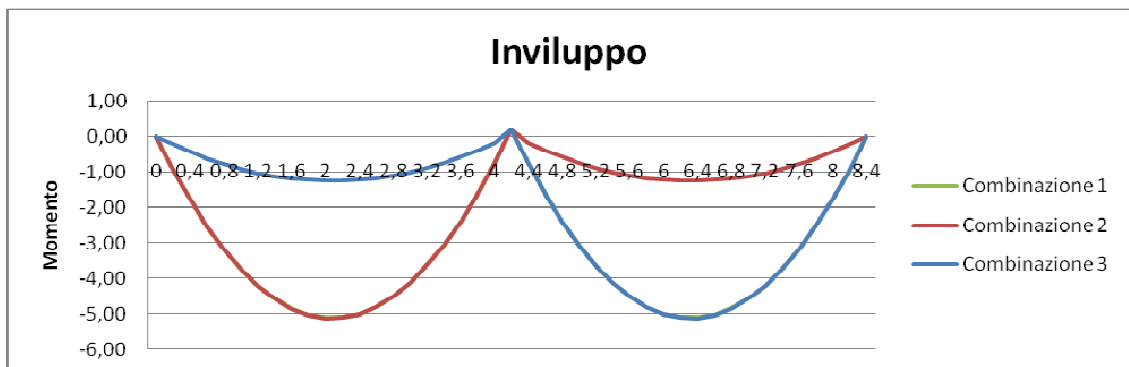
Matrice inv rsa	Noti
0,646	-0,004941

X_2	-0,003	kNm
-------	--------	-----

R_1	1,206	kNm	+	V_{a1}
R'_2	1,207	kN	-	V_{a2}
R''_2	4,930	kNm	+	V_{b2}
R_3	4,928	kNm	-	V_{b3}



6.6.3.2. Involuppo



6.6.4. TRAVE SECONDARIA DI MEZZO

6.6.4.1. Analisi dei carichi

Q=	1,16	KN/m
P=	3,58	KN/m
P+Q=	4,74	KN/m

Fe 360 IPE 160	DATI DEL PROFILO	J _x ; momento di inerzia	869	cm ⁴
		h	160	mm
		Sezione	20,09	cm ²
		Peso	15,80	kg/m
		W _x ; resistenza	108,70	cm ³
		J _x	0,00001	m ⁴

E=	206.000,00	N/mm ²	206.000.000	kN/m ²
L=	4,16	m		

6.6.4.2. Combinazione di carico: ipotesi 1

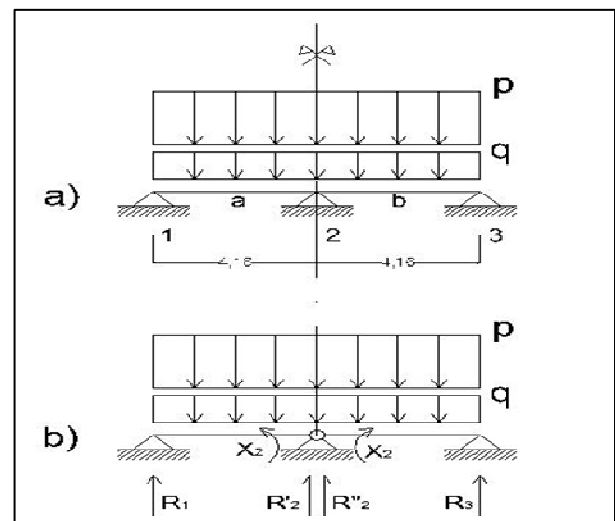
Φ ₂₂	1,548692
Φ ₂₀	0,015877

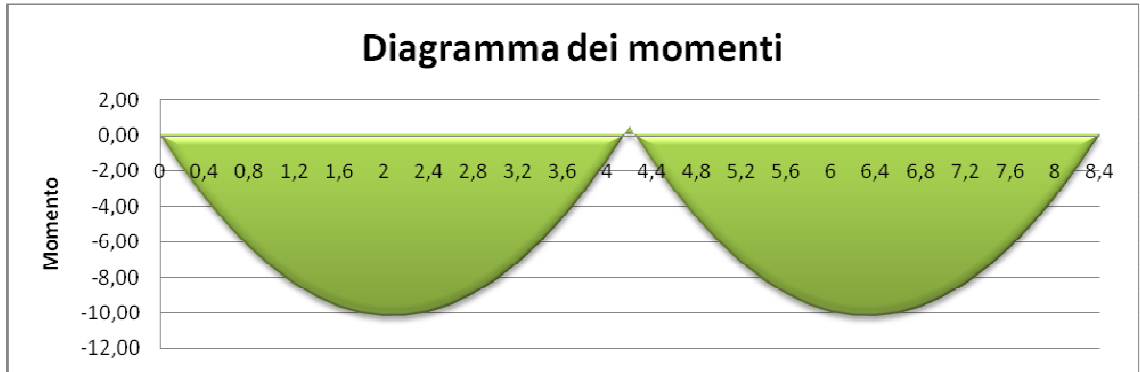
Matrice di rigidezza	No i
1,5487	-0,0159

Matrice inversa	Noti
0,69	-0,0159

X ₂	-0,010	kNm
----------------	--------	-----

R ₁	9,855	kNm	+	V _{a1}
R' ₂	9,860	kNm	-	V _{a2}
R'' ₂	9,860	kNm	+	V _{b2}
R ₃	9,855	kNm	-	V _{b3}





6.6.4.3. Combinazione di carico: ipotesi 2

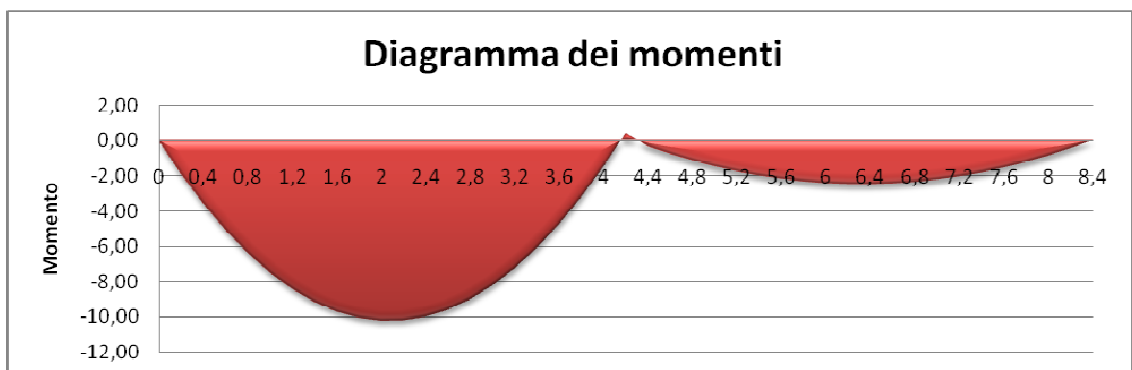
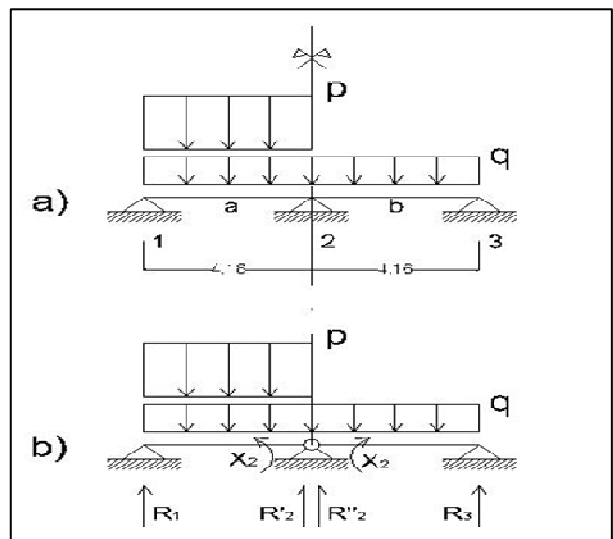
Φ_{22}	1,548692
Φ_{20}	0,009882

Matrice di rigidezz	Noti
1,548692	-0,009882

Matrice inversa	Noti
0,646	-0,009882

X_2	-0,003	kNm
-------	--------	-----

R_1	9,856	kNm	+	V_{a1}
R'_2	9,859	kNm	-	V_{a2}
R''_2	2,415	kNm	+	V_{b2}
R_3	2,412	k m	-	V_{b3}



6.6.4.4. Combinazione di carico: ipotesi 3

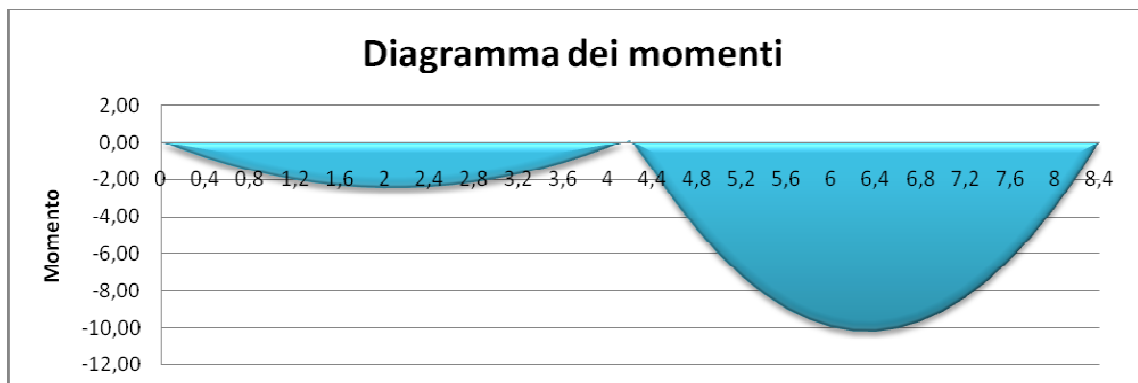
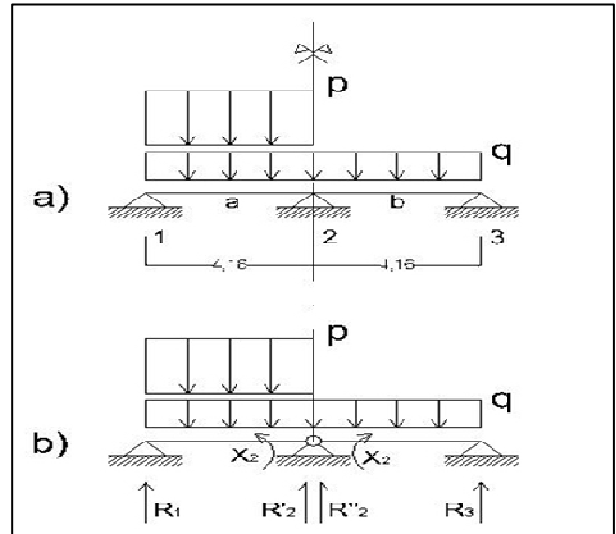
Φ_{22}	1,548692
Φ_{20}	0,009882

Matrice di rigidezza	N ti
1,548692	-0,009882

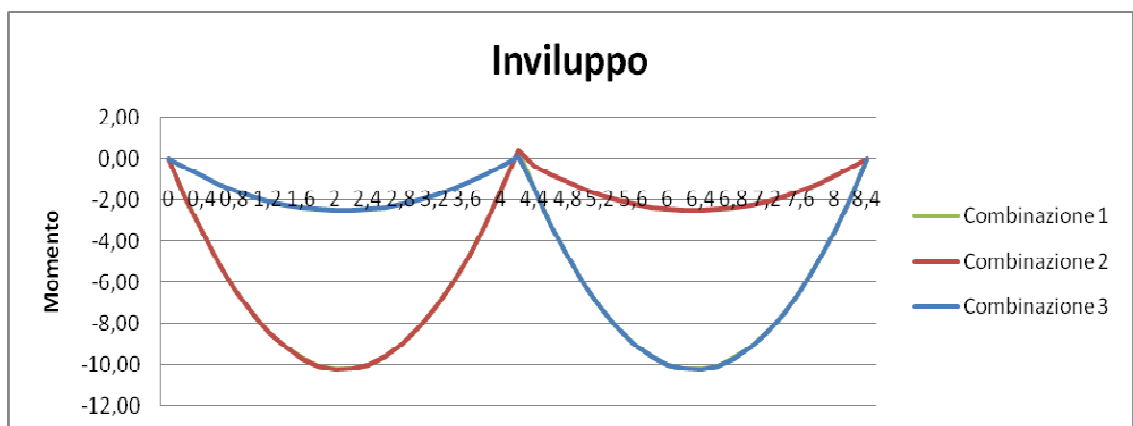
Matrice inversa	Noti
0,646	-0,009882

X_2	-0,003	kNm
-------	--------	-----

R_1	2,412	kNm	+	V_{a1}
R'_2	2,415	kNm	-	V_{a2}
R''_2	9,859	kNm	+	V_{b2}
R_3	9,85	kNm	-	V_{b3}



6.6.4.5. Involuppo



6.6.5. TRAVE PRINCIPALE – S.L.E.

6.6.5.1. Analisi dei carichi

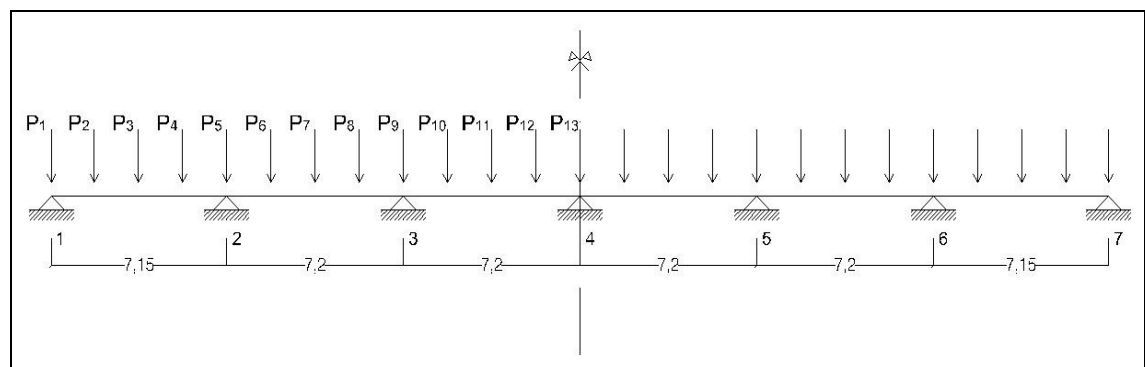
$$F_d = \gamma_g * G_k + \gamma_p * P_k + \gamma_q * Q_k$$

G_k ; valore caratteristico delle azioni permanenti	1,12	kN/m^2	
P_k ;		kN/m^2	
Q_k ;	2,98	kN/m^2	
γ_g ;	1,40		} (EC3 par. 2.3.4)
γ_p ;	1,50		
γ_q ;	1,50		

$F_d =$	6,05	kN/m^2
i (interasse)=	1,20	m
$q = F_d * i$	7,26	KN/m

Fe 360	DATI DEL PROFILO	J_x ; momento di inerzia	869	cm^4
		h	160	mm
		Sezione	20,09	cm^2
		Peso	15,80	kg/m
		W_x ; resistenza	108,70	cm^3
		J_x	0,00001	kN/m^2

6.6.5.2. Disposizione delle travi secondarie sulla trave principale



l (luce) =	7,20	m
l trave secondaria =	4,16	m

Peso		
P_1	15,43	kN

$P_2 - P_{18}$	30,85	kN
P'_{19}	15,43	kN

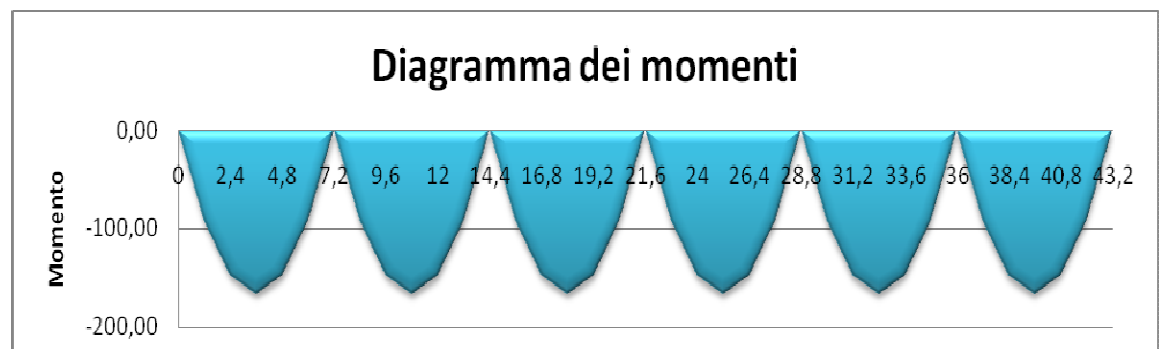
REAZIONI VINCOLARI		
V_1	92,557	kN
V_2	185,114	kN
V_3	185,114	kN
V'_4	92,557	kN
M_{MAX}	166,60	kNm ²
E	206.000,00	N/mm ²

$y_{MAX}=l/250$	0,03	m
-----------------	------	---

$$y = (5/384) * (q * l^4 / E * J_x)$$

$J_{MIN} = P_2 * l^3 / 48 * E * y_{MAX}$		
J_{MIN}	4043,75	cm ⁴

Fe 510 IPE 270	DATI DEL PROFILO	J_x ; momento di inerzia	5.790	cm ⁴
		h	270	mm
		Sezione	45,95	cm ²
		Peso	36,10	kg/m
		W_x ; resistenza	428,90	cm ³
		s	0,00	kN/m ²
		q	7,62	kN/m
		y	0,02	m
VERIFICA	$y < y_{MAX}$	VERIFICATO		



6.6.6. TRAVE PRINCIPALE – S.L.U.

6.6.6.1. Procedimento di calcolo

$M_{MAX} = ql^2/8$	166,60	kNm
$Y_s =$	1,10	

$$W_{MIN} = (M_{MAX} * Y_s) / f_y$$

FERRO	f_y [N/mm ²]
Fe 510	355

FERRO	W_{MIN} [cm ³]
Fe 510	516,23

6.6.6.2. Verifica delle travi

Fe 510	DATI DEL PROFILO	JX ; momento di inerzia	5.790	cm ⁴
		h	270	mm
		Sezione	45,95	cm ²
		Peso	36,10	kg/m
		WX ; resistenza	428,90	cm ³
IPE 270	VERIFICA	$W_x \geq W_{MIN}$	NON VERIFICATO	

Fe 510	DATI DEL PROFILO	Jx ; momento di inerzia	8.356	cm ⁴
		h	300	mm
		Sezione	53,81	cm ²
		Peso	42,20	kg/m
		W _x ; resistenza	557,10	cm ³
IPE 300	VERIFICA	$W_x \geq W_{MIN}$	VERIFICATO	

6.6.7. TRAVE PRINCIPALE COMBINAZIONI DI CARICO

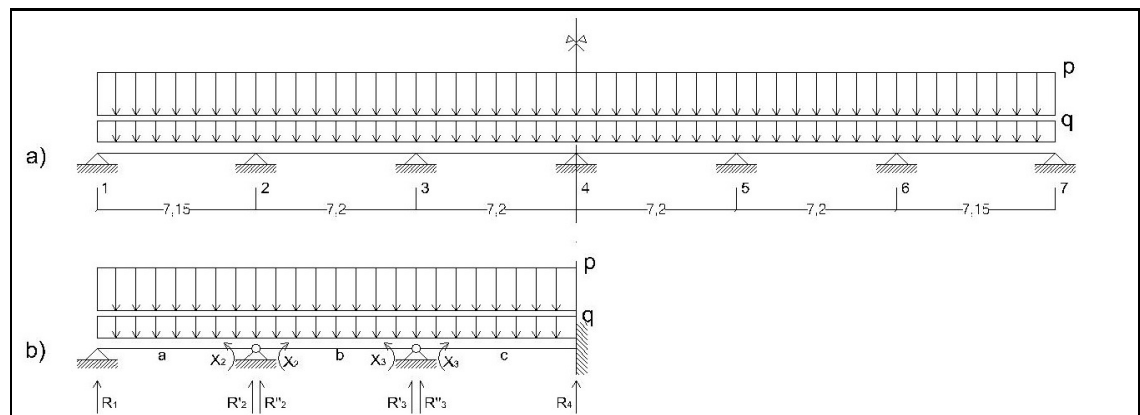
6.6.7.1. Analisi dei carichi

Q=	1,12	KN/m
P=	2,98	KN/m
P+Q=	4,11	KN/m

Fe 510 IPE 300	DATI DEL PROFILO	J _x ; momento di inerzia	8.356	cm ⁴
		h	300	mm
		Sezione	53,81	cm ²
		Peso	42,20	kg/m
		W _x ; resistenza	557,10	cm ³
		J _x	0,00008	m ⁴

E=	206.000,00	N/mm ²	206.000.000	kN/m ²
L=	7,20	m		

6.6.7.2. Combinazione di carico: ipotesi 1



φ_{22}	0,000279
φ_{23}	0,000070
φ_{32}	0,000070
φ_{33}	0,000244
φ_{20}	0,007422
φ_{30}	0,005567

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_{22} X_2 + \varphi_{23} X_3 + \varphi_{20} = 0 \\ \varphi_{32} X_2 + \varphi_{33} X_3 + \varphi_{30} = 0 \end{array} \right.$$

$$\varphi_{32} X_2 + \varphi_{33} X_3 + \varphi_{30} = 0$$

Matrice di rigidezza		Noti
0,0003	0,00007	-0,0074
0,0001	0,00024	-0,0056

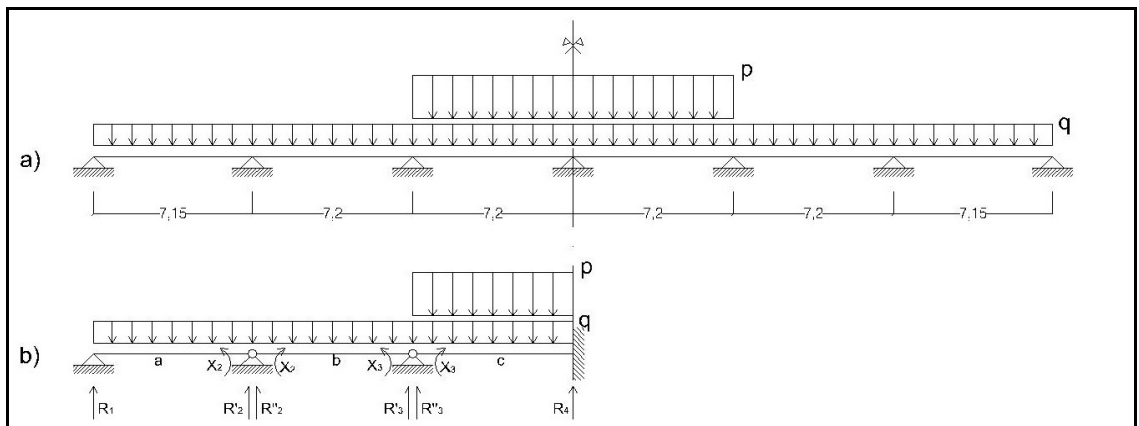
Matrice inversa		Noti
3861,97	-1103,42	-0,0074
-1103,42	4413,68	-0,0056

X_2	-22,521	kNm
X_3	-16,379	kNm
M_4	-18,4266	kNm

R_1	11,659	kNm	+	Va_1
R'_2	17,915	kNm	-	Va_2
R''_2	15,640	kNm	+	Vb_2
R'_3	13,934	kNm	-	Vb_3
R''_3	14,502	kNm	+	Vc_3
R'_4	15,071	kNm	-	Vc_4



6.6.7.3. Combinazione di carico: ipotesi 2



Φ_{22}	0,000279
Φ_{23}	0,000070
Φ_{32}	0,000070
Φ_{33}	0,000244
Φ_{20}	0,002033
Φ_{30}	0,002872

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_{22} X_2 + \Phi_{23} X_3 + \Phi_{20} = 0 \\ \Phi_{32} X_2 + \Phi_{33} X_3 + \Phi_{30} = 0 \end{array} \right.$$

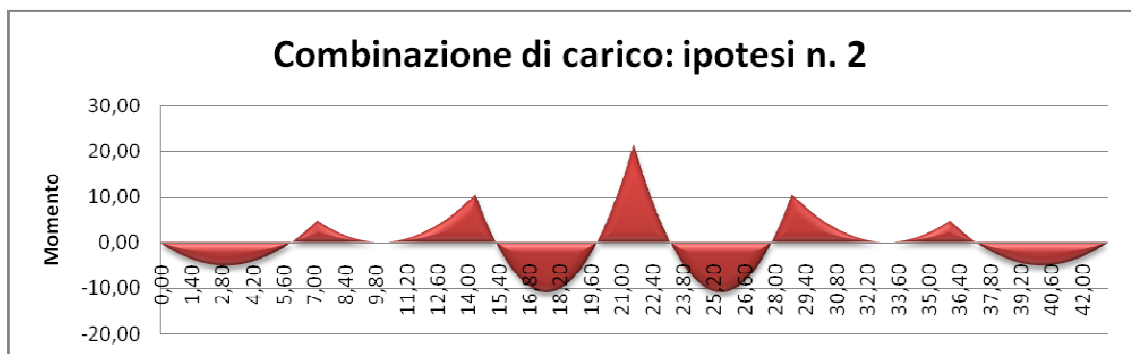
$$\Phi_{32} X_2 + \Phi_{33} X_3 + \Phi_{30} = 0$$

Matrice di rigidità		Noti
0,0003	0,00007	-0,0020
0,0001	0,00024	-0,0029

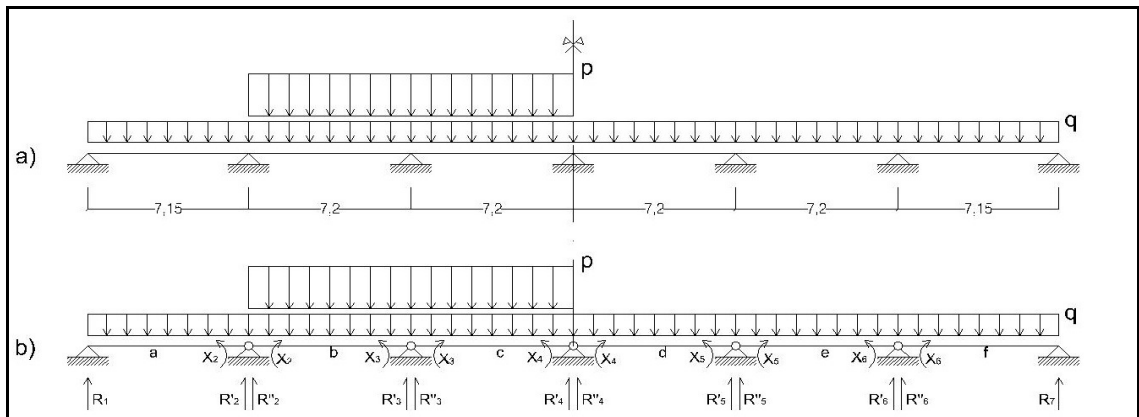
Matrice inversa		Noti
3861,97	-1103,42	-0,0020
-1103,42	4413,68	-0,0029

X_2	-4,681	kNm
X_3	-10,432	kNm
M_4	-21,400	kNm

R_1	3,399	kNm	+	V_{a1}
R'_2	4,700	kNm	-	V_{a2}
R''_2	3,251	kNm	+	V_{b2}
R'_3	4,848	kNm	-	V_{b3}
R''_3	13,264	kNm	+	V_{c3}
R'_4	16,310	kNm	-	V_{c4}



6.6.7.4. Combinazione di carico: ipotesi 3



φ_{22}	0,000279
φ_{23}	0,000070
φ_{24}	0,000000
φ_{25}	0,000000
φ_{26}	0,000000
φ_{32}	0,000070
φ_{33}	0,000279
φ_{34}	0,000070

$$\varphi_{22} X_2 + \varphi_{23} X_3 + \varphi_{24} X_4 + \varphi_{25} X_5 + \varphi_{26} X_6 + \varphi_{20} = 0$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_{32} X_2 + \varphi_{33} X_3 + \varphi_{34} X_4 + \varphi_{35} X_5 + \varphi_{36} X_6 + \varphi_{30} = 0 \\ \varphi_{42} X_2 + \varphi_{43} X_3 + \varphi_{44} X_4 + \varphi_{45} X_5 + \varphi_{46} X_6 + \varphi_{40} = 0 \end{array} \right.$$

$$\varphi_{52} X_2 + \varphi_{53} X_3 + \varphi_{54} X_4 + \varphi_{55} X_5 + \varphi_{56} X_6 + \varphi_{50} = 0$$

φ_{35}	0,000000
φ_{36}	0,000000
φ_{42}	0,000000
φ_{43}	0,000070
φ_{44}	0,000279
φ_{45}	0,000070
φ_{46}	0,000000
φ_{52}	0,000000
φ_{53}	0,000000
φ_{54}	0,000070
φ_{55}	0,000279
φ_{56}	0,000070
φ_{62}	0,000000
φ_{63}	0,000000
φ_{64}	0,000000
φ_{65}	0,000070
φ_{66}	0,000279
φ_{20}	0,004727
φ_{30}	0,007422
φ_{40}	0,004727
φ_{50}	0,002033
φ_{60}	0,002033

$$\varphi_{62} X_2 + \varphi_{63} X_3 + \varphi_{64} X_4 + \varphi_{65} X_5 + \varphi_{66} X_6 + \varphi_{60} = 0$$

Matrice di rigidezza					Noti
0,0003	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0047
0,0001	0,0003	0,0001	0,0000	0,0000	-0,0074
0,0000	0,0001	0,0003	0,0001	0,0000	-0,0047
0,0000	0,0000	0,0001	0,0003	0,0001	-0,0020
0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0003	-0,0020

Matrice inversa					Noti
3843,58	-1029,86	275,86	-73,56	18,39	-0,0047
-1029,86	4119,44	-1103,42	294,2	-73,6	-0,0074
275,86	-1103,42	4137,83	-1103,4	275,9	-0,0047
-73,56	294,2	-1103,4	4119	-1030	-0,0020
18	-74	276	-1030	3844	-0,0020

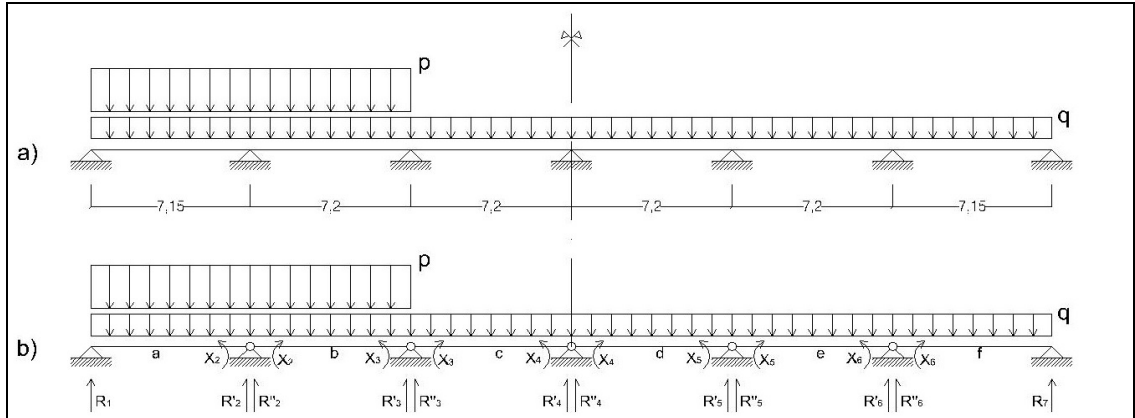
R_1	2,422	kNm	+	V_{a1}
R'_2	5,677	kNm	-	V_{a2}

R''_2	13,506	kNm	+	V_{b2}
R'_3	16,067	kNm	-	V_{b3}
R''_3	15,452	kNm	+	V_{c3}
R'_4	14,121	kNm	-	V_{c4}
R''_4	4,458	kNm	+	V_{d4}
R'_5	3,641	kNm	-	V_{d5}
R''_5	3,541	kNm	+	V_{e5}
R'_6	4,559	kNm	-	V_{e6}
R''_6	4,961	kNm	+	V_{f6}
R_7	3,138	kNm	-	V_{f7}

X_2	-11,72	kNm
X_3	-20,94	kNm
X_4	-10,99	kNm
X_5	-2,90	kNm
X_6	-6,56	kNm



6.6.7.5. Combinazione di carico: ipotesi 4



φ_{22}	0,000279
φ_{23}	0,000070
φ_{24}	0,000000
φ_{25}	0,000000
φ_{26}	0,000000
φ_{32}	0,000070
φ_{33}	0,000279
φ_{34}	0,000070
φ_{35}	0,000000
φ_{36}	0,000000
φ_{42}	0,000000
φ_{43}	0,000070
φ_{44}	0,000279
φ_{45}	0,000070
φ_{46}	0,000000
φ_{52}	0,000000
φ_{53}	0,000000
φ_{54}	0,000070
φ_{55}	0,000279
φ_{56}	0,000070
φ_{62}	0,000000
φ_{63}	0,000000
φ_{64}	0,000000
φ_{65}	0,000070
φ_{66}	0,000279
φ_{20}	0,007422

$$\varphi_{22} X_2 + \varphi_{23} X_3 + \varphi_{24} X_4 + \varphi_{25} X_5 + \varphi_{26} X_6 + \varphi_{20} = 0$$

$$\varphi_{32} X_2 + \varphi_{33} X_3 + \varphi_{34} X_4 + \varphi_{35} X_5 + \varphi_{36} X_6 + \varphi_{30} = 0$$

{

$$\varphi_{42} X_2 + \varphi_{43} X_3 + \varphi_{44} X_4 + \varphi_{45} X_5 + \varphi_{46} X_6 + \varphi_{40} = 0$$

$$\varphi_{52} X_2 + \varphi_{53} X_3 + \varphi_{54} X_4 + \varphi_{55} X_5 + \varphi_{56} X_6 + \varphi_{50} = 0$$

$$\varphi_{62} X_2 + \varphi_{63} X_3 + \varphi_{64} X_4 + \varphi_{65} X_5 + \varphi_{66} X_6 + \varphi_{60} = 0$$

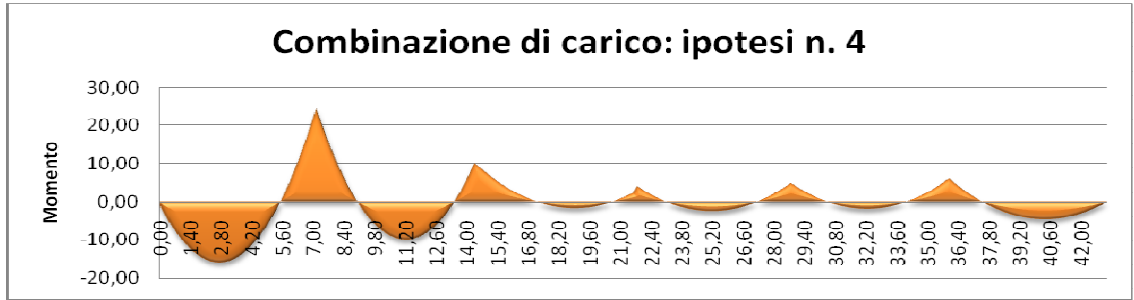
Φ_{30}	0,004727
Φ_{40}	0,002033
Φ_{50}	0,002033
Φ_{60}	0,002033

Matrice di rigidezza					Noti
0,0003	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0074
0,0001	0,0003	0,0001	0,0000	0,0000	-0,0047
0,0000	0,0001	0,0003	0,0001	0,0000	-0,0020
0,0000	0,0000	0,0001	0,0003	0,0001	-0,0020
0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0003	-0,0020

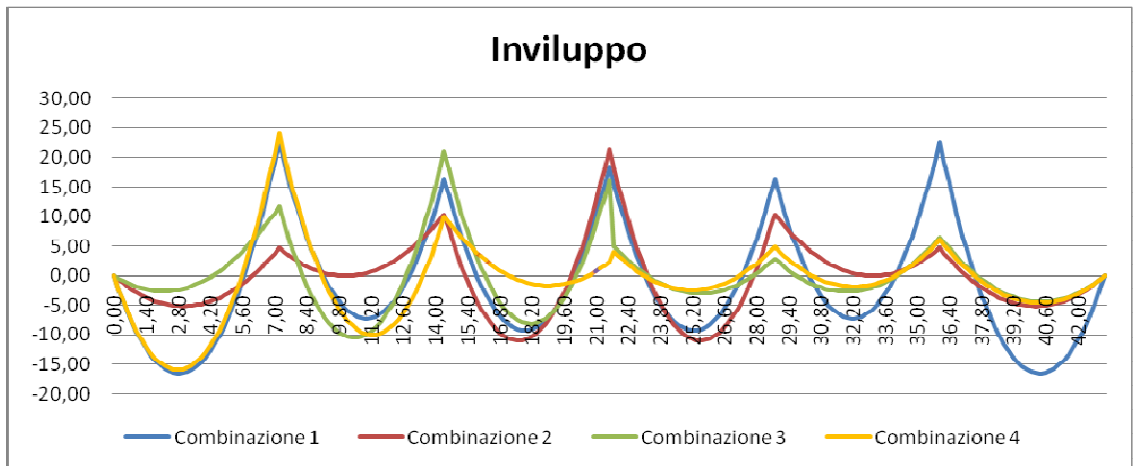
Matrice inversa					Noti
3843,58	-1029,86	275,86	-73,56	18,39	-0,0074
-1029,86	4119,44	-1103,42	294,2	-73,6	-0,0047
275,86	-1103,42	4137,83	-1103,4	275,9	-0,0020
-73,56	294,2	-1103,4	4119	-1030	-0,0020
18	-74	276	-1030	3844	-0,0020

R_1	11,439	kNm	+	V_{a1}
R'_2	18,135	kNm	-	V_{a2}
R''_2	16,741	kNm	+	V_{b2}
R'_3	12,832	kNm	-	V_{b3}
R''_3	5,128	kNm	+	V_{c3}
R'_4	2,971	kNm	-	V_{c4}
R''_4	4,045	kNm	+	V_{d4}
R'_5	4,054	kNm	-	V_{d5}
R''_5	3,885	kNm	+	V_{e5}
R'_6	4,214	kNm	-	V_{e6}
R''_6	4,893	kNm	+	V_{f6}
R_7	3,207	kNm	-	V_{f7}

X_2	-24,11	kNm
X_3	-10,04	kNm
X_4	-3,56	kNm
X_5	-4,88	kNm
X_6	-6,07	kNm



6.6.7.6. Inviluppo



6.6.8. PILASTRI

6.6.8.1. Analisi dei carichi

$$F_d = \gamma_g * G_k + \gamma_p * P_k + \gamma_q * Q_k$$

G_k ; valore caratteristico delle azioni permanenti	1,49	kN/m^2
P_k ;		kN/m^2
Q_k ;	2,98	kN/m^2
γ_g ;	1,40	} (EC3 par. 2.3.4)
γ_p ;	1,50	
γ_q ;	1,50	

$F_d =$	6,55	kN/m^2
i (interasse)=	7,20	m
$q = F_d * i$	47,19	KN/m

Asup	29,952	m^2		
$N = F_d * Asup$	196,31	KN	196.308	N

6.6.8.2. Procedimento di calcolo

$l =$	400	cm
$N =$	196.308	N

A	4.907,70	mm^2
Fe510	49,08	cm^2

Fe510 HEB160	DATI DEL PROFILO	b	160	mm
		h	160	mm
		a	8,00	mm
		e	13,00	mm
		r	15,00	mm
		Sezione	54,25	cm^2
		Peso	42,60	kg/m
		J_x ; momento di inerzia	2.492	cm^4
		J_y ; momento di inerzia	889,2	cm^4
		W_x ; resistenza	311,50	cm^3
		W_y ; resistenza	111,20	cm^3
		i_x	6,78	cm
		i_y	4,05	cm
	VERIFICA	$W_x \geq W_{MIN}$	VERIFICATO	

BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://www.provincia.palermo.it>
- [2] <http://www.comune.palermo.it/Comune/Uffici/Urbanistica.htm>
- [3] http://www.palermo-sicilia.it/palermo_cala.htm
- [4] System Design Manuel Carrier – Stima dei carichi termici – Tecniche Nuove (Ed.)
- [5] <http://www.edilio.it/risparmio-energetico-i-contenuti-del-dpr-59-2009-e-i-requisiti-nazionali.html> pp. 43-47
- [6] http://impianti.lifegate.it/pdf/documenti/ROBUR_Conosciamo_le_pompe_di_calore
pp. 88-92
- [7] ANTONINI M., MUSSINELLI L., RE CECCONI F., *Edifici in acciaio: progettazione esecutiva dell'involucro*, Maggioli Editore, Rep. di San Marino 2008.
- [8] TONIOLO G., *Tecnica delle costruzioni vol. 1: Calcolo strutturale, I telai*, Zanichelli (Ed.), Ristampa 1998, pp. 113-133.