

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE

*DIENCA - Dipartimento di Ingegneria
Energetica, Nucleare e del Controllo Ambientale*

TESI DI LAUREA

In Impianti Tecnici LS

**Studio di isolamenti termici ed acustici e verifica
sismica in strutture edilizie in laterocemento**

CANDIDATO
Curinga Giuseppe

RELATORE:
Prof. Semprini Giovanni

CORRELATORE:
Ing. Barbaresi Luca
Ing. Landi Luca

Anno Accademico 2008/09

Sessione III

INDICE

<i>Introduzione</i>	<i>5</i>
<i>1. Il sisma</i>	
<i>1.1. Le origini del sisma</i>	<i>7</i>
<i>1.2. Il problema sismico sulle costruzioni</i>	<i>9</i>
<i>2. Il problema energetico e acustico</i>	
<i>2.1. Il problema energetico e acustico in Italia</i>	<i>11</i>
<i>2.2. L'evoluzione delle costruzioni</i>	<i>13</i>
<i>3. Le normative</i>	
<i>3.1. Sismica</i>	
<i>3.1.1. Classificazione sismica in Italia</i>	<i>17</i>
<i>3.1.2. Decreto Ministeriale 14.01.08</i>	<i>21</i>
<i>3.2. Termica</i>	
<i>3.2.1. D.L. 192/2005 e D.L. 311/2006</i>	<i>37</i>
<i>3.2.2. Legge 10/1991</i>	<i>53</i>
<i>3.2.3. D.P.R. 59/2009</i>	<i>59</i>
<i>3.2.4. Allegati norma 192/2005 e 311/2006</i>	<i>77</i>
<i>3.2.5. Le zone climatiche</i>	<i>81</i>
<i>3.2.6. In Emilia - Romagna</i>	<i>83</i>
<i>3.3. Acustica</i>	
<i>3.3.1. DPCM 5 dicembre 1997</i>	<i>87</i>
<i>3.3.2. Allegati DPCM 5 dicembre 1997</i>	<i>88</i>
<i>4. Analisi</i>	
<i>4.1. Struttura oggetto dell'analisi</i>	<i>93</i>
<i>4.2. Identificazione dei particolari costruttivi</i>	<i>97</i>
<i>4.3. Analisi termica</i>	<i>97</i>
<i>4.4. Analisi acustica</i>	<i>129</i>
<i>4.5. Analisi dei carichi</i>	<i>133</i>
<i>4.6. Azioni di piano</i>	<i>143</i>
<i>4.7. Valutazione delle forze di piano:</i>	
<i>Calcolo delle forze di taglio e verifiche di deformabilità</i>	<i>159</i>
<i>4.8. Confronto dei risultati</i>	<i>175</i>
<i>4.9. Analisi dei tamponamenti</i>	<i>177</i>
<i>5. Conclusioni</i>	
<i>5.1. Scelta di una soluzione ideale</i>	<i>183</i>
<i>5.2. Analisi termica</i>	<i>185</i>
<i>5.3. Analisi acustica</i>	<i>187</i>
<i>5.4. Analisi sismica</i>	<i>191</i>
<i>5.5. Analisi dei tamponamenti</i>	<i>197</i>
<i>6. Commenti</i>	<i>199</i>

INTRODUZIONE

In questa relazione tratteremo l'effetto che diverse soluzioni di isolamento termico ed acustico hanno sul comportamento di un edificio ad un evento sismico.

La verifica verrà effettuata su di un edificio per civile abitazione con caratteristiche abbastanza comuni nel patrimonio edilizio italiano.

Saranno controllate quelle opere che consentono all'edificio di ottenere quegli standard qualitativi e di salubrità che risultano ormai obbligo per le nuove costruzioni e saranno inoltre ipotizzate delle soluzioni in grado di soddisfare quei parametri che la normativa italiana pone per diminuire i consumi invernali ed estivi e di benessere che con il passare degli anni sono diventati sempre più restrittivi.

È importante notare come dagli anni '60 - '70 l'evoluzione delle costruzioni civili si sia praticamente arrestata, solo negli ultimi anni è stato riscoperto il dovere di ridurre gli sprechi, quindi risparmiare e soprattutto inquinare meno.

Negli ultimi 10 - 20 anni gli sviluppi di soluzioni, anche banali, conosciute sin da tempi lontani come il riscaldamento a pavimento, pannelli solari per la produzione di acqua calda, ecc, adesso vengono viste come innovazioni e prese con diffidenza, nonostante possano farci risparmiare e soprattutto far sì di non generare danni per l'ambiente circostante.

Questa trattazione prenderà in considerazione le più semplici soluzioni per ridurre i consumi, come intonaci a cappotto, murature a cartella, sottofondi alleggeriti, tutte soluzioni che sono già presenti nell'edilizia residenziale, ma analizzate allo stesso tempo in ambito acustico e termico, verrà inoltre effettuata una verifica sismica semplificata, cioè si andranno a valutare gli andamenti delle tensioni sulla struttura al variare della combinazione degli isolamenti termici ed acustici.

1.1. LE ORIGINI DEL SISMA

Il sisma è causato dal movimento delle placche negli strati più profondi della crosta terrestre e di conseguenza provocano degli scuotimenti in superficie. Questi avvenimenti si possono assimilare a un corpo appoggiato su di un piano e sottoposto ad una forza costante relativamente piccola; fino a quando non si raggiunge quel valore limite che consente lo spostamento, il corpo rimane fermo. Nel momento in cui il limite viene raggiunto il corpo inizia a muoversi finché non si dissipa tutta l'energia accumulata dovuta all'attrito.

L'energia che viene dissipata dal sisma si propaga attraverso la crosta terrestre con onde P ed onde S, chiamate onde primarie e onde secondarie, le prime di compressione-trazione e le seconde di taglio.

Le onde P sono quelle più rapide e giungono in superficie prima delle onde di taglio, e provocano di movimenti principalmente sussultori, in seguito arrivano le onde S. L'unione di queste onde provocheranno altri due tipi di onde che partiranno dall'epicentro, un tipo di onda è sussultorio e l'altro è ondulatorio, è proprio quest'ultimo a provocare i maggiori danni alle nostre strutture, in quanto gli edifici sono da sempre studiati per sopportare il peso proprio.

Solo negli ultimi anni è stato iniziato uno studio più approfondito per conoscere sempre meglio questo tipo di avvenimenti che risultano estremamente variabili sia in frequenza che in energia sprigionata.

Nel mondo le zone sismiche sono distribuite lungo determinate zone, tali aree sono sempre sui confini delle placche, questo conferma il meccanismo di innescamento dell'evento sismico descritto sopra. Spesso le zone di scorrimento si identificano semplicemente con una linea denominata faglia, tali aree possono essere di 3 tipi principali:

- ✓ Faglia di compressione o trazione, esempio tipico è la dorsale medio atlantica di estensione;
- ✓ Faglia di scorrimento, esempio tipico è la faglia di San Andrea in California (USA);
- ✓ Faglia mista, dove sono presenti i 2 tipi di movimenti ed è chiaramente la più difficile da studiare.

L'Italia ricade nel terzo tipo di movimento in quanto essa è dovuta allo schiacciamento che il continente Africano applica alla placca Europea e un

movimento di avvicinamento della costa adriatica italiana con le coste orientali del mar Adriatico.

In Italia e nel mondo si hanno documentazioni storiche riguardanti vari sismi nelle varie epoche, spesso però le documentazioni più datate non sono molto precise e non danno la vera dimensione del sisma, proprio per questo è necessario l'utilizzo di particolari algoritmi statistici.

Grazie a questo lavoro di analisi storica è stato possibile costruire una curva di probabilità di evento sismico per ogni zona e per ogni livello di magnitudo.

La magnitudo misura la potenza sprigionata dall'evento sismico e si valuta attraverso la misura delle accelerazioni misurate ad una data distanza dall'epicentro più altri fattori correttivi. La scala di Richter esprime la magnitudo con una scala logaritmica, quindi tra un livello ed un altro immediatamente successivo aumenta di 10 volte.

Come è stato detto la magnitudo è data dalla accelerazione del terreno più altri fattori, ma nelle strutture ciò che provoca movimenti non è la magnitudo, ma l'accelerazione alla base.

Le accelerazioni che si sviluppano sulla superficie terrestre sono sia orizzontali che verticali.

Le accelerazioni verticali sono più semplici da studiare, esse si possono assimilare ad un aumento o una diminuzione delle forze di peso della struttura, quindi si possono dimensionare le strutture verticali affinché sopportino un carico maggiore di quello nominale.

Le accelerazioni orizzontali sono più complicate da studiare in quanto le strutture normalmente realizzate sono costruite per resistere al solo peso proprio quindi anche piccole forze orizzontali possono portare al collasso della struttura.

1.2. IL PROBLEMA SISMICO SULLE COSTRUZIONI

Si può immaginare la struttura come una mensola sottoposta al peso proprio, questa immagine dà l'impressione delle forze che nascono sulla costruzione.

Le accelerazioni si identificano come percentuale della forza di gravità, nel caso di forze verticali si possono sommare e sottrarre alla forza g di gravità, mentre nelle componenti orizzontali vi è la sola componente orizzontale.

Nelle analisi strutturali si considerano le strutture classiche come telai dove i pilastri compiono la funzione di portare i carichi alle fondazioni, mentre i solai portano i carichi che vengono applicati oltre al peso proprio alle componenti verticali. Questa semplificazione, non si considerano i tamponamenti, è dovuta al fatto che non esiste una normativa che regola il metodo di applicazione dei tamponamenti e quindi un metodo sicuro che li consideri.

Le metodologie costruttive più rapide ed economiche sono sicuramente travi e pilastri quindi elementi puntuali che resistono bene alle forze verticali e consentono un disegno architettonico che può risultare gradevole grazie alla libertà di gestire la posizione delle componenti trasparenti come finestre, vetrate e tutto ciò che non è prettamente strutturale ma estetico. Sicuramente la tipologia puntuale non è la più sicura dal punto di vista sismico in quanto si può facilmente immaginare che un elemento con una dimensione predominante sulle altre come un muro in cls, resiste molto di più di elemento snello ad una forza agente lungo la direzione prevalente della sua base.

Come detto la struttura più utilizzata in Italia è quella composta da elementi puntuali: pilastri, questa metodologia costruttiva essendo costituita da elementi con dimensioni modeste consente, sotto forze orizzontali, grandi spostamenti, questi spostamenti aumentano con l'altezza, ma a differenza di quanto si può immaginare i danni maggiori si hanno alla base dove gli spostamenti sono più piccoli, ma le tensioni sono elevate, proprio questi sforzi causano le fessure sulle strutture.

Nel caso del sisma de L'Aquila si è potuto constatare sulle strutture più recenti che le tensioni sono state assorbite quasi esclusivamente dai tamponamenti, questo fenomeno è potuto succedere grazie alla metodologia costruttiva della zona. L'Aquila nasce in una zona dell'appennino centrale dove le temperature sono spesso rigide, quindi il problema del riscaldamento invernale è stato sempre importante, questo fattore ha portato la popolazione locale ad eseguire con cura la

posa dei tamponamenti, con grandi spessori e relativamente abbondanti spessori di intonaco sia interno che esterno che hanno consentito alla struttura di scambiare parte del carico sismico con gli elementi non strutturali.

A fronte del sisma de L'Aquila si è potuto quindi notare in quei casi descritti, che le parti strutturali sono rimaste spesso in campo elastico quindi la struttura è ancora al pieno delle sue capacità, ma i tamponamenti hanno avuto danni notevoli e quindi dovranno essere completamente ricostituiti. Il fatto di avere grandi fessure che a volte consentono persino di vedere l'esterno, quindi anche di decine di centimetri, ad una prima vista dà l'impressione che l'edificio sia da abbattere e ricostruire da zero, ma in realtà è un ottimo segnale e consente una rapida messa in servizio dell'intero edificio.

2.1. IL PROBLEMA ENERGETICO ED ACUSTICO IN ITALIA

L'Italia si sviluppa lungo una penisola di oltre 1200 chilometri di lunghezza, va dalle montagne più alte d'Europa, le Alpi, all'estremo sud alle stesse latitudini del continente africano, ha quindi notevoli differenze ed è difficile prevedere un'unica normativa nazionale, dovranno essere perciò le singole regioni a prevedere delle regole e dei limiti per le certificazioni energetiche.

Esiste invece una normativa nazionale riguardante il problema acustico negli edifici.



Come detto l'Italia attraversa molti paralleli e si sviluppa dal livello marino fino a oltre 4000 metri di altitudine, ha quindi diverse tipologie di problemi. Da sempre l'Italia ha cercato di affrontare il problema del benessere estivo ed invernale, basti pensare alle tipologie costruttive che hanno dovuto pensare le popolazioni montane per affrontare i rigidi inverni, spessi muri in pietra oppure più strati di legname con dei tetti molto spioventi, particolari dettati più dalla necessità che dall'imporre da parte dello stato una soglia per limitare l'inquinamento ambientale.

Al sud e sulle isole sono di particolare suggestione le tipiche case in calce bianca presenti sia in Italia che un po' su tutto il mediterraneo, dettate non per dare quelle sensazioni di vacanza che possono dare agli amanti del mare, ma strettamente ad un bisogno estivo di fresco in zone dove il sole batte tutto il giorno dando notevoli problemi di calore all'interno delle abitazioni.



Non è difficile trovare sui tetti di questi luoghi particolari attrezzature che pur essendo particolarmente datate anticipano notevolmente i pannelli solari per la produzione di acqua calda, è facile infatti trovare su questi tetti piani dovuti alle scarsità di pioggia, delle vasche di colore scuro che servivano alla produzione di acqua calda.

Il problema acustico a differenza di quello termico è comune a tutte le zone d'Italia, forse può apparire più evidente in una zona urbana piuttosto che in una zona più periferica, ma rimangono valide le problematiche di isolamento o di rumore aereo o di calpestio.

Tale problematica è importante da studiare in quanto i rumori che percepisce l'essere umano a lungo termine possono portare anche a gravi problematiche di udito, è importante quindi avere dei limiti di potenza sonora da immettere nell'ambiente abitativo, luogo nel quale è previsto che un uomo passi una grande parte della sua vita.

2.2. L'EVOLUZIONE DELLE COSTRUZIONI

Si può pensare inoltre ad un'altra tipica metodologia costruttiva già utilizzata al tempo dei romani in particolare nelle zone del centro Italia, le costruzioni con il tufo, pietra lavica particolarmente pregiata per la sua capacità di isolamento termico.



Si può vedere sulla sinistra una tipica muratura in tufo presso la Necropoli della Banditaccia presso Cerveteri (Roma) risalente al IX secolo a.C. proprio a sottolineare l'ampia utilizzazione del materiale nella storia e sulla destra un blocco di tufo presente oggi sul mercato.

Come brevemente visto l'uomo ha cercato o per necessità o per migliorare il proprio tenore di vita di migliorare le condizioni delle proprie abitazioni basandosi sul proprio ingegno o affidandosi ai nuovi materiali che incrementino l'isolamento e allo stesso tempo garantiscano la sicurezza delle proprie abitazioni. Basti pensare ai cambiamenti avvenuti nella storia ai modi di costruire, siamo passati dalle grotte alle costruzioni in pietra perché eravamo più al sicuro, più isolati dal terreno e vi era la sicurezza di una porta, ma vi erano delle pareti molto spesse, oltre un metro per ottenere un edificio a due piani, allora è stato inventato il mattone che avendo una geometria ben definita consentiva di avere dei muri con dimensioni ridotte a parità di prestazioni della pietra e così l'uomo ha potuto alzare i piani delle abitazioni, dopodiché è arrivato il bisogno di migliorare il proprio tenore di vita, edificare costruzioni più belle e più sicure e grazie all'introduzione del calcestruzzo e con i "pilotis" di Le Corbusier, l'uomo ha trovato la più grande invenzione per le costruzioni, fu proprio lui a definire i 5 punti della nuova architettura che hanno cambiato il modo di costruire:

- ✓ I **Pilotis** (piloni) sostituiscono i voluminosi setti in muratura che penetravano fin dentro il terreno, per fungere infine da fondazioni, creando invece dei sostegni molto esili, poggiati su dei plinti, su cui appoggiare poi

i solai in calcestruzzo armato. L'edificio è retto così da alti piloni puntiformi, di cemento armato anch'essi, che elevano la costruzione separandola dal terreno e dall'umidità. L'area ora disponibile viene utilizzata come giardino, garage o - se in città - per far passare strade.

- ✓ Il **Tetto-giardino** (tetto a terrazza) restituisce all'uomo il verde, che non è solo sotto l'edificio ma anche e soprattutto sopra. Tra i giunti delle lastre di copertura viene messo il terreno e seminati erba e piante, che hanno una funzione coibente nei confronti dei piani inferiori e rendono lussureggiante e vivibile il tetto, dove si può realizzare anche una piscina. Il tetto giardino è un concetto realizzabile anche grazie all'uso del calcestruzzo armato: questo materiale rende infatti possibile la costruzione di solai particolarmente resistenti in quanto resiste alla cosiddetta trazione, generata dalla flessione delle strutture (gravate del peso proprio e di quanto vi viene appoggiato), molto meglio dei precedenti sistemi volti a realizzare piani orizzontali.
- ✓ Il **Plan libre** (pianta libera) è resa possibile dalla creazione di uno scheletro portante in cemento armato che elimina la funzione delle murature portanti che 'schiavizzavano' la pianta dell'edificio, permettendo all'architetto di costruire l'abitazione in tutta libertà e disponendo le pareti a piacimento.
- ✓ La **Facciata libera** è una derivazione anch'essa dello scheletro portante in calcestruzzo armato. Consiste nella libertà di creare facciate non più costituite di murature aventi funzioni strutturali, ma semplicemente da una serie di elementi orizzontali e verticali i cui vuoti possono essere tamponati a piacimento, sia con pareti isolanti che con infissi trasparenti.
- ✓ La **Fenêtre en longueur** (o **finestra a nastro**) è un'altra grande innovazione permessa dal calcestruzzo armato. La facciata può infatti ora essere tagliata in tutta la sua lunghezza da una finestra che ne occupa la superficie desiderata, permettendo una straordinaria illuminazione degli interni ed un contatto più diretto con l'esterno.

Proprio queste innovazioni dettano ancora oggi il modo di costruire, ma con l'avvento del problema sismico che all'epoca veniva trascurato si è potuto constatare che l'abbandono delle costruzioni a setti ha portato ad un più elevato rischio di danno in caso di sisma.

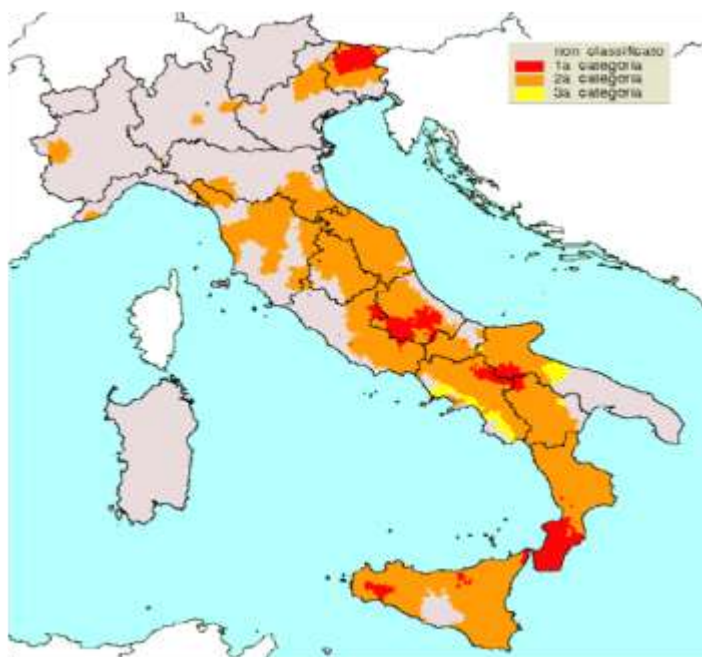
Con questo metodo costruttivo rimane solo da riempire i vuoti lasciati dalla struttura, quasi fino alla fine del secolo scorso si è utilizzato materiali a basso costo, fino a quando non è venuto fuori il problema ambientale, basta osservare le nostre città, palazzi degli anni cinquanta e sessanta che presentano tamponature realizzate con mattoni pieni e intonaco comune, obbliga ogni abitazione a dotarsi del proprio climatizzatore esposto all'esterno dell'abitazione, infatti d'estate i muri che rimangono soleggiati durante il giorno a fine giornata sono estremamente caldi quasi bollenti e questo fa sì che anche durante la notte, a causa dell'inerzia termica dei mattoni pieni, nelle abitazioni vi sia un calore più elevato rispetto all'esterno.

Ora si sta cercando attraverso intonaci a cappotto, protezione dall'irraggiamento, modificando l'inerzia termica, di migliorare queste problematiche riguardanti tutta l'Italia e non solo le regioni meridionali tipicamente più esposte al sole.

3.1.1. LA CLASSIFICAZIONE SISMICA IN ITALIA

La normativa italiana divenuta obbligatoria da Luglio 2009 rappresenta l'evoluzione di un processo durata oltre 20 anni, dagli anni ottanta, in seguito ai sismi del Friuli e dell'Irpinia rispettivamente '76 e '80, l'Italia ha cominciato a prendere in considerazione tale problematica nonostante il testo unico del 1996 non fornisse prescrizioni a riguardo, vennero in seguito emanate regole da seguire per la sismica, la più recente era l'ordinanza 3274 del 2003 poi applicata con alcune variazioni nel testo unico 2008.

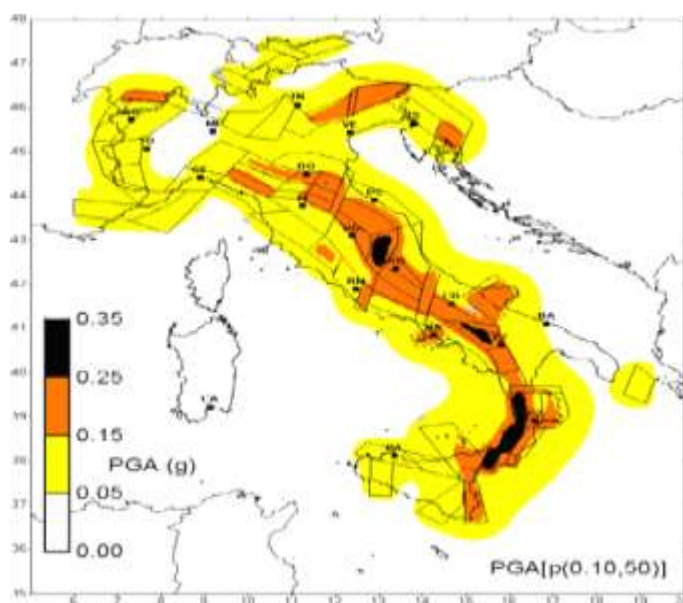
L'Italia fino al 2005 era divisa in 4 zone sismiche chiamate categorie, si andava dalla 1° categoria che era la più pericolosa alla 3° categoria con accelerazioni del terreno molto più modeste, inoltre molte zone d'Italia non erano classificate come sismiche.



Questa classificazione è risalente esattamente al 1980 come detto in precedenza e venne ritenuta valida fino al 2005 con l'entrata in vigore della modifica che apportava un sensibile cambiamento sia alla classificazione che al modo di essere letta, si passava infatti da 3 categorie a 4 categorie e se ne definivano i valori di riferimento, per la prima categoria si dava un'accelerazione pari a 0,35g e di categoria in categoria si scende di un decimo di punto fino ad arrivare alla 4° categoria avente un valore di 0,05g.

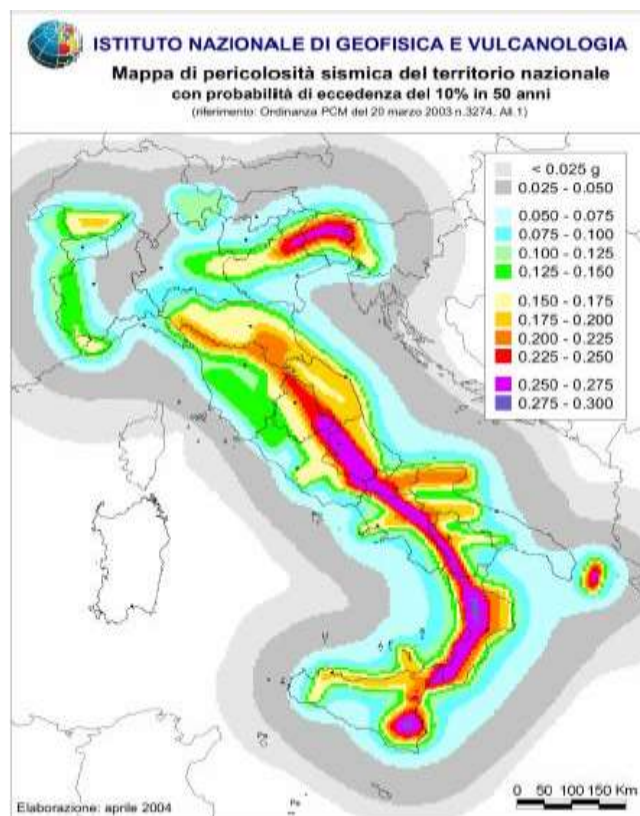


Questa mappa è stata creata sulla base di un'analisi effettuata sui sismi realmente avvenuti e ricercati nella storia dei singoli luoghi ed è calcolata sulla probabilità di accadimento di un dato valore di accelerazione in un dato periodo, che per le costruzioni per civile abitazione è circa di 50 anni con una probabilità di accadimento del 10%.



Adirittura prima del 1980 si avevano solo 2 categorie e tutte le altre ricadevano in zona non sismica, le due categorie rientravano nell'attuale 1° categoria.

Come detto la normativa 2008 riprende e sviluppa i dati forniti dalla normativa del 2005 e li elabora per conseguire l'attuale mappa di pericolosità sismica dell'INGV:



L'attuale mappa consente non solo di dividere l'Italia in zone, ma arrivare a una discretizzazione tale da definire l'accelerazione da attendersi nel singolo comune, avere quindi una mappa molto più precisa delle precedenti, quindi ricavando la posizione del nostro edificio si va sulla normativa che ci fornirà tutti i parametri da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica da attendersi.

3.1.2. **NORMATIVA ITALIANA DM2008**

Analizzando la normativa italiana attuale, il Decreto Ministeriale 14-01-2008, viene subito evidenziata la necessità di analizzare il tipo di struttura, quindi determinare la vita nominale V_N e il coefficiente C_U riguardante la classe di utilizzo della costruzione allora si può ricavare, moltiplicando i due valori, la vita nominale o periodo di riferimento per l'azione sismica V_R .

Adesso si entra nell'effettivo calcolo dell'azione sismica che andrà a incidere sulla struttura, questo procedimento è descritto al capitolo 3 della normativa.

La normativa del 2008 definisce Azione Sismica:

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{V_R} , nel periodo di riferimento V_R . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla *pericolosità sismica* del sito.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Esistono 4 livelli di stati limite, noi utilizzeremo i due intermedi:

Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di

resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

La probabilità di superamento viene valutato attraverso una tabella che indica il valore cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati:

Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento P_{V_R} al variare dello stato limite considerato

Stati Limite		P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

I limiti imposti nella tabella sono di massima, nel momento in cui si voglia raggiungere livelli maggiori si diminuisce il valore.

I valori di a_g , F_o , T_C^* sono in funzione di T_R e sono da ricercare nella normativa (allegato A).

per individuare, a partire dai dati di *pericolosità sismica* disponibili, le corrispondenti azioni sismiche, è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento V_R , i due parametri T_R e P_{V_R} sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

Che per $V_R = 50$ anni, $P_{V_R} = 0,1 = 10\%$, si ottiene:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})} = -\frac{50}{\ln(1 - 0,1)} = 474,6 \cong 475 \text{ anni}$$

Va inoltre analizzato il sito su cui va effettuata l'analisi, in quanto è anche il terreno che aiuta o provoca delle criticità sulla struttura, va quindi fatta un'analisi

geologica per determinare la stratigrafia e i parametri per il calcolo della accelerazione.

Il sottosuolo

Va adesso analizzato il sottosuolo, ricordando che ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento:

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Annessi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>

Ed inoltre:

Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.

Categoria	Descrizione
S1	<i>Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.</i>
S2	<i>Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.</i>

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo (parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso), ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente $V_{s,30}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità. Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa

dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (*Standard Penetration Test*) $N_{SPT,30}$ nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente $c_{u,30}$ nei terreni prevalentemente a grana fina.

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie **S1** ed **S2** (Tab. 3.2.III), è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

Condizioni topografiche:

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.IV):

Tabella 3.2.IV – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

La tabella è espressa in funzione di i che rappresenta la pendenza.

Valutazione dell'azione sismica

3.2.3.1 Descrizione del moto sismico in superficie e sul piano di fondazione

Ai fini delle presenti norme l'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra di loro indipendenti, purché il sito nel quale la costruzione sorge non sia in Zone 3 e 4.

Le componenti possono essere descritte, in funzione del tipo di analisi adottata, mediante una delle

seguenti rappresentazioni:

- ✓ accelerazione massima attesa in superficie;
- ✓ accelerazione massima e relativo spettro di risposta attesi in superficie;
- ✓ accelerogramma.

Sulla base di apposite analisi di risposta sismica locale si può poi passare dai valori in superficie ai valori sui piani di riferimento; in assenza di tali analisi l'azione in superficie può essere assunta come agente su tali piani.

Le due componenti ortogonali indipendenti che descrivono il moto orizzontale sono caratterizzate dallo stesso spettro di risposta o dalle due componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.

La componente che descrive il moto verticale è caratterizzata dal suo spettro di risposta o dalla componente accelerometrica verticale. In mancanza di documentata informazione specifica, in via semplificata l'accelerazione massima e lo spettro di risposta della componente verticale attesa in superficie possono essere determinati sulla base dell'accelerazione massima e dello spettro di risposta delle due componenti orizzontali. La componente accelerometrica verticale può essere correlata alle componenti accelerometriche orizzontali del moto sismico.

3.2.3.2 Spettro di risposta elastico in accelerazione

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di a_g variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} .

Gli spettri così definiti possono essere utilizzati per strutture con periodo fondamentale minore o uguale a 4,0 sec. Per strutture con periodi fondamentali superiori lo spettro deve essere definito da apposite analisi ovvero l'azione sismica deve essere descritta mediante accelerogrammi.

Analogamente si opera in presenza di sottosuoli di categoria **S1** o **S2**.

3.2.3.2.1 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Quale che sia la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} considerata, lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

nelle quali T ed S_e sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale.

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente:

$$S = S_S \cdot S_T$$

essendo S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica e S_T il coefficiente di amplificazione topografica;

η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione:

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55$$

dove ξ (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

F_0 è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;

T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da:

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

dove T_C^* è il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale e C_C è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo;

T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante:

$$T_B = T_C / 3$$

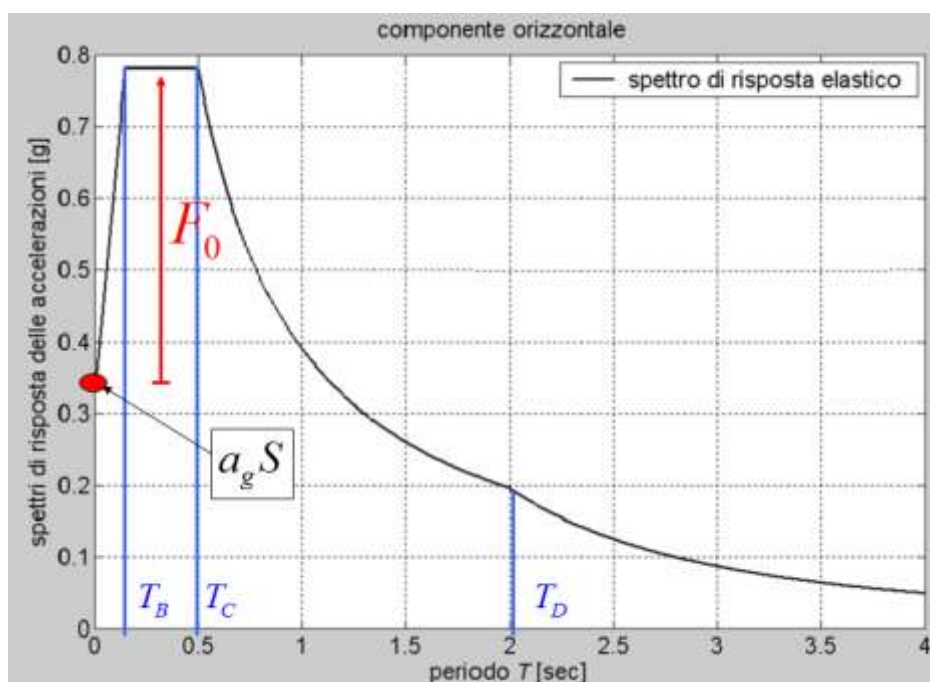
T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$$

Per categorie speciali di sottosuolo, per determinati sistemi geotecnici o se si intenda aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione, le azioni sismiche da considerare nella progettazione possono essere determinate mediante più rigorose analisi di risposta sismica locale. Queste analisi presuppongono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni e, in particolare, delle relazioni sforzi-deformazioni in campo ciclico, da determinare mediante specifiche indagini e prove.

In mancanza di tali determinazioni, per le componenti orizzontali del moto e per le categorie di sottosuolo di fondazione definite nelle Tabelle 3.2.II e 3.2.III, la forma spettrale su sottosuolo di categoria **A** è modificata attraverso il coefficiente stratigrafico S_S , il coefficiente topografico S_T e il coefficiente C_C che modifica il valore del periodo T_C .

Il risultato sul grafico è il seguente con la posizione dei periodi di riferimento e le grandezze sopra citate:



Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti S_S e C_C valgono 1.

Per le categorie di sottosuolo **B**, **C**, **D** ed **E** i coefficienti S_S e C_C possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T_C^* relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite dalla normativa nella Tabella 3.2.V, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_S e di C_C

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T

riportati nella Tab. 3.2.VI, in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove S_T assume valore unitario.

3.2.3.4 Spettri di progetto per gli stati limite di esercizio

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} considerata.

3.2.3.5 Spettri di progetto per gli stati limite ultimi

Qualora le verifiche agli stati limite ultimi non vengano effettuate tramite l'uso di opportuni accelerogrammi ed analisi dinamiche al passo, ai fini del progetto o della verifica delle strutture le capacità dissipative delle strutture possono essere messe in conto attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tiene conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovraresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio a seguito delle plasticizzazioni. In tal caso, lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} considerata, con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule di T, η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Si assumerà comunque $S_d(T) \geq 0,2 \cdot a_g$.

METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA

Analisi lineare

L'analisi lineare può essere utilizzata per calcolare gli effetti delle azioni sismiche sia nel caso di sistemi dissipativi sia nel caso di sistemi non dissipativi.

Quando si utilizza l'analisi lineare per sistemi non dissipativi, come avviene per gli stati limite di esercizio, gli effetti delle azioni sismiche sono calcolati, quale che sia la modellazione per esse utilizzata, riferendosi allo spettro di progetto ottenuto assumendo un fattore di struttura q unitario. La resistenza delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole presentate dalla normativa, non essendo necessario soddisfare i requisiti di duttilità fissati.

Quando si utilizza l'analisi lineare per sistemi dissipativi, come avviene per gli stati limite ultimi, gli effetti delle azioni sismiche sono calcolati, quale che sia la modellazione per esse utilizzata, riferendosi allo spettro di progetto ottenuto assumendo un fattore di struttura q maggiore dell'unità. La resistenza delle membrature e dei collegamenti deve essere valutata in accordo con le regole presentate, essendo necessario soddisfare i requisiti di duttilità fissati dalla normativa.

Il valore del fattore di struttura q da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità di materiale. Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 \cdot K_R$$

dove:

q_0 è il valore massimo del fattore di struttura che dipende dal livello di duttilità attesa, dalla tipologia strutturale e dal rapporto α_u/α_1 tra il valore dell'azione sismica per il quale si verifica la formazione di un numero di cerniere plastiche tali da rendere la struttura labile e quello per il quale il primo elemento strutturale raggiunge la plasticizzazione a flessione;

K_R è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, con valore pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari in altezza.

Per le costruzioni regolari in pianta, qualora non si proceda ad un'analisi non lineare finalizzata alla valutazione del rapporto α_u/α_1 , per esso possono essere

adottati i valori indicati nei paragrafi successivi per le diverse tipologie costruttive.

Per le costruzioni non regolari in pianta, si possono adottare valori di α_u/α_1 pari alla media tra 1,0 ed i valori di volta in volta forniti per le diverse tipologie costruttive.

La scelta del fattore di struttura deve essere adeguatamente giustificata. Il valore adottato deve dar luogo ad azioni di progetto agli stati limite ultimi coerenti con le azioni di progetto assunte per gli stati limite di esercizio.

Per la componente verticale dell'azione sismica il valore di q utilizzato, a meno di adeguate analisi giustificative, è $q = 1,5$ per qualunque tipologia strutturale e di materiale, tranne che per i ponti per i quali è $q = 1$.

Le non linearità geometriche sono prese in conto, quando necessario, attraverso il fattore θ appresso definito. In particolare, per le costruzioni civili ed industriali esse possono essere trascurate nel caso in cui ad ogni orizzontamento risulti:

$$\theta = \frac{P \cdot d_r}{V \cdot h} \leq 0,1$$

dove:

P è il carico verticale totale della parte di struttura sovrastante l'orizzontamento in esame

d_r è lo spostamento orizzontale medio d'interpiano, ovvero la differenza tra lo spostamento orizzontale dell'orizzontamento considerato e lo spostamento orizzontale dell'orizzontamento immediatamente sottostante;

V è la forza orizzontale totale in corrispondenza dell'orizzontamento in esame;

h è la distanza tra l'orizzontamento in esame e quello immediatamente sottostante.

Quando q è compreso tra 0,1 e 0,2 gli effetti delle non linearità geometriche possono essere presi in

conto incrementando gli effetti dell'azione sismica orizzontale di un fattore pari a $1/(1 - q)$; q non può comunque superare il valore 0,3.

Analisi non lineare

L'analisi non lineare si utilizza per sistemi dissipativi e tiene conto delle non linearità di materiale e geometriche; queste ultime possono essere trascurate nei casi precedentemente precisati. I legami costitutivi utilizzati devono includere la perdita di resistenza e la resistenza residua, se significativi.

Fattori di struttura

I massimi valori di q_0 relativi alle diverse tipologie ed alle due classi di duttilità considerate (CD"A" e CD"B") sono contenuti nella tabella seguente.

Tabella 7.4.I – Valori di q_0

Tipologia	q_0	
	CD"B"	CD"A"
Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste	$3,0\alpha_u/\alpha_1$	$4,5\alpha_u/\alpha_1$
Strutture a pareti non accoppiate	3,0	$4,0\alpha_u/\alpha_1$
Strutture deformabili torsionalmente	2,0	3,0
Strutture a pendolo inverso	1,5	2,0

Le strutture a pareti estese debolmente armate devono essere progettate in CD "B". Strutture aventi i telai resistenti all'azione sismica composti, anche in una sola delle direzioni principali, con travi a spessore devono essere progettate in CD"B" a meno che tali travi non si possano considerare elementi strutturali "secondari".

Per strutture regolari in pianta, possono essere adottati i seguenti valori di α_u/α_1 :

a) Strutture a telaio o miste equivalenti a telai

✓ strutture a telaio di un piano

$$\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$$

✓ strutture a telaio con più piani ed una sola campata

$$\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$$

✓ strutture a telaio con più piani e più campate

$$\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$$

b) Strutture a pareti o miste equivalenti a pareti

✓ strutture con solo due pareti non accoppiate per direzione orizzontale $\alpha_u/\alpha_1 = 1,0$

✓ altre strutture a pareti non accoppiate

$$\alpha_u/\alpha_1 = 1,1$$

✓ strutture a pareti accoppiate o miste equivalenti a pareti

$$\alpha_u/\alpha_1 = 1,2$$

Per prevenire il collasso delle strutture a seguito della rottura delle pareti, i valori di q_0 devono essere ridotti mediante il fattore k_w :

$$k_w = \begin{cases} 1,00 & \text{per strutture a telaio e miste equivalenti a telai} \\ 0,5 \leq [(1 + \alpha_0)/3] \leq 1 & \text{per strutture a pareti, miste equivalenti a pareti,} \\ & \text{torsionalmente deformabili} \end{cases}$$

dove α_0 è il valore assunto in prevalenza dal rapporto tra altezze e larghezze delle pareti. Nel caso in cui gli α_0 delle pareti non differiscano significativamente tra di loro, il valore di α_0 per l'insieme delle pareti può essere calcolato assumendo come altezza la somma delle altezze delle singole pareti e come larghezza la somma delle larghezze.

Per tipologie strutturali diverse da quelle sopra definite, ove si intenda adottare un valore $q > 1,5$ il valore adottato deve essere adeguatamente giustificato dal progettista.

Arrivati a questo punto si possono determinare le forze di piano in modo da individuare i tagli e i momenti alla base, i metodi più utilizzati e rapidi sono il metodo dell'analisi statica equivalente e il metodo con l'analisi modale.

Il primo metodo associa ad ogni piano una forza statica equivalente all'azione dinamica del sisma in modo da semplificare la procedura di calcolo, l'altro metodo invece determina quei modi di vibrare che considerano almeno il 90% di massa dell'edificio.

7.2.3 CRITERI DI PROGETTAZIONE DI ELEMENTI STRUTTURALI "SECONDARI" ED ELEMENTI NON STRUTTURALI

Alcuni elementi strutturali possono venire considerati "secondari". Sia la rigidità che la resistenza di tali elementi vengono ignorate nell'analisi della risposta e tali elementi vengono progettati per resistere ai soli carichi verticali. Tali elementi tuttavia devono essere in grado di assorbire le deformazioni della struttura soggetta all'azione sismica di progetto, mantenendo la capacità portante nei confronti dei carichi verticali; pertanto, limitatamente al soddisfacimento di tale requisito, agli elementi "secondari" si applicano i particolari costruttivi definiti per gli elementi strutturali.

In nessun caso la scelta degli elementi da considerare secondari può determinare il passaggio da struttura “irregolare” a struttura “regolare”, né il contributo alla rigidezza totale sotto azioni orizzontali degli elementi secondari può superare il 15% della analoga rigidezza degli elementi principali.

Con l'esclusione dei soli tamponamenti interni di spessore non superiore a 100 mm, gli elementi costruttivi senza funzione strutturale il cui danneggiamento può provocare danni a persone, devono essere verificati, insieme alle loro connessioni alla struttura, per l'azione sismica corrispondente a ciascuno degli stati limite considerati.

Qualora la distribuzione di tali elementi sia fortemente irregolare in pianta, gli effetti di tale irregolarità debbono essere valutati e tenuti in conto. Questo requisito si intende soddisfatto qualora si incrementi di un fattore 2 l'eccentricità accidentale.

Qualora la distribuzione di tali elementi sia fortemente irregolare in altezza deve essere considerata la possibilità di forti concentrazioni di danno ai livelli caratterizzati da significativa riduzione del numero di tali elementi rispetto ai livelli adiacenti. Questo requisito si intende soddisfatto incrementando di un fattore 1,4 le azioni di calcolo per gli elementi verticali (pilastri e pareti) dei livelli con riduzione dei tamponamenti.

In ogni caso gli effetti degli elementi costruttivi senza funzione strutturale sulla risposta sismica dell'intera struttura vanno considerati nei modi e nei limiti ulteriormente descritti, per i diversi sistemi costruttivi, nei paragrafi successivi.

Gli effetti dell'azione sismica sugli elementi costruttivi senza funzione strutturale possono essere determinati applicando agli elementi detti una forza orizzontale F_a definita come segue:

$$F_a = (S_a \cdot W_a) / q_a$$

dove

F_a è la forza sismica orizzontale agente al centro di massa dell'elemento non strutturale nella direzione più sfavorevole;

W_a è il peso dell'elemento;

S_a è l'accelerazione massima, adimensionalizzata rispetto a quella di gravità, che l'elemento strutturale subisce durante il sisma e corrisponde allo stato limite in esame;

q_a è il fattore di struttura dell'elemento.

In assenza di specifiche determinazioni, per q_a si possono assumere i valori riportati in Tab. 7.2.I.

In mancanza di analisi più accurate S_a può essere calcolato nel seguente modo:

$$S_a = \alpha \cdot S \cdot \left[\frac{3 \cdot (1 + Z/H)}{1 + (1 - T_a/T_1)^2} - 0,5 \right]$$

dove:

α è il rapporto tra l'accelerazione massima del terreno a_g su sottosuolo tipo A da considerare nello stato limite in esame e l'accelerazione di gravità g ;

S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;

T_a è il periodo fondamentale di vibrazione dell'elemento non strutturale;

T_1 è il periodo fondamentale di vibrazione della costruzione nella direzione considerata;

Z è la quota del baricentro dell'elemento non strutturale misurata a partire dal piano di fondazione;

H è l'altezza della costruzione misurata a partire dal piano di fondazione.

Per le strutture con isolamento sismico si assume sempre $Z=0$.

Il valore del coefficiente sismico S_a non può essere assunto minore di $\alpha \cdot S$.

Tabella 7.2.I – Valori di q_a per elementi non strutturale

Elemento non strutturale	q_a
Parapetti o decorazioni aggettanti	1,0
Insegne e pannelli pubblicitari	
Ciminiere, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole senza controventi per più di metà della loro altezza	
Pareti interne ed esterne	
Tramezzature e facciate	2,0
Ciminiere, antenne e serbatoi su supporti funzionanti come mensole non controventate per meno di metà della loro altezza o connesse alla struttura in corrispondenza o al di sopra del loro centro di massa	
Elementi di ancoraggio per armadi e librerie permanenti direttamente poggianti sul pavimento	
Elementi di ancoraggio per controsoffitti e corpi illuminanti	

3.2.1. D.L. 192/2005 E D.L. 311/2006

Riportiamo adesso il **Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192** e successive modifiche importate dal **Decreto Legislativo n. 311 del 2006**.

Titolo I - PRINCIPI GENERALI

Art. 1. Finalità

- 1) Il presente decreto 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.
- 2) Il presente decreto disciplina in particolare:
 - a) la metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche integrate degli edifici;
 - b) l'applicazione di requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici;
 - c) i criteri generali per la certificazione energetica degli edifici;
 - d) le ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione;
 - e) i criteri per garantire la qualificazione e l'indipendenza degli esperti incaricati della certificazione energetica e delle ispezioni degli impianti;
 - f) la raccolta delle informazioni e delle esperienze, delle elaborazioni e degli studi necessari all'orientamento della politica energetica del settore;
 - g) 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.
- 3) Ai fini di cui al comma 1, lo Stato, le regioni e le province autonome, avvalendosi di meccanismi di raccordo e cooperazione, predispongono programmi, interventi e strumenti volti, nel rispetto dei principi di semplificazione e di coerenza normativa, alla:

- a) attuazione omogenea e coordinata delle presenti norme;
- b) sorveglianza dell'attuazione delle norme, anche attraverso la raccolta e l'elaborazione di informazioni e di dati;
- c) realizzazione di studi che consentano adeguamenti legislativi nel rispetto delle esigenze dei cittadini e dello sviluppo del mercato;
- d) promozione dell'uso razionale dell'energia e delle fonti rinnovabili, anche attraverso la sensibilizzazione e l'informazione degli utenti finali.

Art. 2. Definizioni

1) Ai fini del presente decreto si definisce:

- a) **«edificio»** è un sistema costituito dalle strutture edilizie esterne che delimitano uno spazio di volume definito, dalle strutture interne che ripartiscono detto volume e da tutti gli impianti e dispositivi tecnologici che si trovano stabilmente al suo interno; la superficie esterna che delimita un edificio può confinare con tutti o alcuni di questi elementi: l'ambiente esterno, il terreno, altri edifici; il termine può riferirsi a un intero edificio ovvero a parti di edificio progettate o ristrutturate per essere utilizzate come unità immobiliari a sé stanti;
- b) **«edificio di nuova costruzione»** è un edificio per il quale la richiesta di permesso di costruire o denuncia di inizio attività, comunque denominato, sia stata presentata successivamente alla data di entrata in vigore del presente decreto;
- c) **«prestazione energetica, efficienza energetica ovvero rendimento di un edificio»** è la quantità annua di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi ad un uso standard dell'edificio, compresi la climatizzazione invernale e estiva, la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari, la ventilazione e l'illuminazione. Tale quantità viene espressa da uno o più descrittori che tengono conto della coibentazione, delle caratteristiche tecniche e di installazione, della progettazione e della posizione in relazione agli aspetti climatici, dell'esposizione

al sole e dell'influenza delle strutture adiacenti, dell'esistenza di sistemi di trasformazione propria di energia e degli altri fattori, compreso il clima degli ambienti interni, che influenzano il fabbisogno energetico;

- d) «**attestato di certificazione energetica o di rendimento energetico dell'edificio**» è il documento redatto nel rispetto delle norme contenute nel presente decreto, attestante la prestazione energetica ed eventualmente alcuni parametri energetici caratteristici dell'edificio;
 - e) «**cogenerazione**» è la produzione e l'utilizzo simultanei di energia meccanica o elettrica e di energia termica a partire dai combustibili primari, nel rispetto di determinati criteri qualitativi di efficienza energetica;
 - f) «**sistema di condizionamento d'aria**» è il complesso di tutti i componenti necessari per un sistema di trattamento dell'aria, attraverso il quale la temperatura è controllata o può essere abbassata, eventualmente in combinazione con il controllo della ventilazione, dell'umidità e della purezza dell'aria;
 - g) «**generatore di calore o caldaia**» è il complesso bruciatore-caldaia che permette di trasferire al fluido termovettore il calore prodotto dalla combustione;
 - h) «**potenza termica utile di un generatore di calore**» è la quantità di calore trasferita nell'unità di tempo al fluido termovettore; l'unità di misura utilizzata è il kW;
 - i) «**pompa di calore**» è un dispositivo o un impianto che sottrae calore dall'ambiente esterno o da una sorgente di calore a bassa temperatura e lo trasferisce all'ambiente a temperatura controllata;
 - j) «**valori nominali delle potenze e dei rendimenti**» sono i valori di potenza massima e di rendimento di un apparecchio specificati e garantiti dal costruttore per il regime di funzionamento continuo.
- 2) Ai fini del presente decreto si applicano, inoltre, le definizioni dell'allegato A.

Art. 3. Ambito di intervento

- 1) Salve le esclusioni di cui al comma 3, il presente decreto si applica, ai fini del contenimento dei consumi energetici:
 - a) alla progettazione e realizzazione di edifici di nuova costruzione e degli impianti in essi installati, di nuovi impianti installati in edifici esistenti, delle opere di ristrutturazione degli edifici e degli impianti esistenti con le modalità e le eccezioni previste ai commi 2 e 3;
 - b) all'esercizio, controllo, manutenzione e ispezione degli impianti termici degli edifici, anche preesistenti, secondo quanto previsto agli articoli 7, 9 e 12;
 - c) alla certificazione energetica degli edifici, secondo quanto previsto all'articolo 6.
- 2) Nel caso di ristrutturazione di edifici esistenti, e per quanto riguarda i requisiti minimi prestazionali di cui all'articolo 4, è prevista un'applicazione graduale in relazione al tipo di intervento. A tale fine, sono previsti diversi gradi di applicazione:
 - a) una applicazione integrale a tutto l'edificio nel caso di:
 - I. ristrutturazione integrale degli elementi edilizi costituenti l'involucro di edifici esistenti di superficie utile superiore a 1.000 metri quadrati;
 - II. demolizione e ricostruzione in manutenzione straordinaria di edifici esistenti di superficie utile superiore a 1.000 metri quadrati;
 - b) una applicazione integrale, ma limitata al solo ampliamento dell'edificio nel caso che lo stesso ampliamento risulti volumetricamente superiore al 20 per cento dell'intero edificio esistente;
 - c) una applicazione limitata al rispetto di specifici parametri, livelli prestazionali e prescrizioni, nel caso di interventi su edifici esistenti, quali:
 - I. ristrutturazioni totali o parziali, manutenzione straordinaria dell'involucro edilizio e ampliamenti volumetrici all'infuori di quanto già previsto alle lettere a) e b);

- II. nuova installazione di impianti termici in edifici esistenti o ristrutturazione degli stessi impianti;
 - III. sostituzione di generatori di calore.
- 3) Sono escluse dall'applicazione del presente decreto le seguenti categorie di edifici e di impianti:
- a) gli immobili ricadenti nell'ambito della disciplina della parte seconda e dell'articolo 136, comma 1, lettere b) e c), del decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, recante il codice dei beni culturali e del paesaggio nei casi in cui il rispetto delle prescrizioni implicherebbe una alterazione inaccettabile del loro carattere o aspetto con particolare riferimento ai caratteri storici o artistici;
 - b) i fabbricati industriali, artigianali e agricoli non residenziali quando gli ambienti sono riscaldati per esigenze del processo produttivo o utilizzando reflui energetici del processo produttivo non altrimenti utilizzabili;
 - c) i fabbricati isolati con una superficie utile totale inferiore a 50 metri quadrati;
 - d) gli impianti installati ai fini del processo produttivo realizzato nell'edificio, anche se utilizzati, in parte non preponderante, per gli usi tipici del settore civile.

Art. 4. Adozione di criteri generali, di una metodologia di calcolo e requisiti della prestazione energetica

- 1) Entro centoventi giorni dalla data di entrata in vigore del presente decreto, con uno o più decreti del Presidente della Repubblica, sono definiti: *(regolamento emesso con d.P.R. n. 59 del 2009)*
- a) i criteri generali, le metodologie di calcolo e i requisiti minimi finalizzati al contenimento dei consumi di energia e al raggiungimento degli obiettivi di cui all'articolo 1, tenendo conto di quanto riportato nell'allegato «B» e della destinazione d'uso degli edifici. Questi decreti disciplinano la progettazione, l'installazione, l'esercizio, la manutenzione e l'ispezione degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici, per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari e,

- limitatamente al settore terziario, per l'illuminazione artificiale degli edifici;
- b) i criteri generali di prestazione energetica per l'edilizia sovvenzionata e convenzionata, nonché per l'edilizia pubblica e privata, anche riguardo alla ristrutturazione degli edifici esistenti e sono indicate le metodologie di calcolo e i requisiti minimi finalizzati al raggiungimento degli obiettivi di cui all'articolo 1, tenendo conto di quanto riportato nell'allegato «B» e della destinazione d'uso degli edifici;
 - c) i requisiti professionali e i criteri di accreditamento per assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli esperti o degli organismi a cui affidare la certificazione energetica degli edifici e l'ispezione degli impianti di climatizzazione. I requisiti minimi sono rivisti ogni cinque anni e aggiornati in funzione dei progressi della tecnica.
- 2) I decreti di cui al comma 1 sono adottati su proposta del Ministro delle attività produttive, di concerto con il Ministro delle infrastrutture e dei trasporti e con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio, acquisita l'intesa con la Conferenza unificata, sentiti il Consiglio nazionale delle ricerche, di seguito denominato CNR, l'Ente per le nuove tecnologie l'energia e l'ambiente, di seguito denominato ENEA, il Consiglio nazionale consumatori e utenti, di seguito denominato CNCU.

Art. 5. Meccanismi di cooperazione

- 1) Il Ministro delle attività produttive, di concerto con i Ministri dell'ambiente e della tutela del territorio e delle infrastrutture e dei trasporti, acquisita l'intesa con la Conferenza unificata, promuove, senza nuovi o ulteriori oneri a carico del bilancio dello Stato, iniziative di raccordo, concertazione e cooperazione per l'attuazione dei decreti di cui all'articolo 4, comma 1, anche con il supporto dell'ENEA e del CNR, finalizzati a:
- a) favorire l'integrazione della questione energetico ambientale nelle diverse politiche di settore;
 - b) sviluppare e qualificare i servizi energetici di pubblica utilità;

- c) favorire la realizzazione di un sistema di ispezione degli impianti all'interno degli edifici, minimizzando l'impatto e i costi di queste attività sugli utenti finali;
- d) sviluppare un sistema per un'applicazione integrata ed omogenea su tutto il territorio nazionale della normativa;
- e) predisporre progetti mirati, atti a favorire la qualificazione professionale e l'occupazione.

Art. 6. Certificazione energetica degli edifici

- 1) Entro un anno dalla data di entrata in vigore del presente decreto, gli edifici di nuova costruzione e quelli di cui all'articolo 3, comma 2, lettera a), sono dotati, al termine della costruzione medesima ed a cura del costruttore, di un attestato di certificazione energetica, redatto secondo i criteri e le metodologie di cui all'articolo 4, comma 1.

1-bis) Le disposizioni del presente articolo si applicano agli edifici che non ricadono nel campo di applicazione del comma 1 con la seguente gradualità temporale e con onere a carico del venditore o, con riferimento al comma 4, del locatore:

- a) a decorrere dal 1° luglio 2007, agli edifici di superficie utile superiore a 1000 metri quadrati, nel caso di trasferimento a titolo oneroso dell'intero immobile;
- b) a decorrere dal 1° luglio 2008, agli edifici di superficie utile fino a 1000 metri quadrati, nel caso di trasferimento a titolo oneroso dell'intero immobile con l'esclusione delle singole unità immobiliari;
- c) a decorrere dal 1° luglio 2009 alle singole unità immobiliari, nel caso di trasferimento a titolo oneroso.

1-ter) A decorrere dal 1° gennaio 2007, l'attestato di certificazione energetica dell'edificio o dell'unità immobiliare interessata, conforme a quanto specificato al comma 6, è necessario per accedere agli incentivi ed alle agevolazioni di qualsiasi natura, sia come sgravi fiscali o contributi a carico di fondi pubblici o della generalità degli utenti, finalizzati al miglioramento delle prestazioni energetiche dell'unità immobiliare, dell'edificio o degli impianti. Sono in ogni caso fatti salvi i diritti acquisiti

ed il legittimo affidamento in relazione ad iniziative già formalmente avviate a realizzazione o notificate all'amministrazione competente, per le quali non necessita il preventivo assenso o concessione da parte della medesima.

- 1-quater) A decorrere dal 1° luglio 2007, tutti i contratti, nuovi o rinnovati, relativi alla gestione degli impianti termici o di climatizzazione degli edifici pubblici, o nei quali figura comunque come committente un soggetto pubblico, debbono prevedere la predisposizione dell'attestato di certificazione energetica dell'edificio o dell'unità immobiliare interessati entro i primi sei mesi di vigenza contrattuale, con predisposizione ed esposizione al pubblico della targa energetica.
- 2) La certificazione per gli appartamenti di un condominio può fondarsi, oltre sulla valutazione dell'appartamento interessato:
- a) su una certificazione comune dell'intero edificio, per i condomini dotati di un impianto termico comune;
 - b) sulla valutazione di un altro appartamento rappresentativo dello stesso condominio e della stessa tipologia.
- 2-bis) Salvo quanto previsto dall'articolo 8, comma 2, l'attestato di qualificazione energetica può essere predisposto a cura dell'interessato, al fine di semplificare il rilascio della certificazione energetica, come precisato al comma 2 dell'allegato A
- 3) Nel caso di trasferimento a titolo oneroso di interi immobili o di singole unità immobiliari già dotati di attestato di certificazione energetica in base ai commi 1, 1bis, 1 ter e 1 quater, detto attestato è allegato all'atto di trasferimento a titolo oneroso, in originale o copia autenticata (*comma abrogato dall'articolo 35, comma 2-bis, legge n. 133 del 2008*).
- 4) Nel caso di locazione di interi immobili o di singole unità immobiliari già dotati di attestato di certificazione energetica in base ai commi 1, 1bis, 1 ter e 1 quater, detto attestato è messo a disposizione del conduttore o ad esso consegnato in copia dichiarata dal proprietario conforme all'originale in suo possesso (*comma abrogato dall'articolo 35, comma 2-bis, legge n. 133 del 2008*).
- 5) L'attestato relativo alla certificazione energetica, rilasciato ai sensi del comma 1, ha una validità temporale massima di dieci anni a partire dal suo

rilascio, ed è aggiornato ad ogni intervento di ristrutturazione che modifica la prestazione energetica dell'edificio o dell'impianto.

- 6) L'attestato di certificazione energetica comprende i dati relativi all'efficienza energetica propri dell'edificio, i valori vigenti a norma di legge e valori di riferimento, che consentono ai cittadini di valutare e confrontare la prestazione energetica dell'edificio. L'attestato è corredato da suggerimenti in merito agli interventi più significativi ed economicamente convenienti per il miglioramento della predetta prestazione.
- 7) Negli edifici di proprietà pubblica o adibiti ad uso pubblico, la cui metratura utile totale supera i 1.000 metri quadrati, l'attestato di certificazione energetica è affisso nello stesso edificio a cui si riferisce in luogo facilmente visibile per il pubblico.
- 8) Gli edifici di proprietà pubblica che sono oggetto dei programmi di cui all'articolo 13, comma 2, dei decreti adottati dal Ministero delle attività produttive il 20 luglio 2004, sono tenuti al rispetto dei commi 5 e 6 e all'affissione dell'attestato di certificazione energetica in luogo facilmente visibile al pubblico.
- 9) Entro centottanta giorni dalla data di entrata in vigore del presente decreto, il Ministro delle attività produttive, di concerto con i Ministri dell'ambiente e della tutela del territorio, delle infrastrutture e dei trasporti, d'intesa con la Conferenza unificata, avvalendosi delle metodologie di calcolo definite con i decreti di cui all'articolo 4, comma 1, e tenuto conto di quanto previsto nei commi precedenti, predisporre Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici, sentito il CNCU, prevedendo anche metodi semplificati che minimizzino gli oneri.

Art. 7. Esercizio e manutenzione degli impianti termici per la climatizzazione invernale e estiva

- 1) Il proprietario, il conduttore, l'amministratore di condominio, o per essi un terzo, che se ne assume la responsabilità, mantiene in esercizio gli impianti e provvede affinché siano eseguite le operazioni di controllo e di manutenzione secondo le prescrizioni della normativa vigente.

- 2) L'operatore incaricato del controllo e della manutenzione degli impianti per la climatizzazione invernale ed estiva, esegue dette attività a regola d'arte, nel rispetto della normativa vigente. L'operatore, al termine delle medesime operazioni, ha l'obbligo di redigere e sottoscrivere un rapporto di controllo tecnico conformemente ai modelli previsti dalle norme del presente decreto e dalle norme di attuazione, in relazione alle tipologie e potenzialità dell'impianto, da rilasciare al soggetto di cui al comma 1 che ne sottoscrive copia per ricevuta e presa visione.

Art. 8. Relazione tecnica, accertamenti e ispezioni

- 1) La documentazione progettuale di cui all'articolo 28, comma 1, della legge 9 gennaio 1991, n. 10, è compilata secondo le modalità stabilite con decreto del Ministro delle attività produttive, di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio, da adottare entro centottanta giorni dalla data di entrata in vigore del presente decreto, sentita la Conferenza unificata.
- 2) La conformità delle opere realizzate rispetto al progetto e alle sue eventuali varianti ed alla relazione tecnica di cui al comma 1, nonché l'attestato di qualificazione energetica dell'edificio come realizzato, devono essere asseverati dal direttore dei lavori e presentati al comune di competenza contestualmente alla dichiarazione di fine lavori senza alcun onere aggiuntivo per il committente. La dichiarazione di fine lavori è inefficace a qualsiasi titolo se la stessa non è accompagnata da tale documentazione asseverata.
- 3) Una copia della documentazione di cui ai commi 1 e 2 è conservata dal comune, anche ai fini degli accertamenti di cui al comma 4. A tale scopo, il comune può richiedere la consegna della documentazione anche in forma informatica.
- 4) Il Comune, anche avvalendosi di esperti o di organismi esterni, qualificati e indipendenti, definisce le modalità di controllo, ai fini del rispetto delle prescrizioni del presente decreto, accertamenti e ispezioni in corso d'opera, ovvero entro cinque anni dalla data di fine lavori dichiarata dal committente, volte a verificare la conformità alla documentazione progettuale di cui al comma 1.

- 5) I Comuni effettuano le operazioni di cui al comma 4 anche su richiesta del committente, dell'acquirente o del conduttore dell'immobile. Il costo degli accertamenti ed ispezioni di cui al presente comma è posto a carico dei richiedenti.

Art. 9. Funzioni delle regioni e degli enti locali

- 1) Le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano provvedono all'attuazione del presente decreto.
- 2) Le autorità competenti realizzano, con cadenza periodica, privilegiando accordi tra gli enti locali o anche attraverso altri organismi pubblici o privati di cui sia garantita la qualificazione e l'indipendenza, gli accertamenti e le ispezioni necessarie all'osservanza delle norme relative al contenimento dei consumi di energia nell'esercizio e manutenzione degli impianti di climatizzazione e assicurano che la copertura dei costi avvenga con una equa ripartizione tra tutti gli utenti finali e l'integrazione di questa attività nel sistema delle ispezioni degli impianti all'interno degli edifici previsto all'articolo 1, comma 44, della legge 23 agosto 2004, n. 239, così da garantire il minor onere e il minor impatto possibile a carico dei cittadini; tali attività, le cui metodologie e requisiti degli operatori sono previsti dai decreti di cui all'articolo 4, comma 1, sono svolte secondo principi di imparzialità, trasparenza, pubblicità, omogeneità territoriale e sono finalizzate:
 - a) ridurre il consumo di energia e i livelli di emissioni inquinanti;
 - b) correggere le situazioni non conformi alle prescrizioni del presente decreto;
 - c) rispettare quanto prescritto all'articolo 7;
 - d) monitorare l'efficacia delle politiche pubbliche.
- 3) Le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano, allo scopo di facilitare e omogeneizzare territorialmente l'impegno degli enti o organismi preposti agli accertamenti e alle ispezioni sugli edifici e sugli impianti, nonché per adempiere in modo più efficace agli obblighi previsti al comma 2, possono promuovere la realizzazione di programmi informatici per la costituzione dei catasti degli impianti di climatizzazione presso le autorità competenti, senza nuovi o maggiori oneri per gli enti

interessati. In questo caso, stabilendo contestualmente l'obbligo per i soggetti di cui all'articolo 7, comma 1, di comunicare ai Comuni le principali caratteristiche del proprio impianto e le successive modifiche significative e per i soggetti di cui all'articolo 17 del d.P.R. 22 dicembre 1999, n. 551, di comunicare le informazioni relative all'ubicazione e alla titolarità degli impianti riforniti negli ultimi dodici mesi.

3-bis) Ai sensi dell'articolo 1, comma 3, le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano in accordo con gli enti locali, predispongono entro il 31 dicembre 2008 un programma di sensibilizzazione e riqualificazione energetica del parco immobiliare territoriale, sviluppando in particolare alcuni dei seguenti aspetti:

- a) la realizzazione di campagne di informazione e sensibilizzazione dei cittadini, anche in collaborazione con le imprese distributrici di energia elettrica e gas, in attuazione dei decreti del Ministro delle attività produttive 20 luglio 2004 concernenti l'efficienza energetica negli usi finali;
- b) l'attivazione di accordi con le parti sociali interessate alla materia;
- c) l'applicazione di un sistema di certificazione energetica coerente con i principi generali del presente decreto legislativo;
- d) la realizzazione di diagnosi energetiche a partire dagli edifici presumibilmente a più bassa efficienza;
- e) la definizione di regole coerenti con i principi generali del presente decreto legislativo per eventuali sistemi di incentivazione locali;
- f) la facoltà di promuovere, con istituti di credito, di strumenti di finanziamento agevolato destinati alla realizzazione degli interventi di miglioramento individuati con le diagnosi energetiche nell'attestato di certificazione energetica, o in occasione delle attività ispettive di cui all'allegato L, comma 16.

3-ter) Ai fini della predisposizione del programma di cui al comma 4, i comuni possono richiedere ai proprietari e agli amministratori degli immobili nel territorio di competenza di fornire gli elementi essenziali, complementari a quelli previsti per il catasto degli impianti di climatizzazione di cui al comma 3, per la costituzione di un sistema informativo relativo agli usi energetici degli edifici. A titolo esemplificativo, tra detti elementi, si

segnalano: il volume lordo climatizzato, la superficie utile corrispondente e i relativi consumi di combustibile e di energia elettrica.

3-quater) Su richiesta delle regioni e dei comuni, le aziende di distribuzione dell'energia rendono disponibili i dati che le predette amministrazioni ritengono utili per i riscontri e le elaborazioni necessarie alla migliore costituzione del sistema informativo di cui al comma 5.

3-quinquies) I dati di cui ai commi 3, 5 e 6 possono essere utilizzati dalla pubblica amministrazione esclusivamente ai fini dell'applicazione del presente decreto legislativo.

4) Per gli impianti che sono dotati di generatori di calore di età superiore a quindici anni, le autorità competenti effettuano, con le stesse modalità previste al comma 2, ispezioni dell'impianto termico nel suo complesso comprendendo una valutazione del rendimento medio stagionale del generatore e una consulenza su interventi migliorativi che possono essere correlati.

5) Le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano riferiscono periodicamente alla Conferenza unificata e ai Ministeri delle attività produttive, dell'ambiente e della tutela del territorio e delle infrastrutture e dei trasporti, sullo stato di attuazione del presente decreto.

6) Le regioni, le province autonome di Trento e di Bolzano e gli enti locali considerano, nelle normative e negli strumenti di pianificazione ed urbanistici di competenza, le norme contenute nel presente decreto, ponendo particolare attenzione alle soluzioni tipologiche e tecnologiche volte all'uso razionale dell'energia e all'uso di fonti energetiche rinnovabili, con indicazioni anche in ordine all'orientamento e alla conformazione degli edifici da realizzare per massimizzare lo sfruttamento della radiazione solare e con particolare cura nel non penalizzare, in termini di volume edificabile, le scelte conseguenti.

Titolo III - DISPOSIZIONI FINALI

Art. 13. Misure di accompagnamento

- 1) Il Ministero delle attività produttive, predispone programmi, progetti e strumenti di informazione, educazione e formazione al risparmio energetico.
- 2) I programmi e i progetti di cui sopra privilegiano le sinergie di competenza e di risorse dei pertinenti settori delle amministrazioni regionali e possono essere realizzati anche avvalendosi di accordi con enti tecnico scientifici e agenzie, pubblici e privati. Gli stessi programmi e progetti hanno come obiettivo:
 - a) la piena attuazione del presente decreto attraverso nuove e incisive forme di comunicazione rivolte ai cittadini, e agli operatori del settore tecnico e del mercato immobiliare;
 - b) la sensibilizzazione degli utenti finali e della scuola con particolare attenzione alla presa di coscienza che porti a modifiche dei comportamenti dei cittadini anche attraverso la diffusione di indicatori che esprimono l'impatto energetico e ambientale a livello individuale e collettivo. Tra questi indicatori, per immediatezza ed elevato contenuto comunicativo, si segnala l'impronta ecologica;
 - c) l'aggiornamento del circuito professionale e la formazione di nuovi operatori per lo sviluppo e la qualificazione di servizi, anche innovativi, nelle diverse fasi del processo edilizio con particolare attenzione all'efficienza energetica e alla installazione e manutenzione degli impianti di climatizzazione e illuminazione;
 - d) la formazione di esperti qualificati e indipendenti a cui affidare il sistema degli accertamenti e delle ispezioni edili ed impiantistiche.
- 3) Le attività per il raggiungimento degli obiettivi di cui al comma 2, lettere a) e b), sono integrate nel piano nazionale di educazione e informazione sul risparmio e sull'uso efficiente dell'energia realizzato dal Ministero delle attività produttive, di concerto con il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio, ai sensi dell'articolo 1, comma 119, lettera a), della legge 23 agosto 2004, n. 239, limitatamente agli anni 2005 e 2006. Gli strumenti

predisposti nell'ambito di questa attività e i risultati raggiunti sono resi disponibili alle regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano.

- 4) Le attività per il raggiungimento degli obiettivi di cui al comma 2, lettere c) e d) competono alle regioni e alle province autonome di Trento e Bolzano, che possono provvedervi nell'ambito delle risorse umane, finanziarie e strumentali disponibili a legislazione vigente.

Art. 17. Clausola di cedevolezza

- 1) In relazione a quanto disposto dall'articolo 117, quinto comma, della Costituzione, e fatto salvo quanto previsto dall'articolo 16, comma 3, della legge 4 febbraio 2005, n. 11, per le norme afferenti a materie di competenza esclusiva delle regioni e province autonome, le norme del presente decreto e dei decreti ministeriali applicativi nelle materie di legislazione concorrente si applicano per le regioni e province autonome che non abbiano ancora provveduto al recepimento della direttiva 2002/91/CE fino alla data di entrata in vigore della normativa di attuazione adottata da ciascuna regione e provincia autonoma. Nel dettare la normativa di attuazione le regioni e le province autonome sono tenute al rispetto dei vincoli derivanti dall'ordinamento comunitario e dei principi fondamentali desumibili dal presente decreto e dalla stessa direttiva 2002/91/CE.

3.2.2. LEGGE 10/1991

È utile avere un accenno anche sulla normativa precedente cioè la **Legge 9 gennaio 1991, n. 10** riguardante le Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso nazionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia, che ha ancora parti attive sull'attuale normativa.

Art. 26. Progettazione, messa in opera ed esercizio di edifici e di impianti

- 1) Ai nuovi impianti, lavori, opere, modifiche, installazioni, relativi alle fonti rinnovabili di energia, alla conservazione, al risparmio e all'uso razionale dell'energia, si applicano le disposizioni di cui all'articolo 9 della legge 28 gennaio 1977, n 10, nel rispetto delle norme urbanistiche, di tutela artistico-storica e ambientale. Gli interventi di utilizzo delle fonti di energia di cui all'articolo 1 in edifici ed impianti industriali non sono soggetti ad autorizzazione specifica e sono assimilati a tutti gli effetti alla manutenzione straordinaria di cui agli articoli 31 e 48 della legge 5 agosto 1978, n 457. L'installazione di impianti solari e di pompe di calore da parte di installatori qualificati, destinati unicamente alla produzione di acqua calda e di aria negli edifici esistenti e negli spazi liberi privati annessi, è considerata estensione dell'impianto idricosanitario già in opera.
- 2) Per gli interventi sugli edifici e sugli impianti volti al contenimento del consumo energetico ed all'utilizzazione delle fonti di energia di cui all'articolo 1, individuati attraverso un attestato di certificazione energetica o una diagnosi energetica realizzata da un tecnico abilitato, le pertinenti decisioni condominiali sono valide se adottate con la maggioranza semplice delle quote millesimali rappresentate dagli intervenuti in assemblea.
(comma così modificato da ultimo dall'articolo 27, comma 22, legge n. 99 del 2009)
- 3) Gli edifici pubblici e privati, qualunque ne sia la destinazione d'uso, e gli impianti non di processo ad essi associati devono essere progettati e messi in opera in modo tale da contenere al massimo, in relazione al progresso della tecnica, i consumi di energia termica ed elettrica.

- 4) Ai fini di cui al comma 3 e secondo quanto previsto dal comma 1 dell'articolo 4, sono regolate, con riguardo ai momenti della progettazione, della messa in opera e dell'esercizio, le caratteristiche energetiche degli edifici e degli impianti non di processo ad essi associati, nonché dei componenti degli edifici e degli impianti.
- 5) Per le innovazioni relative all'adozione di sistemi di termoregolazione e di contabilizzazione del calore e per il conseguente riparto degli oneri di riscaldamento in base al consumo effettivamente registrato, l'assemblea di condominio decide a maggioranza, in deroga agli articoli 1120 e 1136 del codice civile.
- 6) Gli impianti di riscaldamento al servizio di edifici di nuova costruzione, la cui concessione edilizia sia rilasciata dopo la data di entrata in vigore della presente legge, devono essere progettati e realizzati in modo tale da consentire l'adozione di sistemi di termoregolazione e di contabilizzazione del calore per ogni singola unità immobiliare.
- 7) Negli edifici di proprietà pubblica o adibiti ad uso pubblico è fatto obbligo di soddisfare il fabbisogno energetico degli stessi favorendo il ricorso a fonti rinnovabili di energia o assimilate salvo impedimenti di natura tecnica od economica.
- 8) La progettazione di nuovi edifici pubblici deve prevedere la realizzazione di ogni impianto, opera ed installazione utili alla conservazione, al risparmio e all'uso razionale dell'energia

Art. 27. Limiti ai consumi di energia

- 1) I consumi di energia termica ed elettrica ammessi per gli edifici sono limitati secondo quanto previsto dai decreti di cui all'articolo 4, in particolare in relazione alla destinazione d'uso degli edifici stessi, agli impianti di cui sono dotati e alla zona climatica di appartenenza.

Art. 28. Relazione tecnica sul rispetto delle prescrizioni

- 1) Il proprietario dell'edificio, o chi ne ha titolo, deve depositare in comune, in doppia copia, insieme alla denuncia dell'inizio dei lavori relativi alle opere di cui agli articoli 25 e 26, il progetto delle opere stesse corredate da

una relazione tecnica, sottoscritta dal progettista o dai progettisti, che ne attesti la rispondenza alle prescrizioni della presente legge.

- 2) Nel caso in cui la denuncia e la documentazione di cui al comma 1 non sono state presentate al comune prima dell'inizio dei lavori, il sindaco, fatta salva la sanzione amministrativa di cui all'articolo 34, ordina la sospensione dei lavori sino al compimento del suddetto adempimento.
- 3) *(abrogato dall'articolo 16 del d.lgs. n. 192 del 2005)*
- 4) *(abrogato dall'articolo 16 del d.lgs. n. 192 del 2005)*
- 5) La seconda copia della documentazione di cui al comma 1, restituita dal comune con l'attestazione dell'avvenuto deposito, deve essere consegnata a cura del proprietario dell'edificio, o di chi ne ha titolo, al direttore dei lavori ovvero, nel caso l'esistenza di questi non sia prevista dalla legislazione vigente, all'esecutore dei lavori. Il direttore ovvero l'esecutore dei lavori sono responsabili della conservazione di tale documentazione in cantiere.

Art. 31. Esercizio e manutenzione degli impianti

- 1) Durante l'esercizio degli impianti il proprietario, o per esso un terzo, che se ne assume la responsabilità, deve adottare misure necessarie per contenere i consumi di energia, entro i limiti di rendimento previsti dalla normativa vigente in materia.
- 2) Il proprietario, o per esso un terzo, che se ne assume la responsabilità, è tenuto a condurre gli impianti e a disporre tutte le operazioni di manutenzione ordinaria e straordinaria secondo le prescrizioni della vigente normativa UNI e CEI.
- 3) I comuni con più di quarantamila abitanti e le province per la restante parte del territorio effettuano i controlli necessari e verificano con cadenza almeno biennale l'osservanza delle norme relative al rendimento di combustione, anche avvalendosi di organismi esterni aventi specifica competenza tecnica, con onere a carico degli utenti.
- 4) I contratti relativi alla fornitura di energia e alla conduzione degli impianti di cui alla presente legge, contenenti clausole in contrasto con essa, sono nulli. Ai contratti che contengono clausole difformi si applica l'articolo 1339 del codice civile.

Art. 32. Certificazioni e informazioni ai consumatori

- 1) Ai fini della commercializzazione, le caratteristiche e le prestazioni energetiche dei componenti degli edifici e degli impianti devono essere certificate secondo le modalità stabilite con proprio decreto dal Ministro dell'industria, del commercio e dell'artigianato, di concerto con il Ministro dei lavori pubblici, entro centoventi giorni dalla data di entrata in vigore della presente legge.
- 2) Le imprese che producono o commercializzano i componenti di cui al comma 1 sono obbligate a riportare su di essi gli estremi dell'avvenuta certificazione.

Art. 33. Controlli e verifiche

- 1) *(abrogato dall'articolo 16 del d.lgs. n. 192 del 2005)*
- 2) *(abrogato dall'articolo 16 del d.lgs. n. 192 del 2005)*
- 3) In caso di accertamento di difformità in corso d'opera il sindaco ordina la sospensione dei lavori.
- 4) In caso di accertamento di difformità su opere terminate il sindaco ordina, a carico del proprietario, le modifiche necessarie per adeguare l'edificio alle caratteristiche previste dalla presente legge.
- 5) Nei casi previsti dai commi 3 e 4 il sindaco informa il prefetto per la irrogazione delle sanzioni di cui all'articolo 34.

Art. 34. Sanzioni

- 1) L'inosservanza dell'obbligo di cui al comma 1 dell'articolo 28 è punita con la sanzione amministrativa non inferiore a lire un milione e non superiore a lire cinque milioni.
- 2) Il proprietario dell'edificio nel quale sono eseguite opere difformi dalla documentazione depositata ai sensi dell'articolo 28 e che non osserva le disposizioni degli articoli 26 e 27 è punito con la sanzione amministrativa in misura non inferiore al 5 per cento e non superiore al 25 per cento del valore delle opere.
- 3) *(abrogato dall'articolo 16 del d.lgs. n. 192 del 2005)*

- 4) Il collaudatore che non ottempera a quanto stabilito dall'articolo 29 è punito con la sanzione amministrativa pari al 50 per cento della parcella calcolata secondo la vigente tariffa professionale
- 5) Il proprietario o l'amministratore del condominio, o l'eventuale terzo che se ne è assunta la responsabilità, che non ottempera a quanto stabilito dall'articolo 31, commi 1 e 2, è punito con la sanzione amministrativa non inferiore a lire un milione e non superiore a lire cinque milioni. Nel caso in cui venga sottoscritto un contratto nullo ai sensi del comma 4 del medesimo articolo 31, le parti sono punite ognuna con la sanzione amministrativa pari a un terzo dell'importo del contratto sottoscritto, fatta salva la nullità dello stesso.
- 6) L'inosservanza delle prescrizioni di cui all'articolo 32 è punita con la sanzione amministrativa non inferiore a lire cinque milioni e non superiore a lire cinquanta milioni, fatti salvi i casi di responsabilità penale.
- 7) Qualora soggetto della sanzione amministrativa sia un professionista, l'autorità che applica la sanzione deve darne comunicazione all'ordine professionale di appartenenza per i provvedimenti disciplinari conseguenti.
- 8) L'inosservanza della disposizione che impone la nomina, ai sensi dell'articolo 19, del tecnico responsabile per la conservazione e l'uso razionale dell'energia, è punita con la sanzione amministrativa non inferiore a lire dieci milioni e non superiore a lire cento milioni.

Art. 35. Provvedimenti di sospensione dei lavori

- 1) Il sindaco, con provvedimento mediante il quale ordina la sospensione dei lavori, ovvero le modifiche necessarie per l'adeguamento dell'edificio, deve fissare il termine per la regolarizzazione. L'inosservanza del termine comporta la comunicazione al prefetto, l'ulteriore irrogazione della sanzione amministrativa e l'esecuzione forzata delle opere con spese a carico del proprietario.

Art. 36. Irregolarità rilevate dall'acquirente o dal conduttore

- 1) Qualora l'acquirente o il conduttore dell'immobile riscontra difformità dalle norme della presente legge, anche non emerse da eventuali precedenti verifiche, deve farne denuncia al comune entro un anno dalla

constatazione, a pena di decadenza dal diritto di risarcimento del danno da parte del committente o del proprietario.

Art. 37. Entrata in vigore delle norme e dei relativi decreti ministeriali

- 1) Le disposizioni entrano in vigore centottanta giorni dopo la data di pubblicazione della presente legge nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana e si applicano alle denunce di inizio lavori presentate ai comuni dopo tale termine di entrata in vigore.
- 2) I decreti ministeriali entrano in vigore centottanta giorni dopo la data della loro pubblicazione nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana e si applicano alle denunce di inizio lavori presentate ai comuni dopo tale termine di entrata in vigore.
- 3) La legge 30 aprile 1976, n 373, e la legge 18 novembre 1983, n 645, sono abrogate. Il decreto del Presidente della Repubblica 28 giugno 1977, n. 1052, si applica, in quanto compatibile con la presente legge, fino all'adozione dei decreti di cui ai commi 1, 2 e 4 dell'articolo 4, al comma 1 dell'articolo 30 e al comma 1 dell'articolo 32.

3.2.3. D.P.R. 59/2009

Il regolamento di attuazione del decreto 192 del 19 Agosto 2005 è stato emanato il 2 Aprile 2009 con il **Decreto del Presidente della Repubblica n° 59**, un documento molto dettagliato che va a considerare le diverse tipologie edilizie e i vari impianti.

Art. 3. Metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici e degli impianti

- 1) Ai fini dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo, per le metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici 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:

- a) UNI/TS 11300 - 1 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale;
 - b) 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.
- 2) Ai fini della certificazione degli edifici, le metodologie per il calcolo della prestazione energetica, sono riportate nelle Linee guida nazionali di cui al decreto del Ministro dello sviluppo economico, adottato ai sensi dell'articolo 6, comma 9, del decreto legislativo.

Art. 4. Criteri generali e requisiti delle prestazioni energetiche degli edifici e degli impianti

- 1) In attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo, i criteri generali e i requisiti della prestazione energetica per la progettazione degli edifici e per la progettazione ed installazione degli impianti, sono fissati dalla legge 9 gennaio 1991, n. 10, dal d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, come modificati dal decreto legislativo, dall'allegato

- C al decreto legislativo e dalle ulteriori disposizioni di cui al presente articolo.
- 2) Per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, nel caso di edifici di nuova costruzione e nei casi di ristrutturazione di edifici esistenti, previsti dall'articolo 3, comma 2, lettere a) e b), del decreto legislativo si procede, in sede progettuale alla determinazione dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale (E_{Pi}), e alla verifica che lo stesso risulti inferiore ai valori limite che sono riportati nella pertinente tabella di cui al punto 1 dell'allegato C al decreto legislativo.
- 3) Nel caso di edifici di nuova costruzione e nei casi di ristrutturazione di edifici esistenti, previsti dall'articolo 3, comma 2, lettere a) e b), del decreto legislativo, si procede in sede progettuale alla determinazione della prestazione energetica per il raffrescamento estivo dell'involucro edilizio (E_{pe, invol}), pari al rapporto tra il fabbisogno annuo di energia termica per il raffrescamento dell'edificio, calcolata tenendo conto della temperatura di progetto estiva secondo la norma UNI/TS 11300 - 1, e la superficie utile, per gli edifici residenziali, o il volume per gli edifici con altre destinazioni d'uso, e alla verifica che la stessa sia non superiore a:
- a) per gli edifici residenziali di cui alla classe E1, così come classificati, in base alla destinazione d'uso, all'articolo 3 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, esclusi collegi, conventi, case di pena e caserme, ai seguenti valori:
 - I. 40 kWh/m² anno nelle zone climatiche A e B;
 - II. 30 kWh/m² anno nelle zone climatiche C, D, E, e F;
 - b) per tutti gli altri edifici ai seguenti valori:
 - I. 14 kWh/m³ anno nelle zone climatiche A e B;
 - II. 10 kWh/m³ anno nelle zone climatiche C, D, E, e F.
- 4) Nei casi di ristrutturazione o manutenzione straordinaria, previsti all'articolo 3, comma 2, lettera c), numero 1), del decreto legislativo, consistenti in opere che prevedono, a titolo esemplificativo e non esaustivo, rifacimento di pareti esterne, di intonaci esterni, del tetto o

dell'impermeabilizzazione delle coperture, si applica quanto previsto alle lettere seguenti:

- a) per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, il valore della trasmittanza termica (U) per le strutture opache verticali, a ponte termico corretto, delimitanti il volume riscaldato verso l'esterno, ovvero verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento, deve essere inferiore o uguale a quello riportato nella tabella 2.1 al punto 2 dell'allegato C al decreto legislativo, in funzione della fascia climatica di riferimento. Qualora il ponte termico non dovesse risultare corretto o qualora la progettazione dell'involucro edilizio non preveda la correzione dei ponti termici, i valori limite della trasmittanza termica riportati nella tabella 2.1 al punto 2 dell'allegato C al decreto legislativo, devono essere rispettati dalla trasmittanza termica media, parete corrente più ponte termico; nel caso di pareti opache verticali esterne in cui fossero previste aree limitate oggetto di riduzione di spessore, sottofinestre e altri componenti, devono essere rispettati i limiti previsti nella tabella 2.1 al punto 2 dell'allegato C al decreto legislativo, con riferimento alla superficie totale di calcolo;
- b) per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, ad eccezione della categoria E.8, il valore della trasmittanza termica (U) per le strutture opache orizzontali o inclinate, a ponte termico corretto, delimitanti il volume riscaldato verso l'esterno, ovvero verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento, deve essere inferiore o uguale a quello riportato nelle tabelle 3.1 e 3.2 del punto 3 dell'allegato C al decreto legislativo, in funzione della fascia climatica di riferimento. Qualora il ponte termico non dovesse risultare corretto o qualora la progettazione dell'involucro edilizio non preveda la correzione dei ponti termici, i valori limite della trasmittanza termica riportati nelle tabelle 3.1 e 3.2 del punto 3 dell'allegato C al decreto legislativo, devono essere rispettati dalla trasmittanza termica media, parete corrente più ponte termico.

Nel caso di strutture orizzontali sul suolo i valori di trasmittanza termica da confrontare con quelli di cui alle tabelle 3.1 e 3.2 del punto 3 dell'allegato C al decreto legislativo, sono calcolati con riferimento al sistema struttura-terreno;

- c) per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, ad eccezione della categoria E.8, il valore massimo della trasmittanza (U) delle chiusure apribili ed assimilabili, quali porte, finestre e vetrine anche se non apribili, comprensive degli infissi, considerando le parti trasparenti e/o opache che le compongono, deve rispettare i limiti riportati nelle tabelle 4.a e 4.b al punto 4 dell'allegato C al decreto legislativo. Restano esclusi dal rispetto di detti requisiti gli ingressi pedonali automatizzati, da considerare solo ai fini dei ricambi di aria in relazione alle dimensioni, tempi e frequenze di apertura, conformazione e differenze di pressione tra l'ambiente interno ed esterno.
- 5) Per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, nel caso di nuova installazione e ristrutturazione di impianti termici o sostituzione di generatori di calore, previsti all'articolo 3, comma 2, lettera c), numeri 2) e 3), del decreto legislativo, si procede al calcolo del rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico e alla verifica che lo stesso risulti superiore al valore limite riportato al punto 5 dell'allegato C al decreto legislativo. Nel caso di installazioni di potenze nominali del focolare maggiori o uguali a 100 kW, è fatto obbligo di allegare alla relazione tecnica di cui all'articolo 8, comma 1, del decreto legislativo, una diagnosi energetica dell'edificio e dell'impianto nella quale si individuano gli interventi di riduzione della spesa energetica, i relativi tempi di ritorno degli investimenti, e i possibili miglioramenti di classe dell'edificio nel sistema di certificazione energetica in vigore, e sulla base della quale sono state determinate le scelte impiantistiche che si vanno a realizzare.
- 6) Per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, nel caso di mera sostituzione di generatori di calore, prevista all'articolo 3, comma

2, lettera c), numero 3), del decreto legislativo, si intendono rispettate tutte le disposizioni vigenti in tema di uso razionale dell'energia, incluse quelle di cui al comma 5, qualora coesistano le seguenti condizioni:

- a) i nuovi generatori di calore a combustione abbiano rendimento termico utile, in corrispondenza di un carico pari al 100 per cento della potenza termica utile nominale, maggiore o uguale al valore limite calcolato con la formula $90 + 2 \log P_n$, dove $\log P_n$ è il logaritmo in base 10 della potenza utile nominale del generatore, espressa in kW. Per valori di P_n maggiori di 400 kW si applica il limite massimo corrispondente a 400 kW;
- b) le nuove pompe di calore elettriche o a gas abbiano un rendimento utile in condizioni nominali, \hat{I}_u , riferito all'energia primaria, maggiore o uguale al valore limite calcolato con la formula $90 + 3 \log P_n$; dove $\log P_n$ è il logaritmo in base 10 della potenza utile nominale del generatore, espressa in kW; la verifica è fatta utilizzando come fattore di conversione tra energia elettrica ed energia primaria il valore di riferimento per la conversione tra kWh elettrici e MJ definito con provvedimento dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas, al fine di tener conto dell'efficienza media di produzione del parco termoelettrico, e suoi successivi aggiornamenti;
- c) siano presenti, salvo che ne sia dimostrata inequivocabilmente la non fattibilità tecnica nel caso specifico, almeno una centralina di termoregolazione programmabile per ogni generatore di calore e dispositivi modulanti per la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali o nelle singole zone che, per le loro caratteristiche di uso ed esposizione possano godere, a differenza degli altri ambienti riscaldati, di apporti di calore solari o comunque gratuiti. Detta centralina di termoregolazione si differenzia in relazione alla tipologia impiantistica e deve possedere almeno i requisiti già previsti all'articolo 7 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, nei casi di nuova installazione o ristrutturazione di impianti termici. In ogni caso detta centralina deve:

- I. essere pilotata da sonde di rilevamento della temperatura interna, supportate eventualmente da una analoga centralina per la temperatura esterna, con programmatore che consenta la regolazione della temperatura ambiente su due livelli di temperatura nell'arco delle 24 ore, nel caso di impianti termici centralizzati;
 - II. consentire la programmazione e la regolazione della temperatura ambiente su due livelli di temperatura nell'arco delle 24 ore, nel caso di impianti termici per singole unità immobiliari;
- d) nel caso di installazioni di generatori con potenza nominale del focolare maggiore del valore preesistente, l'aumento di potenza sia motivato con la verifica dimensionale dell'impianto di riscaldamento;
 - e) nel caso di installazione di generatori di calore a servizio di più unità immobiliari, sia verificata la corretta equilibratura del sistema di distribuzione, al fine di consentire contemporaneamente, in ogni unità immobiliare, il rispetto dei limiti minimi di comfort e dei limiti massimi di temperatura interna; eventuali squilibri devono essere corretti in occasione della sostituzione del generatore, eventualmente installando un sistema di contabilizzazione del calore che permetta la ripartizione dei consumi per singola unità immobiliare;
 - f) nel caso di sostituzione dei generatori di calore di potenza nominale del focolare inferiore a 35 kW, con altri della stessa potenza, è rimessa alle autorità locali competenti ogni valutazione sull'obbligo di presentazione della relazione tecnica di cui al comma 25 e se la medesima può essere omessa a fronte dell'obbligo di presentazione della dichiarazione di conformità ai sensi della legge 5 marzo 1990, n. 46, e successive modificazioni.
- 7) Qualora, nella mera sostituzione del generatore, per garantire la sicurezza, non fosse possibile rispettare le condizioni del comma 6, lettera a), in particolare nel caso in cui il sistema fumario per l'evacuazione dei prodotti della combustione è al servizio di più utenze ed è di tipo collettivo

ramificato, e qualora sussistano motivi tecnici o regolamenti locali che impediscano di avvalersi della deroga prevista all'articolo 2, comma 2, del d.P.R. 21 dicembre 1999, n. 551, la semplificazione di cui al comma 6 può applicarsi ugualmente, fermo restando il rispetto delle altre condizioni previste, a condizione di:

- a) installare generatori di calore che abbiano rendimento termico utile a carico parziale pari al 30 per cento della potenza termica utile nominale maggiore o uguale a $85 + 3 \log P_n$; dove $\log P_n$ è il logaritmo in base 10 della potenza utile nominale del generatore o dei generatori di calore al servizio del singolo impianto termico, espressa in kW. Per valori di P_n maggiori di 400 kW si applica il limite massimo corrispondente a 400 kW;
 - b) predisporre una dettagliata relazione che attesti i motivi della deroga dalle disposizioni del comma 6, da allegare alla relazione tecnica di cui al comma 25, ove prevista, o alla dichiarazione di conformità, ai sensi della legge 5 marzo 1990, n. 46, e successive modificazioni, correlata all'intervento, qualora le autorità locali competenti si avvalgano dell'opzione di cui alle lettere f) del comma 6.
- 8) Nei casi previsti al comma 2, per tutte le categorie degli edifici così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, e quando il rapporto tra la superficie trasparente complessiva dell'edificio e la sua superficie utile è inferiore a 0,18, il calcolo del fabbisogno annuo di energia primaria può essere omissivo, se gli edifici e le opere sono progettati e realizzati nel rispetto dei limiti fissati al comma 5, lettere a), b) e c), e sono rispettate le seguenti prescrizioni impiantistiche:
- a) siano installati generatori di calore con rendimento termico utile a carico pari al 100 per cento della potenza termica utile nominale, maggiore o uguale a $X + 2 \log P_n$; dove $\log P_n$ è il logaritmo in base 10 della potenza utile nominale del singolo generatore, espressa in kW, ed X vale 90 nelle zone climatiche A, B e C, e vale 93 nelle zone climatiche D, E ed F. Per valori di P_n maggiori di 400 kW si applica il limite massimo corrispondente a 400 kW;

- b) la temperatura media del fluido termovettore in corrispondenza delle condizioni di progetto sia non superiore a 60 °C;
 - c) siano installati almeno una centralina di termoregolazione programmabile in ogni unità immobiliare e dispositivi modulanti per la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali o nelle singole zone aventi caratteristiche di uso ed esposizioni uniformi al fine di non determinare sovrariscaldamento per effetto degli apporti solari e degli apporti gratuiti interni;
 - d) nel caso di installazione di pompe di calore elettriche o a gas queste abbiano un rendimento utile in condizioni nominali, $\hat{I}\cdot u$, riferito all'energia primaria, maggiore o uguale al valore limite calcolato con la formula a $90 + 3 \log P_n$; dove $\log P_n$ è il logaritmo in base 10 della potenza utile nominale del generatore, espressa in kW; la verifica è fatta utilizzando come fattore di conversione tra energia elettrica ed energia primaria il valore di riferimento per la conversione tra kWh elettrici e MJ definito con provvedimento dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas, al fine di tener conto dell'efficienza media di produzione del parco termoelettrico, e suoi successivi aggiornamenti. In tale caso, all'edificio o porzione interessata, si attribuisce il valore del fabbisogno annuo di energia primaria limite massimo applicabile al caso specifico ai sensi del comma 2.
- 9) In tutti gli edifici esistenti con un numero di unità abitative superiore a 4, e in ogni caso per potenze nominali del generatore di calore dell'impianto centralizzato maggiore o uguale a 100 kW, appartenenti alle categorie E1 ed E2, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, è preferibile il mantenimento di impianti termici centralizzati laddove esistenti; le cause tecniche o di forza maggiore per ricorrere ad eventuali interventi finalizzati alla trasformazione degli impianti termici centralizzati ad impianti con generazione di calore separata per singola unità abitativa devono essere dichiarate nella relazione di cui al comma 25.
- 10) In tutti gli edifici esistenti con un numero di unità abitative superiore a 4, appartenenti alle categorie E1 ed E2, così come classificati in base alla

destinazione d'uso all'articolo 3 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, in caso di ristrutturazione dell'impianto termico o di installazione dell'impianto termico devono essere realizzati gli interventi necessari per permettere, ove tecnicamente possibile, la contabilizzazione e la termoregolazione del calore per singola unità abitativa. Gli eventuali impedimenti di natura tecnica alla realizzazione dei predetti interventi, ovvero l'adozione di altre soluzioni impiantistiche equivalenti, devono essere evidenziati nella relazione tecnica di cui al comma 25.

- 11) Le apparecchiature installate ai sensi del comma 10 devono assicurare un errore di misura, nelle condizioni di utilizzo, inferiore a più o meno il 5 per cento, con riferimento alle norme UNI in vigore. Anche per le modalità di contabilizzazione si fa riferimento alle vigenti norme e linee guida UNI.
- 12) Ai fini del presente decreto, e in particolare per la determinazione del fabbisogno di energia primaria dell'edificio, sono considerati ricadenti fra gli impianti alimentati da fonte rinnovabile gli impianti di climatizzazione invernale dotati di generatori di calore alimentati a biomasse combustibili che rispettano i seguenti requisiti:
 - a) rendimento utile nominale minimo conforme alla classe 3 di cui alla norma Europea UNI EN 303-5;
 - b) limiti di emissione conformi all'allegato IX alla parte quinta del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modificazioni, ovvero i più restrittivi limiti fissati da norme regionali, ove presenti;
 - c) utilizzano biomasse combustibili ricadenti fra quelle ammissibili ai sensi dell'allegato X alla parte quinta del medesimo decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modificazioni.
- 13) Per tutte le tipologie di edifici, in cui è prevista l'installazione di impianti di climatizzazione invernale dotati di generatori di calore alimentati da biomasse combustibili, in sede progettuale, nel caso di nuova costruzione e ristrutturazione di edifici esistenti, previsti dal decreto legislativo all'articolo 3, comma 2, lettere a), b) e c), numero 1), limitatamente alle ristrutturazioni totali, si procede alla verifica che la trasmittanza termica delle diverse strutture edilizie, opache e trasparenti, che delimitano l'edificio verso l'esterno o verso vani non riscaldati, non sia maggiore dei

valori definiti nella pertinente tabella di cui ai punti 2, 3 e 4 dell'allegato C al decreto legislativo.

14) Per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, nel caso di edifici di nuova costruzione e ristrutturazione di edifici esistenti, previsti dal decreto legislativo all'articolo 3, comma 2, lettere a), b) e c), numero 1), limitatamente alle ristrutturazioni totali, e nel caso di nuova installazione e ristrutturazione di impianti termici o sostituzione di generatori di calore, di cui alla lettera c), numeri 2) e 3), fermo restando quanto prescritto per gli impianti di potenza complessiva maggiore o uguale a 350 kW all'articolo 5, comma 6, del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, è prescritto:

a) in assenza di produzione di acqua calda sanitaria ed in presenza di acqua di alimentazione dell'impianto con durezza temporanea maggiore o uguale a 25 gradi francesi:

I. un trattamento chimico di condizionamento per impianti di potenza nominale del focolare complessiva minore o uguale a 100 kW;

II. un trattamento di addolcimento per impianti di potenza nominale del focolare complessiva compresa tra 100 e 350 kW;

b) nel caso di produzione di acqua calda sanitaria le disposizioni di cui alla lettera a), numeri 1) e 2), valgono in presenza di acqua di alimentazione dell'impianto con durezza temporanea maggiore di 15 gradi francesi. Per quanto riguarda i predetti trattamenti si fa riferimento alla norma tecnica UNI 8065.

15) In tutti i casi di nuova costruzione o ristrutturazione di edifici pubblici o a uso pubblico, così come definiti ai commi 8 e 9 dell'allegato A al decreto legislativo, devono essere rispettate le seguenti ulteriori disposizioni:

a) i valori limite già previsti ai punti 1, 2, 3 e 4 dell'allegato C al decreto legislativo sono ridotti del 10 per cento;

b) il valore limite del rendimento globale medio stagionale, già previsto al punto 5, dell'allegato C, del decreto legislativo, è calcolato con la seguente formula: $\hat{I} \cdot g = (75 + 4 \log P_n)\%$;

- c) i predetti edifici devono essere dotati di impianti centralizzati per la climatizzazione invernale ed estiva, qualora quest'ultima fosse prevista.
- 16) Per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, ad eccezione della categoria E.8, nel caso di nuova costruzione e ristrutturazione di edifici esistenti, previsti dal decreto legislativo all'articolo 3, comma 2, lettere a), b) e c), numero 1), questo ultimo limitatamente alle ristrutturazioni totali, da realizzarsi in zona climatica C, D, E ed F, il valore della trasmittanza (U) delle strutture edilizie di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti fatto salvo il rispetto del decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri in data 5 dicembre 1997, pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 297 del 22 dicembre 1997, recante determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici, deve essere inferiore o uguale a $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, nel caso di pareti divisorie verticali e orizzontali. Il medesimo limite deve essere rispettato per tutte le strutture opache, verticali, orizzontali e inclinate, che delimitano verso l'ambiente esterno gli ambienti non dotati di impianto di riscaldamento.
- 17) Per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, ad eccezione della categoria E.8, nel caso di nuova costruzione e ristrutturazione di edifici esistenti, previsti dal decreto legislativo all'articolo 3, comma 2, lettere a), b) e c), numero 1), si procede alla verifica dell'assenza di condensazioni superficiali e che le condensazioni interstiziali delle pareti opache siano limitate alla quantità rievaporabile, conformemente alla normativa tecnica vigente. Qualora non esista un sistema di controllo della umidità relativa interna, per i calcoli necessari, questa verrà assunta pari al 65 per cento alla temperatura interna di $20 \text{ }^\circ\text{C}$.
- 18) Per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, ad eccezione, esclusivamente per le disposizioni di cui alla lettera b), delle categorie E.5, E.6, E.7 ed E.8, il progettista, al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti, nel caso di edifici di nuova costruzione e nel caso

di ristrutturazioni di edifici esistenti di cui all'articolo 3, comma 2, lettere a), b) e c), numero 1), del decreto legislativo, questo ultimo limitatamente alle ristrutturazioni totali:

- a) valuta puntualmente e documenta l'efficacia dei sistemi schermanti delle superfici vetrate, esterni o interni, tali da ridurre l'apporto di calore per irraggiamento solare;
- b) esegue, in tutte le zone climatiche ad esclusione della F, per le località nelle quali il valore medio mensile dell'irradianza sul piano orizzontale, nel mese di massima insolazione estiva, I_m , s, sia maggiore o uguale a 290 W/m^2 :
 - I. relativamente a tutte le pareti verticali opache con l'eccezione di quelle comprese nel quadrante nord-ovest / nord / nord-est, almeno una delle seguenti verifiche:
 - i. che il valore della massa superficiale M_s , di cui al comma 22 dell'allegato A, sia superiore a 230 kg/m^2 ;
 - ii. che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica (YIE), di cui al comma 4, dell'articolo 2, sia inferiore a $0,12 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$;
 - II. relativamente a tutte le pareti opache orizzontali ed inclinate che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica YIE, di cui al comma 4, dell'articolo 2, sia inferiore a $0,20 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$;
- c) utilizza al meglio le condizioni ambientali esterne e le caratteristiche distributive degli spazi per favorire la ventilazione naturale dell'edificio; nel caso che il ricorso a tale ventilazione non sia efficace, può prevedere l'impiego di sistemi di ventilazione meccanica nel rispetto del comma 13 dell'articolo 5 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412. Gli effetti positivi che si ottengono con il rispetto dei valori di massa superficiale o trasmittanza termica periodica delle pareti opache previsti alla lettera b), possono essere raggiunti, in alternativa, con l'utilizzo di tecniche e materiali, anche innovativi, ovvero coperture a verde, che permettano di contenere le oscillazioni della temperatura degli ambienti in funzione

dell'andamento dell'irraggiamento solare. In tale caso deve essere prodotta una adeguata documentazione e certificazione delle tecnologie e dei materiali che ne attestino l'equivalenza con le predette disposizioni.

- 19) Per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, ad eccezione delle categorie E.6 ed E.8, al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti, nel caso di edifici di nuova costruzione e nel caso di ristrutturazioni di edifici esistenti di cui all'articolo 3, comma 2, lettere a), b) e c), numero 1), questo ultimo limitatamente alle ristrutturazioni totali, del decreto legislativo, è resa obbligatoria la presenza di sistemi schermanti esterni. Qualora se ne dimostri la non convenienza in termini tecnico-economici, detti sistemi possono essere omessi in presenza di superfici vetrate con fattore solare (UNI EN 410) minore o uguale a 0,5. Tale valutazione deve essere evidenziata nella relazione tecnica di cui al comma 25.
- 20) Nel caso di ristrutturazione di edifici esistenti di cui all'articolo 3, comma 2, lettera c), numeri 1) e 2), del decreto legislativo, per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, ad eccezione delle categoria E.6 ed E.8, il progettista, al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti, valuta puntualmente e documenta l'efficacia dei sistemi filtranti o schermanti delle superfici vetrate, tali da ridurre l'apporto di calore per irraggiamento solare. Gli eventuali impedimenti di natura tecnica ed economica all'utilizzo dei predetti sistemi devono essere evidenziati nella relazione tecnica di cui al comma 25. La predetta valutazione può essere omessa in presenza di superfici vetrate con fattore solare (UNI EN 410) minore o uguale a 0,5.
- 21) Per tutti gli edifici e gli impianti termici nuovi o ristrutturati, è prescritta l'installazione di dispositivi per la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali o nelle singole zone aventi caratteristiche di uso ed esposizioni uniformi al fine di non determinare

sovrariscaldamento per effetto degli apporti solari e degli apporti gratuiti interni. L'installazione di detti dispositivi è aggiuntiva rispetto ai sistemi di regolazione di cui all'articolo 7, commi 2, 4, 5 e 6, del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, e successive modificazioni, e deve comunque essere tecnicamente compatibile con l'eventuale sistema di contabilizzazione.

22) Per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, nel caso di edifici pubblici e privati, è obbligatorio l'utilizzo di fonti rinnovabili per la produzione di energia termica ed elettrica. In particolare, nel caso di edifici di nuova costruzione o in occasione di nuova installazione di impianti termici o di ristrutturazione degli impianti termici esistenti, l'impianto di produzione di energia termica deve essere progettato e realizzato in modo da coprire almeno il 50 per cento del fabbisogno annuo di energia primaria richiesta per la produzione di acqua calda sanitaria con l'utilizzo delle predette fonti di energia. Tale limite è ridotto al 20 per cento per gli edifici situati nei centri storici.

23) Le modalità applicative degli obblighi di cui al comma 22, le prescrizioni minime, le caratteristiche tecniche e costruttive degli impianti di produzione di energia termica ed elettrica con l'utilizzo di fonti rinnovabili, sono precisate, in relazione alle dimensioni e alle destinazioni d'uso degli edifici, con successivo provvedimento ai sensi dell'articolo 4, del decreto legislativo. Le valutazioni concernenti il dimensionamento ottimale, o l'eventuale impossibilità tecnica di rispettare le presenti disposizioni, devono essere dettagliatamente illustrate nella relazione tecnica di cui al comma 25. In mancanza di tali elementi conoscitivi, la relazione è dichiarata irricevibile. Nel caso di edifici di nuova costruzione, pubblici e privati, o di ristrutturazione degli stessi conformemente all'articolo 3, comma 2, lettera a), del decreto legislativo, è obbligatoria l'installazione di impianti fotovoltaici per la produzione di energia elettrica.

24) Per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, nel caso di nuova costruzione di edifici pubblici e privati e di ristrutturazione degli stessi conformemente all'articolo 3, comma 2, lettera a), del decreto

legislativo, è obbligatoria la predisposizione delle opere, riguardanti l'involucro dell'edificio e gli impianti, necessarie a favorire il collegamento a reti di teleriscaldamento, nel caso di presenza di tratte di rete ad una distanza inferiore a metri 1.000 ovvero in presenza di progetti approvati nell'ambito di opportuni strumenti pianificatori.

- 25) Il progettista dovrà inserire i calcoli e le verifiche previste dal presente articolo nella relazione attestante la rispondenza alle prescrizioni per il contenimento del consumo di energia degli edifici e relativi impianti termici, che, ai sensi dell'articolo 28, comma 1, della legge 9 gennaio 1991, n. 10, il proprietario dell'edificio, o chi ne ha titolo, deve depositare presso le amministrazioni competenti secondo le disposizioni vigenti, in doppia copia, insieme alla denuncia dell'inizio dei lavori relativi alle opere di cui agli articoli 25 e 26 della stessa legge. Schemi e modalità di riferimento per la compilazione delle relazioni tecniche sono riportati nell'allegato E al decreto legislativo. Ai fini della più estesa applicazione dell'articolo 26, comma 7, della legge 9 gennaio 1991, n. 10, negli enti soggetti all'obbligo di cui all'articolo 19 della stessa legge, tale relazione progettuale dovrà essere obbligatoriamente integrata attraverso attestazione di verifica sulla applicazione della norma predetta a tale fine redatta dal Responsabile per la conservazione e l'uso razionale dell'energia nominato.
- 26) I calcoli e le verifiche necessari al rispetto del presente decreto sono eseguiti utilizzando metodi che garantiscano risultati conformi alle migliori regole tecniche. Si considerano rispondenti a tale requisito le norme tecniche predisposte dagli organismi deputati a livello nazionale o comunitario, quali ad esempio l'UNI e il CEN, o altri metodi di calcolo recepiti con decreto del Ministro dello sviluppo economico.
- 27) L'utilizzo di altri metodi, procedure e specifiche tecniche sviluppati da organismi istituzionali nazionali, quali l'ENEA, le università o gli istituti del CNR, è possibile, motivandone l'uso nella relazione tecnica di progetto di cui al comma 25, purché i risultati conseguiti risultino equivalenti o conservativi rispetto a quelli ottenibili con i metodi di calcolo precedentemente detti. Nel calcolo rigoroso della prestazione energetica dell'edificio occorre prendere in considerazione i seguenti elementi:

- a) lo scambio termico per trasmissione tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente esterno;
- b) lo scambio termico per ventilazione (naturale e meccanica);
- c) lo scambio termico per trasmissione e ventilazione tra zone adiacenti a temperatura diversa;
- d) gli apporti termici interni;
- e) gli apporti termici solari;
- f) l'accumulo del calore nella massa dell'edificio;
- g) l'eventuale controllo dell'umidità negli ambienti climatizzati;
- h) le modalità di emissione del calore negli impianti termici e le corrispondenti perdite di energia;
- i) le modalità di distribuzione del calore negli impianti termici e le corrispondenti perdite di energia;
- l) le modalità di accumulo del calore negli impianti termici e le corrispondenti perdite di energia;
- m) le modalità di generazione del calore e le corrispondenti perdite di energia;
- n) l'effetto di eventuali sistemi impiantistici per l'utilizzo di fonti rinnovabili di energia;
- o) per gli edifici di nuova costruzione del settore terziario con volumetria maggiore di 10.000 mc, l'influenza dei fenomeni dinamici, attraverso l'uso di opportuni modelli di simulazione, salvo che si possa dimostrare la scarsa rilevanza di tali fenomeni nel caso specifico.

Art. 5. Criteri generali e requisiti per l'esercizio, la manutenzione e l'ispezione degli impianti termici per la climatizzazione invernale

- 1) Ai sensi dell'articolo 4, comma 1, lettera a), del decreto legislativo, sono confermati i criteri generali ed i requisiti per l'esercizio, la manutenzione e l'ispezione degli impianti termici per la climatizzazione invernale, fissati dagli articoli 7 e 9 del decreto legislativo, dal d.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, come modificato dal decreto legislativo e dalle disposizioni dell'allegato L del decreto legislativo.

Art. 6. Funzioni delle regioni e delle province autonome

- 1) Ai sensi dell'articolo 17 del decreto legislativo, fermo restando quanto disposto dal comma 3, le disposizioni del presente decreto si applicano per le regioni e province autonome che non abbiano ancora provveduto ad adottare propri provvedimenti in applicazione della direttiva 2002/91/CE e comunque fino alla data di entrata in vigore dei predetti provvedimenti regionali.
- 2) Ai sensi dell'articolo 9, comma 1, del decreto legislativo, fermo restando il rispetto dell'articolo 17, per promuovere la tutela degli interessi degli utenti attraverso una applicazione omogenea della predetta norma sull'intero territorio nazionale, nel disciplinare la materia le regioni e le province autonome, nel rispetto dei vincoli derivanti dall'ordinamento comunitario nonché dei principi fondamentali della direttiva 2002/91/CE e desumibili dal decreto legislativo, possono:
 - a) definire metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici, diverse da quelle di cui al comma 1 dell'articolo 3 ma che trovino in queste stesse metodologie indirizzo e riferimento;
 - b) fissare requisiti minimi di efficienza energetica più rigorosi attraverso la definizione di valori prestazionali e prescrittivi minimi inferiori a quelli di cui all'articolo 4, tenendo conto delle valutazioni tecnico-economiche concernenti i costi di costruzione e di gestione dell'edificio, delle problematiche ambientali e dei costi posti a carico dei cittadini con le misure adottate, con particolare attenzione alle ristrutturazioni e al contesto socio-economico territoriale.
- 3) Ai fini del comma 2, le regioni e le province autonome che alla data di entrata in vigore del presente decreto abbiano già provveduto al recepimento della direttiva 2002/91/CE adottano misure atte a favorire un graduale ravvicinamento dei propri provvedimenti, anche nell'ambito delle azioni di coordinamento tra lo Stato, le regioni e le province autonome, di cui al decreto del Ministro dello sviluppo economico, adottato ai sensi dell'articolo 6, comma 9, del decreto legislativo. Le regioni e le province autonome provvedono affinché sia assicurata la coerenza dei loro provvedimenti con i contenuti del presente decreto.

Art. 7. Disposizioni finali

- 1) Gli strumenti di calcolo applicativi delle metodologie di cui al comma 1 dell'articolo 3, software commerciali, garantiscono che i valori degli indici di prestazione energetica, calcolati attraverso il loro utilizzo, abbiano uno scostamento massimo di più o meno il 5 per cento rispetto ai corrispondenti parametri determinati con l'applicazione dello strumento nazionale di riferimento. La predetta garanzia è fornita attraverso una verifica e dichiarazione resa dal Comitato termotecnico italiano (CTI) o dall'Ente nazionale italiano di unificazione (UNI).
- 2) In relazione alle norme tecniche di cui al comma 1 dell'articolo 3, il CTI predispone lo strumento nazionale di riferimento sulla cui base fornire la garanzia di cui al comma 1.
- 3) Nelle more del rilascio della dichiarazione di cui sopra, la medesima è sostituita da autodichiarazione del produttore dello strumento di calcolo, in cui compare il riferimento della richiesta di verifica e dichiarazione avanzata dal predetto soggetto ad uno degli organismi citati al comma 1.

3.2.4. ALLEGATI NORMA 192/2005 E 311/2006

Importanti sono gli allegati delle norme citate fino ad ora, di seguito riporto gli allegati della norma 192, 2005.

Allegato B - Metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici

- 1) Le metodologie di calcolo e di espressione, attraverso uno o più descrittori, della prestazione energetica degli edifici sono definiti dai decreti di cui all'articolo 4, comma 1, tenendo conto di:
 - a) clima esterno ed interno;
 - b) caratteristiche termiche dell'edificio;
 - c) impianto di riscaldamento e di produzione di acqua calda sanitaria;
 - d) impianto di condizionamento dell'aria e di ventilazione;
 - e) impianto di illuminazione;
 - f) posizione e orientamento degli edifici;
 - g) sistemi solari passivi e protezioni solare;
 - h) ventilazione naturale;
 - i) utilizzo di fonti energetiche rinnovabile, di sistemi di cogenerazione e di riscaldamento e condizionamento a distanza.

Allegato C - Requisito della prestazione energetica degli edifici

- 1) fabbisogno di energia primaria

Tabella 1. Valori limite per il fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale per metro quadrato di superficie utile dell'edificio espresso in kWh/m²anno

Rapporto di forma dell'edificio	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
S/V	fino a 600 GG	a 601 GG	a 900 GG	a 901 GG	a 1400 GG	a 1401 GG	a 2100 GG	a 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
≤ 0,2	10	10	15	15	25	25	40	40	55	55
≥ 0,9	45	45	60	60	85	85	110	110	145	145

I valori limite riportati in tabella 1 sono espressi in funzione della zona climatica, così come individuata all'articolo 2 del *decreto del Presidente della Repubblica 26 Agosto 1993, n. 412*, e del rapporto di forma dell'edificio S/V, dove:

- a) S , espressa in metri quadrati, è la superficie che delimita l'esterno (ovvero verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento) il volume riscaldato V ;
- b) V è il volume lordo, espresso in metri cubi, delle parti dell'edificio riscaldate, definito dalle superfici che lo delimitano. Per valori di S/V compresi tra 0,2 - 0,9 e, analogamente, per gradi giorno (GG) intermedi ai limiti delle zone climatiche riportati in tabella si procede mediante interpolazione lineare.

2) Trasmittanza termica delle strutture verticali opache

Tabella 2. Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture verticali opache (espressa in W/m^2K)

Zona climatica	Dall'1 gennaio 2006 U (W/m^2K)	Dall'1 gennaio 2009 U (W/m^2K)
A	0,85	0,72
B	0,64	0,54
C	0,57	0,46
D	0,50	0,40
E	0,46	0,37
F	0,44	0,35

3) Trasmittanza termica delle strutture orizzontali opache

Tabella 3. Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture orizzontali opache (espressa in W/m^2K)

Zona climatica	Dall'1 gennaio 2006 U (W/m^2K)	Dall'1 gennaio 2009 U (W/m^2K)
A	0,80	0,68
B	0,60	0,51
C	0,55	0,44
D	0,46	0,37
E	0,43	0,34
F	0,41	0,33

4) Trasmittanza termica delle chiusure trasparenti

Tabella 4a. Valori limite della trasmittanza termica U delle chiusure trasparenti comprensive degli infissi (espressa in W/m^2K)

Zona climatica	Dall'1 gennaio 2006 U (W/m^2K)	Dall'1 gennaio 2009 U (W/m^2K)
A	5,5	5,0
B	4,0	3,6
C	3,3	3,0
D	3,1	2,8
E	2,8	2,5
F	2,4	2,2

Tabella 4b. Valori limite della trasmittanza centrale termica U dei vetri (espressa in W/m^2K)

Zona climatica	Dall'1 gennaio 2006 U (W/m2K)	Dall'1 gennaio 2009 U (W/m2K)
A	5,0	5,0
B	4,0	3,0
C	3,0	2,3
D	2,6	2,1
E	2,4	1,9
F	2,3	1,6

5) Rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico

$$\eta_g = (75 + 3 \cdot \log P_n)\%$$

dove P_n è il logaritmo in base 10 della potenza utile nominale del generatore o dei generatori di calore al servizio del singolo impianto termico, espresso in kW .

3.2.5. LE ZONE CLIMATICHE

I valori indicati dalle norme sono precisati in funzione delle zone climatiche definite dal *decreto del Presidente della Repubblica 26 Agosto 1993, n. 412*, che di seguito rappresento:



Le zone climatiche rappresentano un metodo per semplificare il comportamento termico dell'Italia che è decisamente eterogenea dal punto di vista climatico, essa passa da una zona climatica B tipica del meridione caratterizzata da elevate temperature estive e miti invernali con scarsi eventi meteorologici a una classe climatica F tipica delle zone settentrionali e più specificamente della fascia alpina e appenninica, infatti si espande lungo tutto l'arco alpino e la zona dolomitica e comprende il versante settentrionale dell'Appennino ligure ed emiliano e la zona del Gran Sasso. Si può notare come gran parte dell'Italia settentrionale sia in classe E, mentre il centro Italia ha le fasce costiere prevalentemente in zona D e la zona centrale, quindi appenninica, in zona E. infine è solo il meridione e le isole ad avere la classe B a dimostrare quanto detto precedentemente, prevale la zona C e nelle zone centrali si ha la classe D, sporadiche zone E si ritrovano sui monti più elevati, come Etna e Sila e lungo la catena appenninica lucana e campana.

La classe A in Italia è poco diffusa, infatti si può notare esclusivamente sulle isole a sud della Sicilia, tipico clima decisamente asciutto.

Fatta questa primaria analisi sulle zone climatiche possiamo analizzare la normativa attuale e le tabelle prese in analisi in precedenza.

Notando che in Italia le fasce che coprono circa l'ottanta per cento del territorio sono le zone climatiche D ed E possiamo adottare un valore limite della trasmittanza termica U delle strutture verticali opache di $0,37 \text{ W/m}^2\text{K}$ mentre per le strutture orizzontali di $0,34 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3.2.6. LA CERTIFICAZIONE ENERGETICA IN EMILIA ROMAGNA

L'Assemblea legislativa dell'Emilia-Romagna ha approvato l'*Atto di indirizzo e coordinamento sui requisiti di rendimento energetico e sulle procedure di certificazione energetica degli edifici*: il provvedimento introduce nuove norme per il miglioramento dei consumi energetici degli edifici (siano essi di tipo abitativo o in uso alle imprese artigiane, industriali, agricole e del terziario) e contiene importanti novità, tra cui l'adozione dell'obbligo di certificazione energetica, che sono entrate in vigore a partire dal 1° luglio 2008. L'Atto dà attuazione alla Direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico degli edifici e alla Direttiva 2006/32/CE concernente l'efficienza energetica degli usi finali di energia ed i servizi energetici, in conformità ai principi fissati dal D.Lgs. 192/2005 e alla "clausola di cedevolezza" che consente di sostituire le norme statali di dettaglio con le norme regionali quando adottate.

Aspetti disciplinati

In sintesi, il provvedimento disciplina:

- ✓ i requisiti minimi di rendimento energetico degli edifici e degli impianti energetici in essi installati;
- ✓ l'attestato di certificazione energetica degli edifici e l'esercizio e la manutenzione degli impianti energetici;
- ✓ l'allestimento di un sistema informativo regionale volto a monitorare l'evoluzione dell'efficienza energetica degli edifici e degli impianti in relazione alla entrata in funzione della disciplina regionale in materia;
- ✓ le misure di sostegno e di promozione finalizzate all'incremento dell'efficienza energetica degli edifici.

L'Atto norma il rendimento energetico dei nuovi edifici e le ristrutturazioni degli edifici con superficie superiore ai 1000 metri quadrati e stabilisce le prestazioni energetiche riferite a interventi su singoli elementi edilizi (caldaie, coibentazione del tetto e sottotetto, "cappotto", doppi vetri)

Requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli impianti

Nel capitolo "Requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici e degli

impianti energetici" l'Atto fissa degli standard differenziati per le diverse tipologie d'intervento:

- ✓ edifici nuovi ovvero ristrutturazione integrale di edifici esistenti di superficie utile superiore a 1000 metri quadrati;
- ✓ ristrutturazione di edifici di superficie utile inferiore a 1000 metri quadrati;
- ✓ riqualificazione delle superfici opache (tetto, pareti) e superfici trasparenti (vetri);
- ✓ installazione di impianto di riscaldamento o ristrutturazione di impianti esistenti;
- ✓ sostituzione caldaie.

Questi standard sono inoltre differenziati in funzione delle tipologie d'uso degli edifici (edifici ad uso abitativo, uffici, alberghi, edifici adibiti ad attività industriali e artigianali, sportive, socio-sanitarie, ecc.), in relazione alle diverse caratteristiche climatiche dell'area di insediamento (indicate dal coefficiente "Gradi Giorno") e al coefficiente di "forma" dell'edificio (dato dal rapporto tra superficie e volume disperdente). Il provvedimento regionale dà attuazione e stabilisce l'entrata in vigore dal 1° luglio 2008 degli obblighi di rendimento energetico indicati dalle direttive comunitarie prevedendo anche nuove indicazioni per la progettazione degli edifici e per disciplinare il consumo di energia nel periodo estivo.

Uso obbligatorio di fonti rinnovabili

L'Atto dispone anche l'utilizzo obbligatorio delle fonti rinnovabili. In particolare, nel caso di edifici di nuova costruzione o edifici esistenti oggetto di ristrutturazione integrale o in occasione di nuova installazione di impianti termici, l'impianto di produzione dell'energia termica dovrà essere progettato in modo che almeno il 50% del fabbisogno di acqua calda sanitaria sia coperto da fonti rinnovabili.

E' inoltre obbligatoria l'installazione di impianti a fonti rinnovabili per la produzione di energia elettrica per una potenza da installare non inferiore a 1 kW per unità abitativa.

Nel caso in cui vi sia un'impossibilità tecnica di realizzare gli impianti a fonti rinnovabili nell'edificio in questione, la Regione ha previsto la possibilità di

adottare soluzioni alternative quali il collegamento ad una rete di teleriscaldamento, l'adozione di impianti di micro-cogenerazione o il collegamento a impianti di fonti rinnovabili comunali. La Regione ha infatti sviluppato un piano regionale per realizzare piattaforme fotovoltaiche in ogni territorio.

Certificazione energetica degli edifici

È avviata la certificazione energetica degli edifici (dalla classe A+ dei più virtuosi a scendere) ed è stabilito che l'attestato debba essere disponibile, con scadenze temporali differenziate, nei casi di:

- ✓ edifici di nuova costruzione o soggetti a profonda ristrutturazione (2008);
- ✓ edifici oggetto di compravendita (2008);
- ✓ singole unità immobiliari oggetto di compravendita (2009);
- ✓ edifici ovvero singole unità immobiliari oggetto di locazione (2010).

Il certificato energetico è reso obbligatorio per accedere agli incentivi nazionali, regionali e locali che riguardino il miglioramento della prestazione energetica dell'edificio e anche nel caso di edifici pubblici dati in gestione a società di servizi.

I contenuti del certificato sono disciplinati dall'Atto di indirizzo, il quale certifica l'efficienza energetica dell'edificio collocandola nell'ambito delle classi prestazionali fissate dalla Regione, colloca il rendimento energetico dell'edificio rispetto ai valori vigenti di legge e fornisce suggerimenti agli utenti in merito agli interventi più significativi ed economicamente convenienti per il miglioramento delle prestazioni.

Accreditamento dei certificatori

Il certificato energetico di un edificio, di durata decennale, sarà rilasciato da un soggetto qualificato e "accreditato" dalla Regione.

Possono essere accreditati quali soggetti certificatori:

- tecnici qualificati, singoli o associati, in possesso dei requisiti di esperienza professionale in materia e di diploma di laurea in ingegneria, architettura, scienze ambientali ovvero diploma di geometra o perito industriale;
- società di ingegneria;

- società di servizi energetici;
- organismi di ispezione;
- organismi di certificazione.

Il provvedimento regionale **disciplina i contenuti del certificato:**

- certifica l'efficienza energetica dell'edificio collocandola nell'ambito delle classi prestazionali fissate dalla Regione;
- colloca il rendimento energetico dell'edificio rispetto ai valori vigenti di legge;
- fornisce suggerimenti agli utenti in merito agli interventi più significativi ed economicamente convenienti per il miglioramento delle prestazioni.

Misure di sostegno e incentivazione

Per chi realizza edifici con rendimenti energetici inferiori a 50 kw al mq annuo sono previsti incentivi nelle norme di costruzione.

Un provvedimento tra i più avanzati

Il settore abitativo rappresenta circa un terzo dei consumi energetici nella regione e con le nuove norme si stabilisce da subito il dimezzamento dei consumi energetici degli edifici. Attualmente un edificio consuma mediamente 160-180 kw al mq. Dal 1° luglio 2008 è obbligatorio per i nuovi edifici non superare i 70-80 kw ed è in vigore una classificazione che individua i rendimenti più virtuosi.

3.3.1. ACUSTICA - DPCM 5 dicembre 1997

La normativa riguardante l'acustica è meno complessa ed è rappresentata dal **decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 5 Dicembre 1997**.

Art. 1. Campo di applicazione

- 1) Il presente decreto, in attuazione dell'art. 3, comma 1, lettera e), della legge 26 ottobre 1995, n. 447, determina i requisiti acustici delle sorgenti sonore interne agli edifici ed i requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti in opera, al fine di ridurre l'esposizione umana al rumore.
- 2) I requisiti acustici delle sorgenti sonore diverse da quelle di cui al comma 1 sono determinati dai provvedimenti attuativi previsti dalla legge 26 ottobre 1995, n. 447.

Art. 2. Definizioni

- 1) Ai fini dell'applicazione del presente decreto, gli ambienti abitativi di cui all'art. 2, comma 1, lettera b), della legge 26 ottobre 1995, n. 447, sono distinti nelle categorie indicate nella tabella A allegata al presente decreto.
- 2) Sono componenti degli edifici le partizioni orizzontali e verticali.
- 3) Sono servizi a funzionamento discontinuo gli ascensori, gli scarichi idraulici, i bagni, i servizi igienici e la rubinetteria.
- 4) Sono servizi a funzionamento continuo gli impianti di riscaldamento, aerazione e condizionamento.
- 5) Le grandezze cui far riferimento per l'applicazione del presente decreto, sono definiti nell'allegato A che ne costituisce parte integrante.

Art. 3. Valori limite

- 1) Al fine di ridurre l'esposizione umana al rumore, sono riportati in tabella B i valori limite delle grandezze che determinano i requisiti acustici passivi dei componenti degli edifici e delle sorgenti sonore interne.

Art. 4. Entrata in vigore

- 1) Il presente decreto viene pubblicato nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica italiana ed entra in vigore dopo sessanta giorni.

3.3.2. ALLEGATI DPCM 5 Dicembre 1997

ALLEGATO A - Grandezze di riferimento: definizioni, metodi di calcolo e misure

Le grandezze che caratterizzano i requisiti acustici passivi degli edifici sono:

- 1) Il tempo di riverberazione (T), definito dalla norma ISO 3382:1975;
- 2) Il potere fonoisolante apparente di elementi di separazione fra ambienti (R), definito dalla norma EN ISO 140-5:1996;
- 3) L'isolamento acustico standardizzato di facciata ($D_{2m,nT}$), definito da:

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right)$$

dove:

$D_{2m} = L_{1,2m} - L_2$ è la differenza di livello;

$L_{1,2m}$ è il livello di pressione sonora esterno a 2 metri dalla facciata, prodotto da rumore da traffico se prevalente, o da altoparlante con incidenza del suono di 45° sulla facciata;

L_2 è il livello di pressione sonora medio nell'ambiente ricevente, valutato a partire dai livelli misurati nell'ambiente ricevente mediante la seguente formula:

$$L_2 = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right)$$

Le misure dei livelli L_i devono essere eseguite in numero di n per ciascuna banda di terzi di ottava. Il numero n è il numero intero immediatamente superiore ad un decimo del volume nell'ambiente; in ogni caso, il valore minimo di n è cinque;

T è il tempo di riverberazione nell' ambiente ricevente, in sec;

T_0 è il tempo di riverberazione di riferimento assunto, pari a 0,5s;

- 4) Il livello di rumore di calpestio di solai normalizzato (L_n) definito dalla norma EN ISO 140-6:1996;
- 5) L_{ASmax} è il livello massimo di pressione sonora, ponderata A con costante di tempo slow;
- 6) L_{Aeq} è il livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderata A.

Gli indici di valutazione che caratterizzano i requisiti acustici passivi degli edifici sono:

- a) indice del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti (R_w) da calcolare secondo la norma UNI 8270: 1987, Parte 7[^], para. 5.1.
- b) indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata ($D_{2m,nT,w}$) da calcolare secondo le stesse procedure di cui al precedente punto 3);
- c) indice del livello di rumore di calpestio di solai, normalizzato ($L_{n,w}$) da calcolare secondo la procedura descritta dalla norma UNI 8270: 1987, Parte 7[^], para.5.2.

Rumore prodotto dagli impianti tecnologici

La rumorosità prodotta dagli impianti tecnologici non deve superare i seguenti limiti:

- a) $35 \text{ dB}(A) L_{Amax}$ con costante di tempo slow per i servizi a funzionamento discontinuo;
- b) $25 \text{ dB}(A) L_{Aeq}$ per i servizi a funzionamento continuo.

Le misure di livello sonoro devono essere eseguite nell'ambiente nel quale il livello di rumore è più elevato.

Tale ambiente deve essere diverso da quello in cui il rumore si origina.

Tabella A - Classificazione degli ambienti abitativi (art. 2).

categoria A: edifici adibiti a residenza o assimilabili;

categoria B: edifici adibiti ad uffici e assimilabili;

categoria C: edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili;

categoria D: edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili;

categoria E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili;

categoria F: edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili;

categoria G: edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili.

Tabella B: Requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici.

Categorie di cui alla Tabella A	Parametri				
	R_w (*)	$D_{2m,nT,w}$	$L_{n,w}$	L_{ASmax}	L_{Aeq}
1 - D	55	45	58	35	25
2 - A,C	50	40	63	35	35
3 - E	50	48	58	35	25
4 -B,F,G	50	42	55	35	35

(*) Valori di R_w riferiti a elementi di separazione tra due distinte unità immobiliari.

Nota: con riferimento all' edilizia scolastica, i limiti per il tempo di riverberazione sono quelli riportati nella circolare del Ministero dei lavori pubblici n. 3150 del 22 maggio 1967, recante i criteri di valutazione e collaudo dei requisiti acustici negli edifici scolastici.

riassumendo il DPCM '97, i parametri interesse risultano:

R'_w = Indice di Valutazione del potere fonoisolante apparente di elementi di separazione tra ambienti, riferito ad elementi di separazione tra due distinte unità immobiliari;

$D_{2m,nT,w}$ = Indice di Valutazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata;

$L'_{n,w}$ = Indice di Valutazione del livello di rumore al calpestio normalizzato.

Tali parametri rappresentano i valori effettivi di isolamento acustico tra locali, e si differenziano dai parametri che rappresentano le prestazioni dei singoli componenti ricavati per mezzo di prove di laboratorio o da valutazioni teoriche, e cioè da:

R_w = Indice di Valutazione del potere fonoisolante;

ΔL_w = Indice di Valutazione della riduzione dei rumori di calpestio.

Il procedimento consiste nel sottrarre alle prestazioni dei singoli componenti calcolate o di laboratorio le trasmissioni laterali e i difetti costruttivi, quindi a R_w e ΔL_w le trasmissioni laterali determinate dai procedimenti dettati dalla norma 12354 -1-2-3 e i difetti costruttivi valutati in base alle capacità del tecnico e dalla direzione lavori.

Da questo si nota come sia difficile stabilire una norma che valuti in modo esatto la trasmissione del rumore in quanto anche piccole insufficienze possono portare a scompensi, per questo ci si deve affidare alla capacità dei tecnici.

Sempre la Legge n. 447/1995 prevede, all'art. 10 comma 3, sanzioni amministrative nel caso in cui non vengano rispettati i requisiti acustici previsti, e precisamente: *la violazione dei regolamenti di esecuzione di cui all'articolo 11 e delle disposizioni dettate in applicazione della presente legge dallo Stato, dalle regioni, dalle province e dai comuni, è punita con la sanzione amministrativa del pagamento di una somma da lire 500.000 a lire 20.000.000.*

Ma è ancora più importante considerare l'eventualità che a posteriori il compratore commissioni una verifica dell'isolamento acustico ad un tecnico abilitato di propria fiducia, ed apra, nel caso di risultati non conformi al DPCM, un contenzioso con il venditore. Questa attenzione incomincia ad essere diffusa

anche presso l'utenza privata, che dimostra così l'esigenza sempre maggiore di comfort acustico e quindi la sempre minore tolleranza verso un modo di costruire "approssimativo". E le conseguenze di un'azione civile per il mancato rispetto dei valori limite previsti dal decreto possono facilmente essere molto più pesanti rispetto alle sanzioni amministrative. Infatti, in caso di contenzioso, spetta al giudice determinare ogni eventuale carenza nella progettazione o nella realizzazione dell'immobile, al fine di individuare le responsabilità dei soggetti coinvolti, quali il committente, il costruttore, il progettista o il direttore lavori. Il giudice potrà ordinare il ripristino a carico del venditore dei requisiti acustici previsti dal decreto, oppure, come generalmente accade, un risarcimento economico valutato sulla base del ridotto valore dell'immobile e dell'effettivo danno subito.

POTERE FONOISOLANTE DEI SOLAI

Ai sensi del DPCM 5 dicembre 1997, che prescrive per ciascuna categoria di edificio dei valori limite delle grandezze che determinano i requisiti acustici passivi dei componenti edilizi, per i solai deve essere valutato non solo l'isolamento ai rumori di calpestio ma anche il potere fonoisolante ai rumori che si trasmettono per via aerea. Daremo solo valutazioni di isolamento ai rumori di calpestio e non di potere fonoisolante per i solai, in quanto con le attuali tecnologie costruttive i valori limite di quest'ultimo parametro sono automaticamente rispettati (purché il solaio abbia una massa superiore a 250 kg/m² e sia trattato nei confronti dell'isolamento ai rumori di calpestio).

4.1. STRUTTURA OGGETTO DELL'ANALISI

Per comparare le diverse metodologie costruttive si adotterà un edificio di 4 piani con struttura puntuale composta da travi e pilastri.

L'edificio si ipotizza che sorgerà nel Comune di Bologna quindi si analizzerà sia la classe sismica a cui appartiene che la zona climatica.

L'edificio presenta regolarità sia in pianta che in altezza, i pilastri hanno dimensioni 60cm x 40cm.

È previsto che il piano terra sia rialzato di 30cm e sia adibito ad uso commerciale, quindi avrà una altezza maggiore dei piani superiori.

Riporto piante e sezioni.

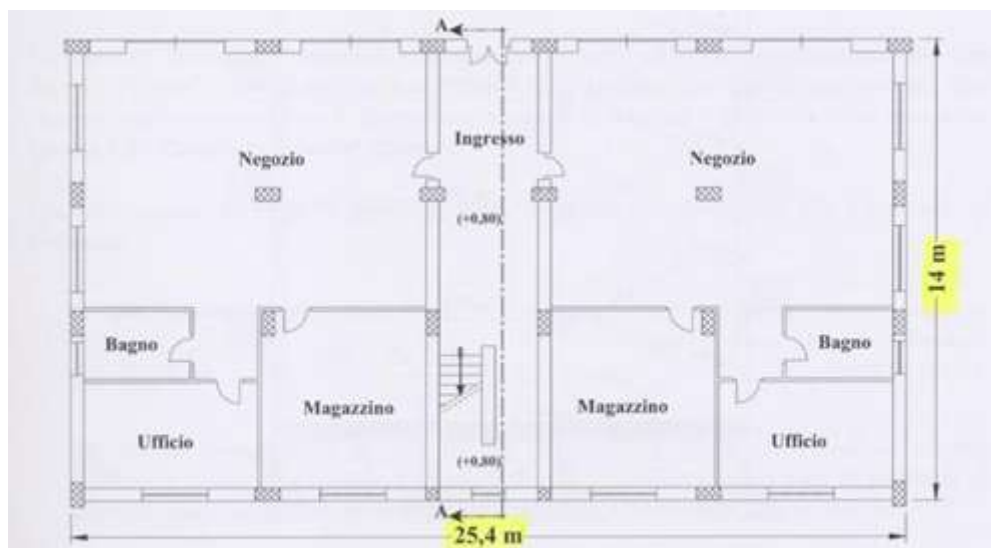


Fig. 2.1 Pianta piano terra

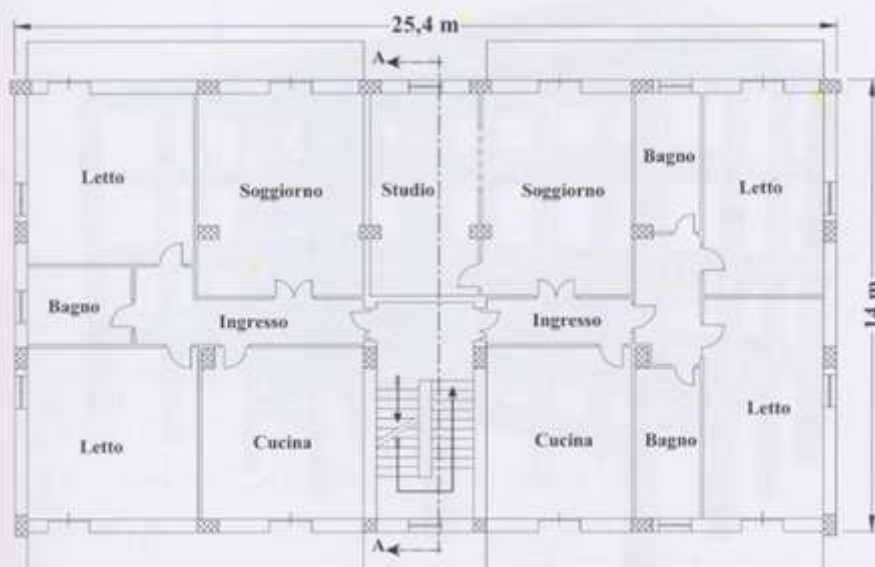


Fig. 2.2 Pianta piano tipo

Si può notare che i pilastri sono ben disposti secondo le 2 direzioni principali in modo da non favorire una direzione rispetto ad un'altra.

Il vano scala non è composta da setti bensì da pilastri posti agli angoli del vano, quindi tutte le azioni orizzontali saranno assorbite dai pilastri.

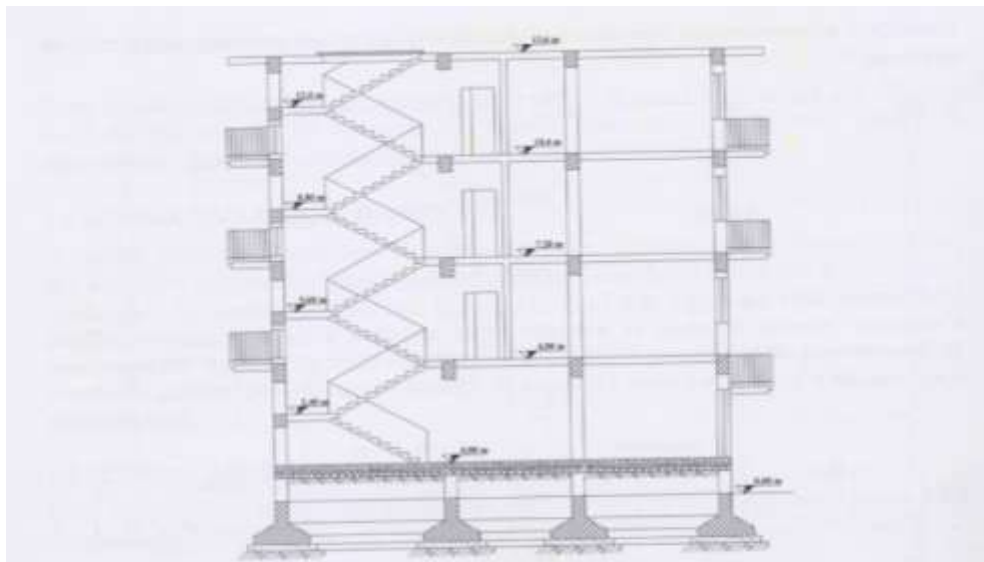


Fig. 2.3 Sezione A-A

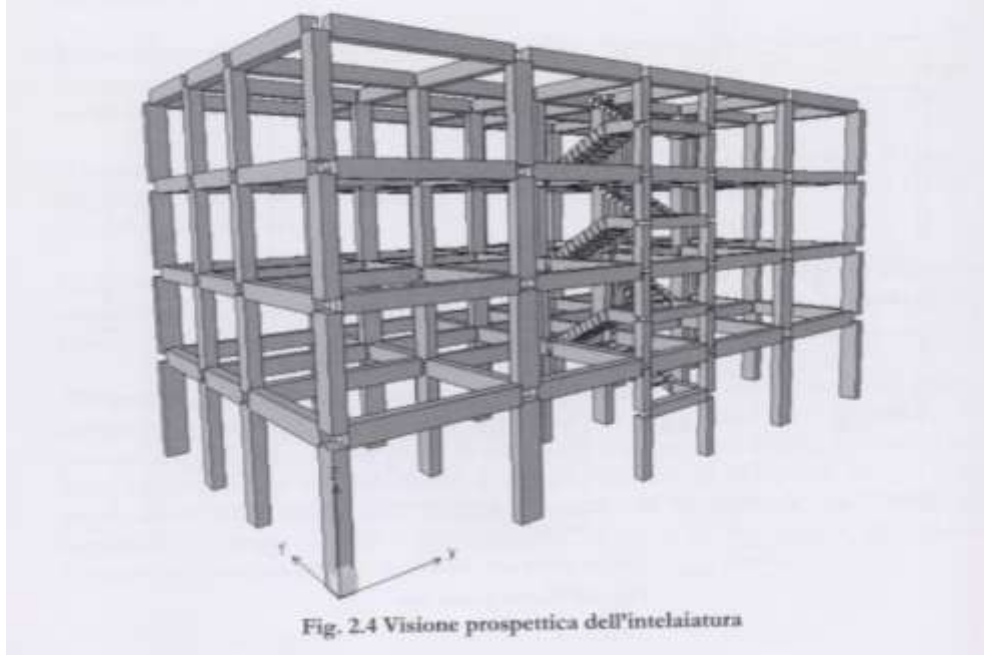
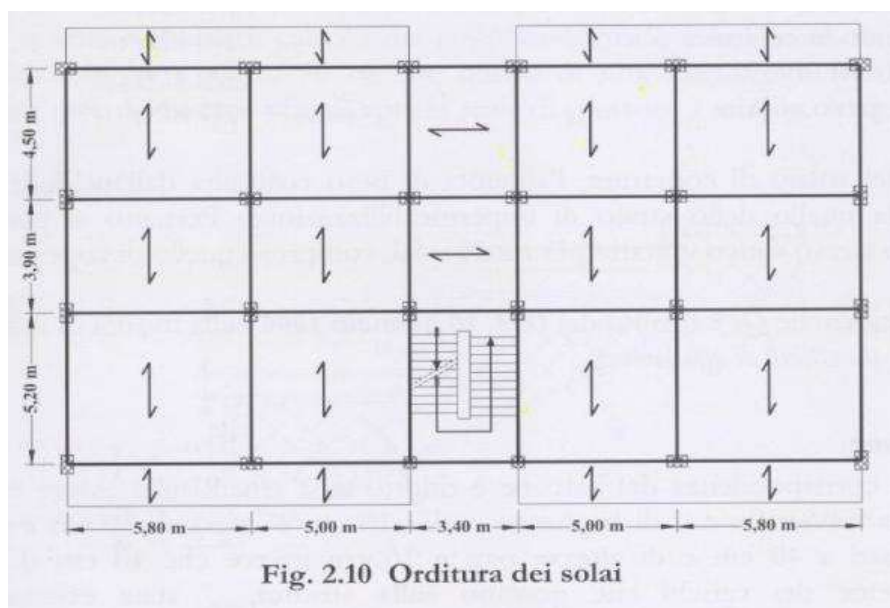


Fig. 2.4 Visione prospettica dell'intelaiatura

Dalla sezione si può notare che le travi sono disposte in altezza e non in spessore, questo accorgimento garantisce l'incastro o comunque la massima verosimiglianza a tale vincolo risultando così il miglior metodo per irrigidire la struttura.

Come detto in precedenza la struttura ripartisce le azioni orizzontali, cioè i carichi come quelli del vento o meglio del sisma, ai pilastri in modo uguale, ma questa

ipotesi è valida solo in presenza di solaio infinitamente rigido e questa condizione è assicurata se la soletta in calcestruzzo ha uno spessore minimo di 4cm.



Il solaio di luce più elevata presenta una lunghezza $l = 5,20\text{ m}$ quindi l'altezza minima del solaio sarà di:

$$h_{min, \text{solaio}} = \frac{520\text{cm}}{25} = 20,8\text{cm}$$

Si considera un solaio della RDB tipo 20+5=25cm, per semplicità uguale per tutti i piani, indipendentemente dal carico accidentale agente).

4.2. IDENTIFICAZIONE DEI PARTICOLARI COSTRUTTIVI

È necessario prima di affrontare l'analisi dei carichi definire quali saranno le metodologie costruttive più significative da prendere in considerazione.

Sono state considerate diverse metodologie, dalla semplice muratura esterna con un cappotto da 5 centimetri ad una doppia muratura con intonaco esterno da 2 cm, forato da 10 cm, intercapedine in lastre di polistirene espanso da 3 cm e muratura pesante da 15 cm. Il solaio è stato calcolato per un caso estremo di ambiente superiore a regime e ambiente inferiore con 20 gradi di differenza in modo da avere il caso più gravoso per il ponte termico.

La soluzione studiata del solaio prevede una parte strutturale di 25 cm, un materassino per limitare l'effetto del rumore al calpestio, un massetto studiato in più condizioni che vedremo qui di seguito e una pavimentazione in ceramica da 1cm.

4.3. ANALISI TERMICA

Le analisi termiche sono state sviluppate con un programma agli elementi finiti, i passi principali sono la esecuzione del modello, tenendo conto di tutti gli elementi presenti nello schema da analizzare, ogni singolo elemento deve avere una forma rettangolare e bisogna assicurarsi la perfetta aderenza degli elementi considerati.

Una volta definita la geometria, si definiscono i dati fisici, cioè, conducibilità termica λ e la densità ρ per ogni elemento, tutti valori sono stati presi da un documento redatto dalla provincia di Bolzano: CasaClima.

Una volta inseriti i dati per i sottodomini, cioè i singoli elementi, vanno impostati i settaggi per il contorno, cioè il comportamento di ogni singola faccia dell'elemento, quelli che rimangono a contatto con altri elementi sono chiaramente impostati automaticamente dal programma, mentre quelli liberi vanno impostati in funzione delle condizioni che vogliamo considerare, gli elementi che rimangono liberi, cioè quelli che delimitano un elemento che prosegue sono denominati isolamento termico, cioè non contribuiscono al calcolo.

Al termine delle impostazioni si lancia il programma che rilascerà una serie di informazioni tra cui l'andamento delle temperature all'interno degli elementi considerati e la potenza dispersa attraverso i bordi che desideriamo considerare.

Quindi per risolvere il ponte termico, si dovrà andare a sottrarre alla potenza totale dispersa, la quantità di energia dispersa dagli elementi del solaio e della muratura,

facendo questi passaggi rimarrà esclusivamente il valore della potenza dispersa per unità di lunghezza (quindi la terza dimensione) su grado Kelvin.

In questi calcoli è stato considerato il caso più gravoso fra tutti, l'ambiente interno, cioè quello in alto a destra ad una temperatura di 20°C superiore a quella dell'ambiente esterno (sinistra) e interno sottostante, il caso di ambiente interno confinante sia con l'esterno che con un ambiente non riscaldato e come ultima ipotesi due ambienti riscaldati con l'esterno.

La parte che rimane sempre costante è il solaio di 25cm in latero-cemento proprio per considerare la tipica costruzione civile di recente e di nuova costruzione presente nel territorio nazionale.

I dati estratti dalle tabelle del manuale sopracitato riguardano:

elemento	λ (W/mK)	ρ (Kg/m ³)
Solaio	0,67	900 - 1200
Muratura 1	0,70	1600
Muratura 2	0,36	1200
Massetto in calcestruzzo	1,40	2000
Massetto alleggerito in polistirene per riempimento	0,10	350
Massetto alleggerito in polistirene espanso di finitura	0,09	250
Intonaco in cemento	1,40	2200
Intonaco a cappotto	0,09	250
Cartongesso	0,21	900
Pannello bugnato per pavimento riscaldato in polistirene	0,035	40
Materassino tipo "fonostop" - $s' = 20$ MN/m ³	0,035	250

I grafici che verranno riportati sono la schematizzazione della soluzione adottata e l'andamento delle temperature nel caso più gravoso, dove è possibile vedere distintamente come varia la distribuzione in funzione della soluzione adottata. Come ultimo dato sono inseriti i valori dei coefficienti di conducibilità lineica nell'ordine:

Ψ_1 = ambiente caldo, freddo, freddo

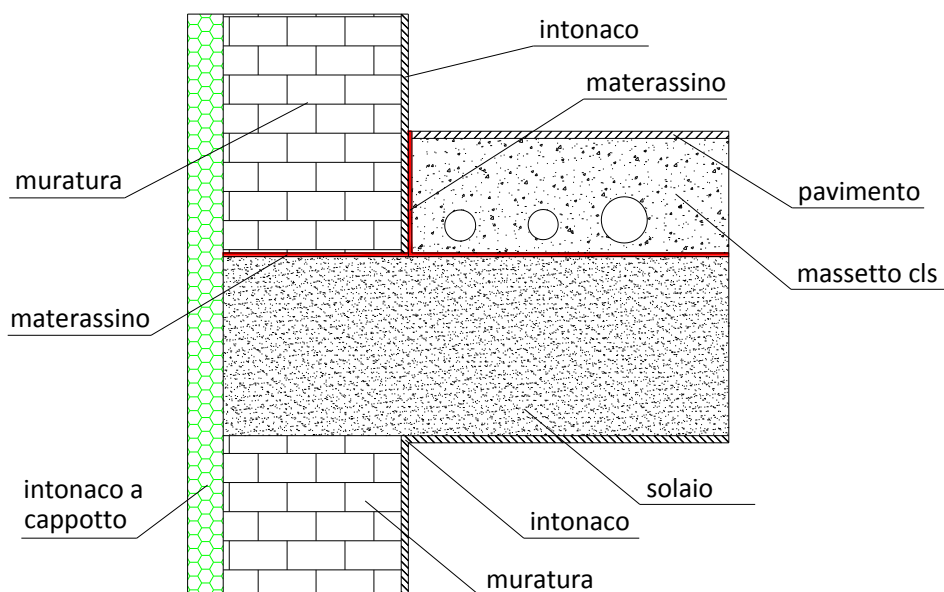
Ψ_2 = ambiente caldo, non riscaldato, freddo

Ψ_3 = ambiente caldo, caldo, freddo

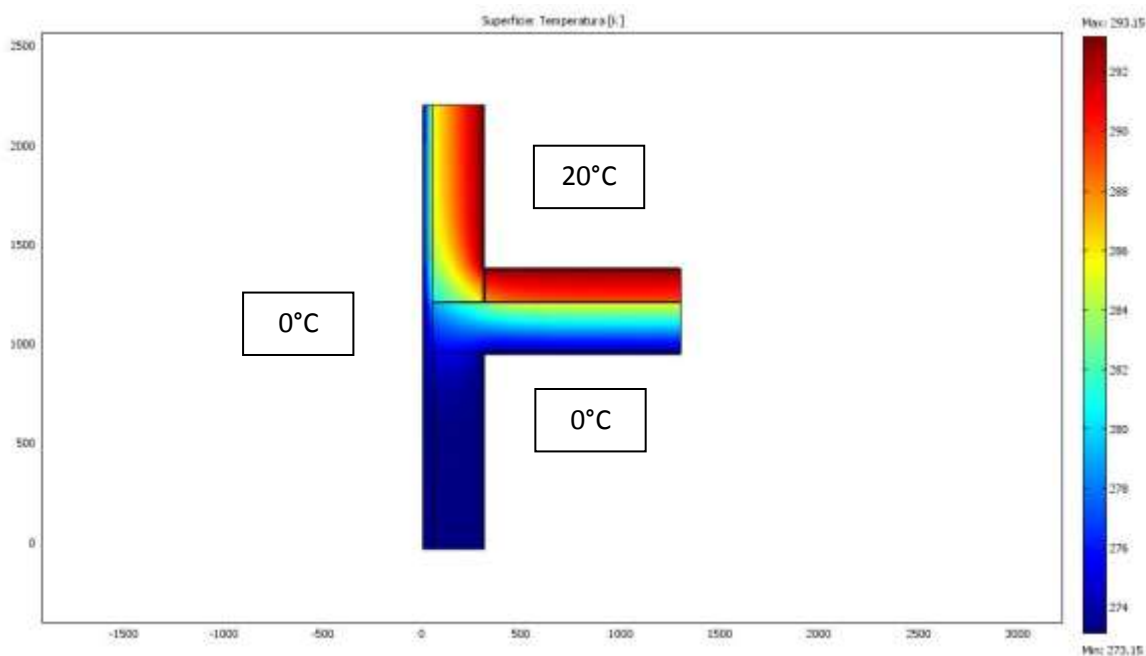
Al termine della valutazione dei coefficienti di conducibilità termica lineica, si propone una valutazione sintetica della dispersione energetica all'interno dell'edificio al variare della metodologia costruttiva utilizzata.

L'analisi verrà effettuata su di un piano generico ipotizzando che al piano superiore ci sia la stessa temperatura del piano considerato, mentre al piano inferiore vi sia un ambiente non riscaldato, quindi le temperature ipotizzate saranno per l'ambiente caldo 20°C, mentre per quello non riscaldato 10°C, per l'esterno si ipotizzano 0°C. si ipotizza un ambiente unico al piano, in quanto il nostro interesse è quello di notare l'andamento delle dispersioni in funzione di Ψ e della tipologia di tamponamento e solaio.

Caso 1)



Il primo è il caso più vicino a quello adottato nelle costruzioni esistenti quando si vuole limitare la dispersione senza dover effettuare lavorazioni importanti, infatti basta applicare un intonaco a cappotto esterno di 5cm, il massetto nel quale sono annegate le tubazioni degli impianti è in calcestruzzo.



Si può immediatamente notare come l'intero massetto e la parete in muratura sono colorati di rosso, ciò sta ad indicare che le linee isoterme si concentrano verso l'esterno, infatti sono il solaio e l'intonaco a cappotto ad eseguire l'isolamento necessario.

Questo schema secondo i calcoli svolti ha un coefficiente di conducibilità lineica pari a:

$$\Psi_1 = 0,87$$

$$\Psi_2 = 0,93$$

$$\Psi_3 = 0,34$$

Il calcolo delle dispersioni fornisce questi risultati:

Dispersione di potenza attraverso il tamponamento: 4220 W

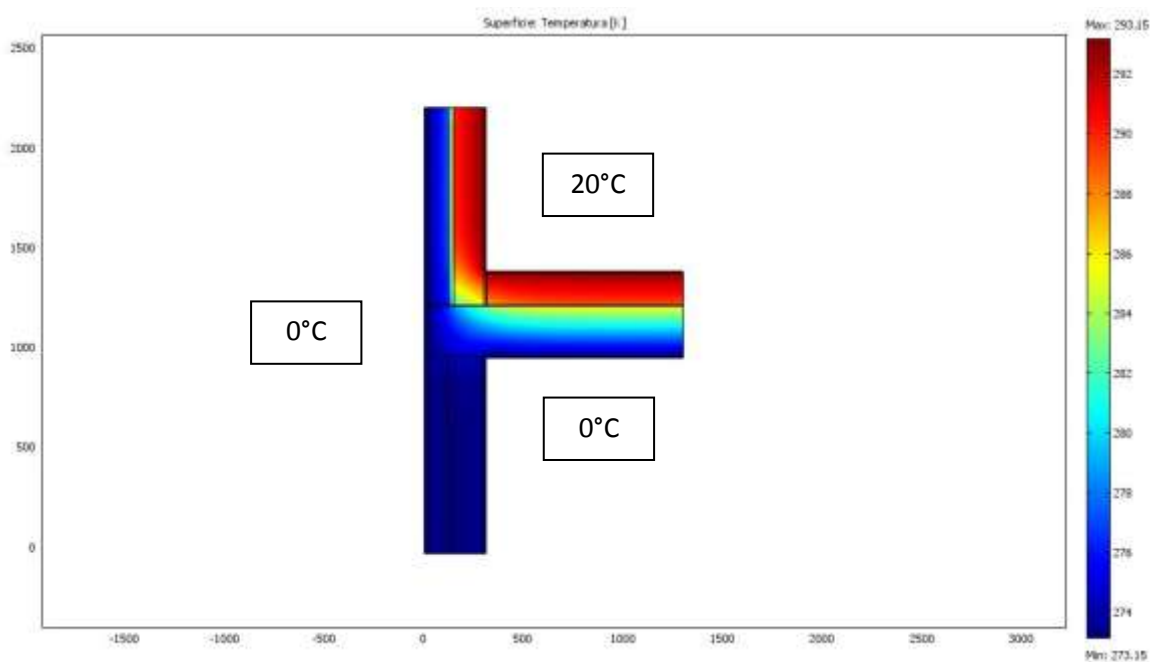
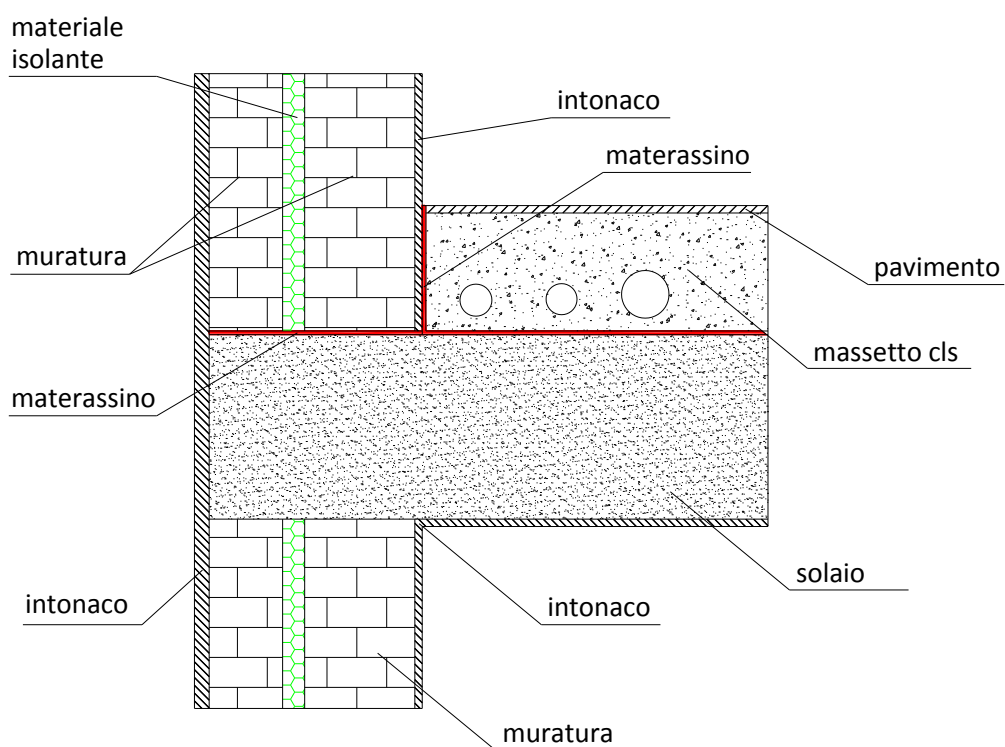
Dispersione di potenza attraverso il solaio: 4740 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano inferiore: 1440 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano superiore: 520 W

Per un totale di 10920 W di potenza dispersa dal singolo piano.

Caso 2)



L'inserimento della doppia muratura fa sì che le isoterme si concentrino in mezz'aria della muratura, ove è posto l'elemento isolante, per quanto riguarda il solaio, il cambiamento è nullo, l'abbassamento del coefficiente è esclusivamente imputabile alla diversa soluzione di tamponamento.

Rispetto al caso precedente cambia la muratura, si può subito notare la presenza di un'intercapedine riempita da una lastra in polistirene espanso che riduce il coefficiente di conducibilità lineica.

$$\Psi_1 = 0,78$$

$$\Psi_2 = 0,90$$

$$\Psi_3 = 0,32$$

Il calcolo delle dispersioni fornisce questi risultati:

Dispersione di potenza attraverso il tamponamento: 2980 W

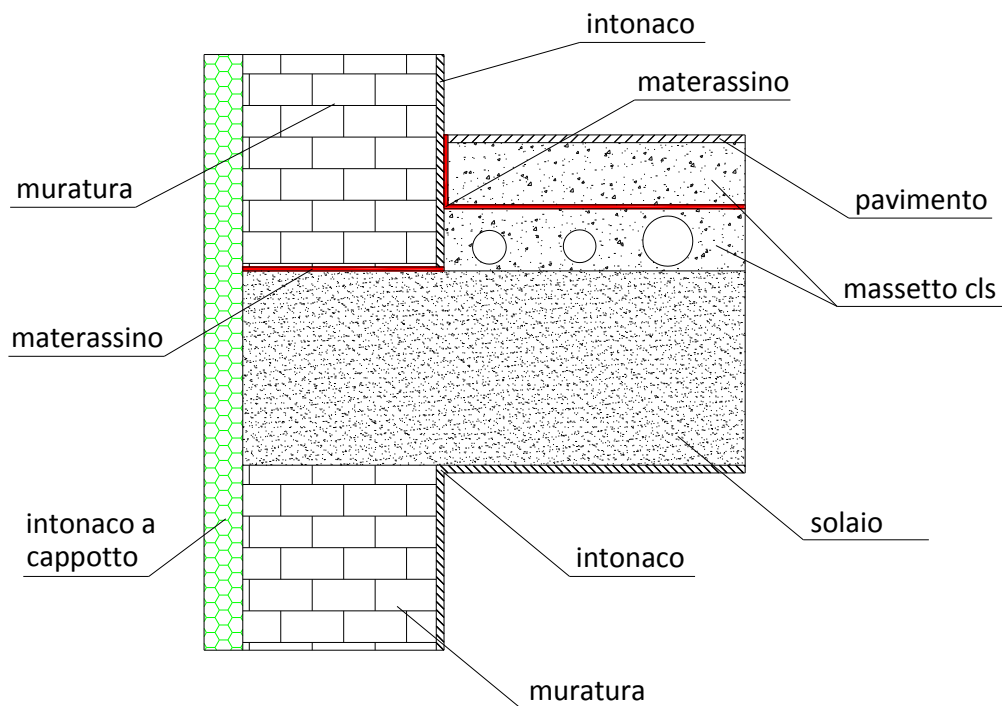
Dispersione di potenza attraverso il solaio: 4740 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano inferiore: 1390 W

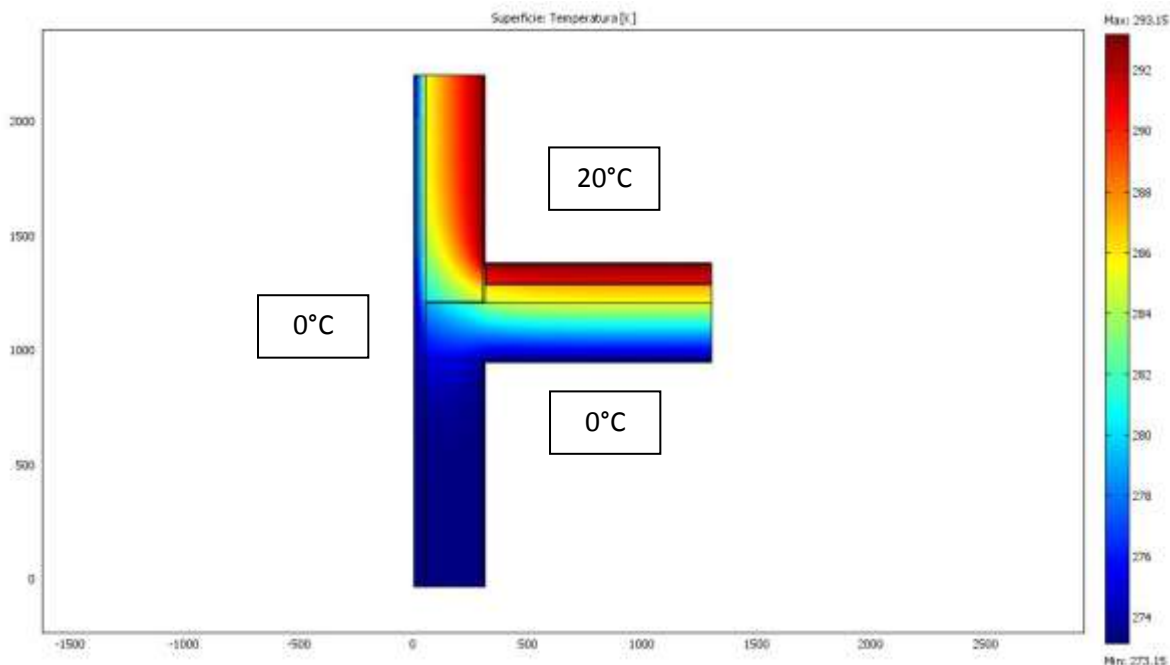
Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano superiore: 490 W

Per un totale di 9600 W di potenza dispersa dal singolo piano.

Caso 3)



In questo caso viene effettuato un doppio massetto, un primo strato per coprire le tubazioni ed un secondo strato gettato al di sopra di un tappetino di materiale anticalpestio con un risvolto al fine di creare un pavimento galleggiante.



Il cambiamento rispetto al primo caso è minimo, l'aver spostato l'isolamento al calpestio in mezzeria del massetto e quindi aver realizzato un piano d'appoggio perfettamente planare per la sua messa in opera non contribuisce in alcun modo all'isolamento termico, il colore differente è attribuibile al materassino.

Questo caso è molto simile al primo, presenta un coefficiente di conducibilità termica molto vicino ad esso.

$$\Psi_1 = 0,86$$

$$\Psi_2 = 0,91$$

$$\Psi_3 = 0,34$$

Il calcolo delle dispersioni fornisce questi risultati:

Dispersione di potenza attraverso il tamponamento: 4220 W

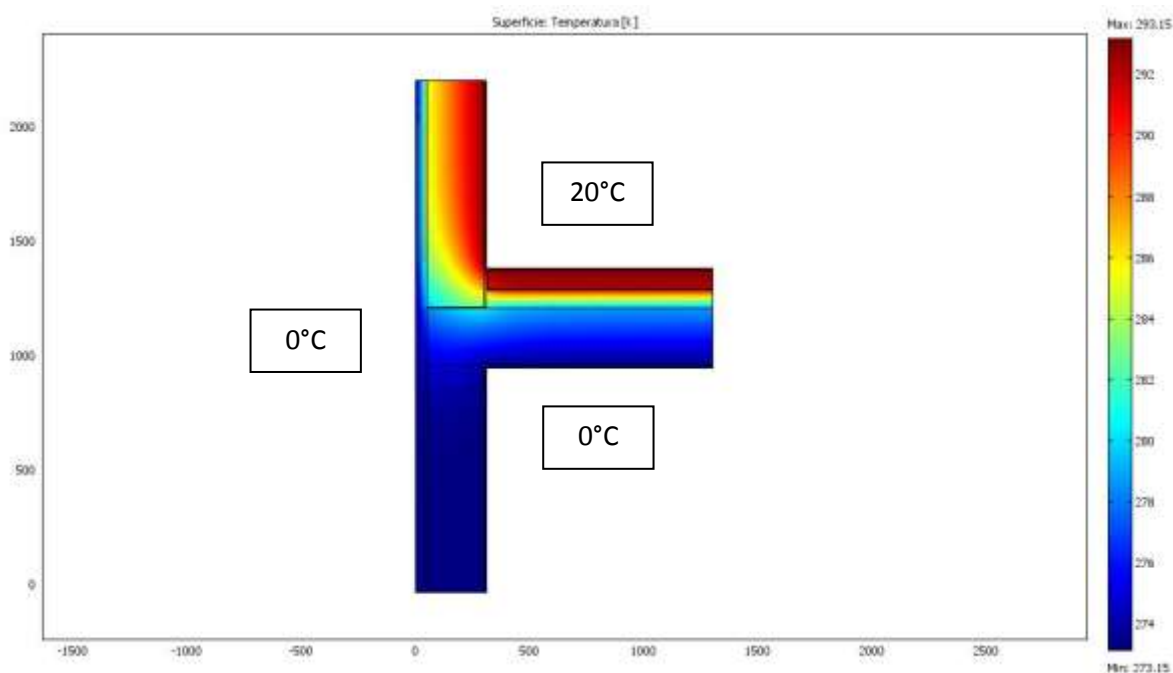
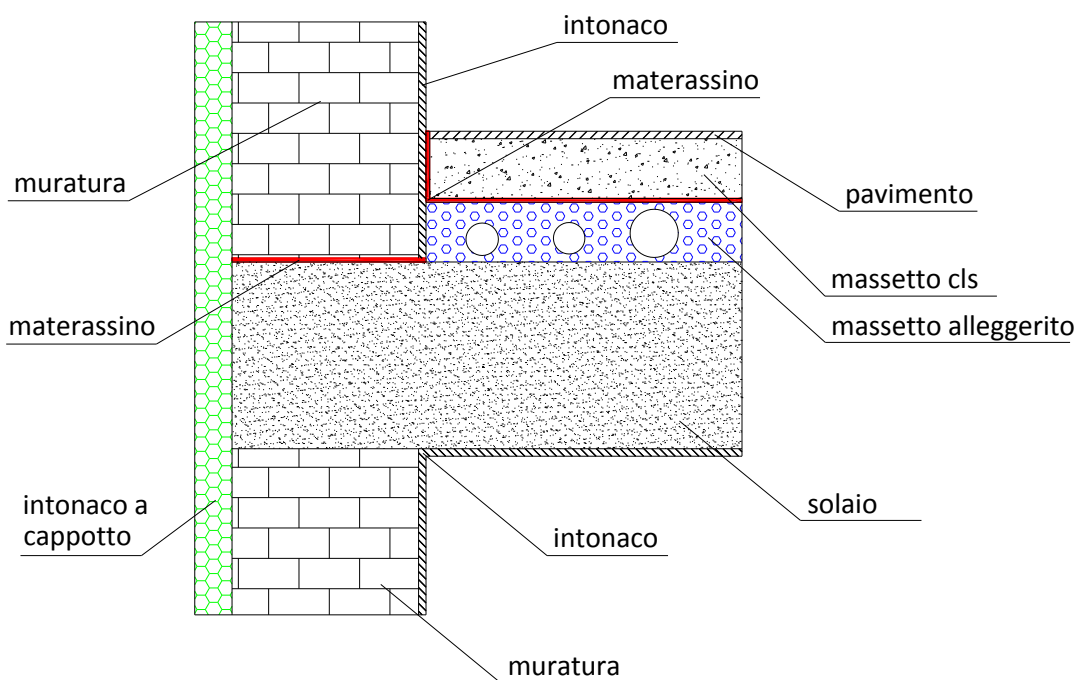
Dispersione di potenza attraverso il solaio: 4740 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano inferiore: 1410 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano superiore: 520 W

Per un totale di 10900 W di potenza dispersa dal singolo piano.

Caso 4)



Rispetto al caso precedente le tubazioni vengono ricoperte con un sottofondo alleggerito composto da un calcestruzzo avente come inerte perle di polistirene espanso avente una densità di 250 kg/m^3 , grazie a questo accorgimento il coefficiente di conducibilità scende drasticamente.

Le linee isoterme si dispongono in corrispondenza del massetto alleggerito, si ha un deciso miglioramento.

$$\Psi_1 = 0,55$$

$$\Psi_2 = 0,56$$

$$\Psi_3 = 0,31$$

Il calcolo delle dispersioni fornisce questi risultati:

Dispersione di potenza attraverso il tamponamento: 4220 W

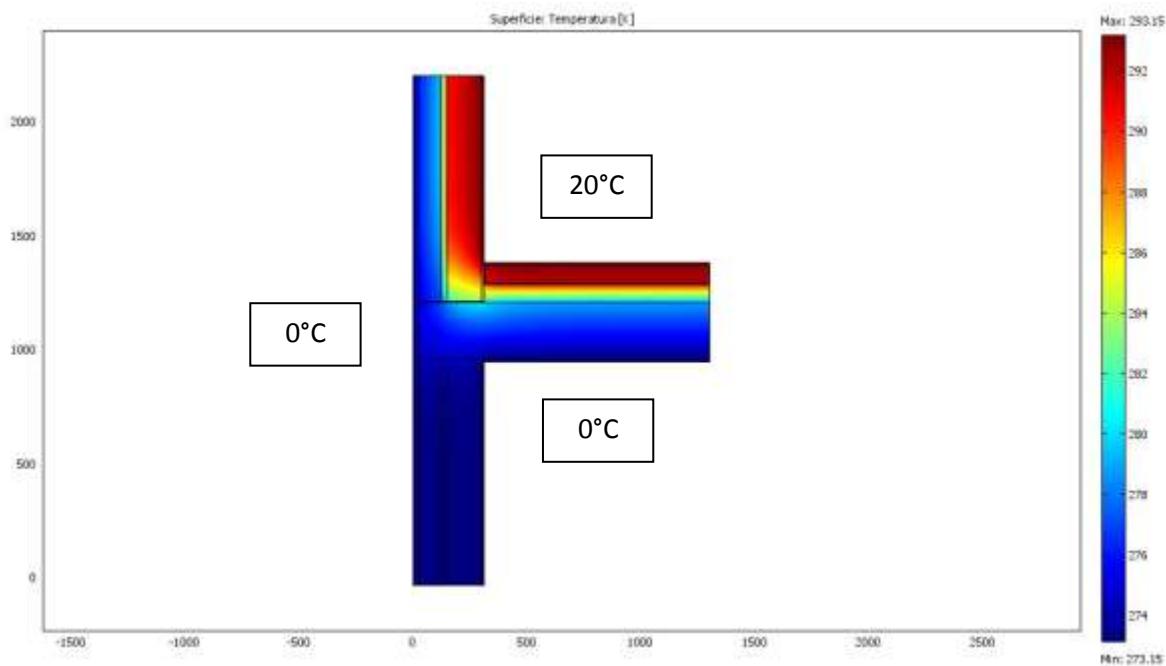
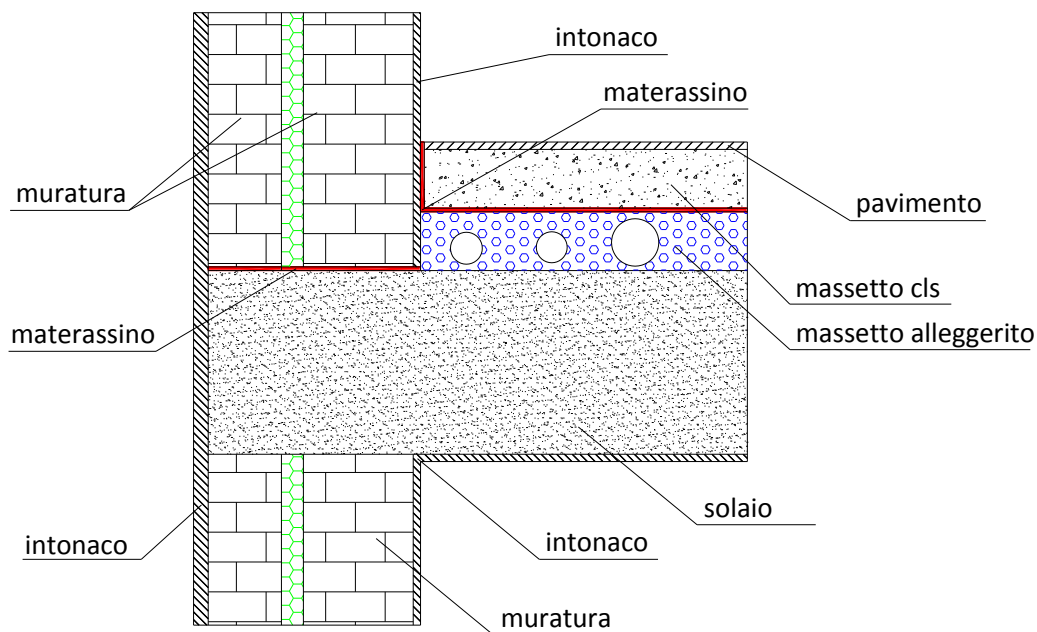
Dispersione di potenza attraverso il solaio: 2510 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano inferiore: 860 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano superiore: 480 W

Per un totale di 8070 W di potenza dispersa dal singolo piano.

Caso 5)



Adottando una doppia muratura al posto dell'intonaco a cappotto, il coefficiente di conducibilità termica lineare scende ulteriormente, risulta essere una ottima soluzione dal punto di vista termico.

Le linee isoterme si concentrano nell'isolamento termico al centro della muratura e nel massetto isolante, il gradiente al di fuori dei due elementi è quasi nullo.

$$\Psi_1 = 0,35$$

$$\Psi_2 = 0,37$$

$$\Psi_3 = 0,14$$

Il calcolo delle dispersioni fornisce questi risultati:

Dispersione di potenza attraverso il tamponamento: 2980 W

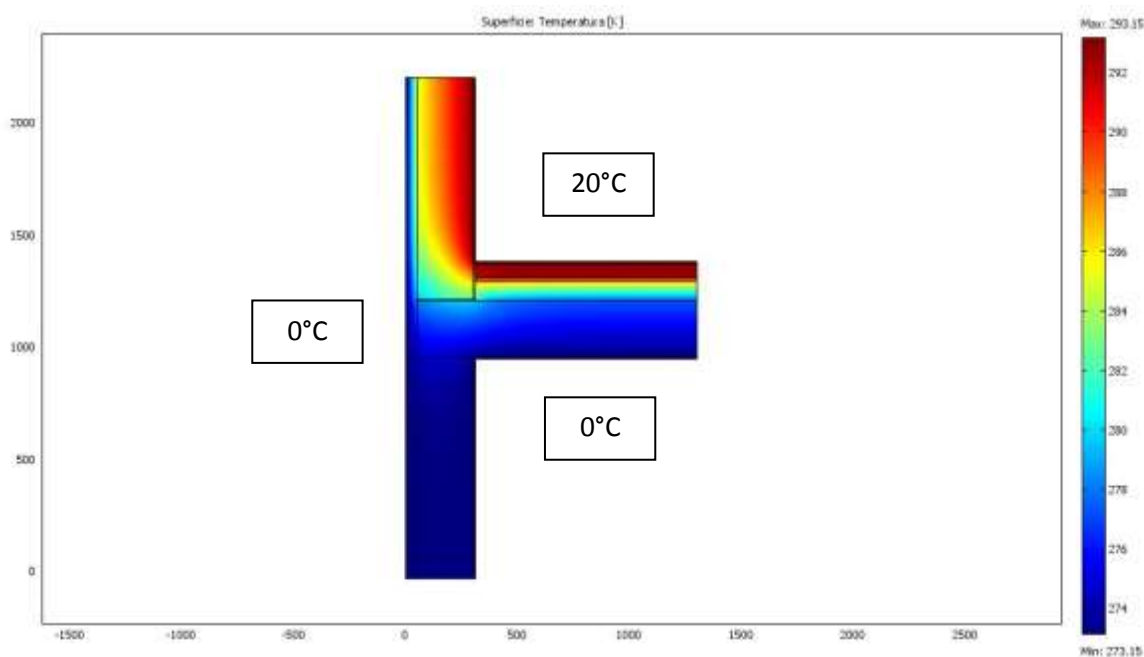
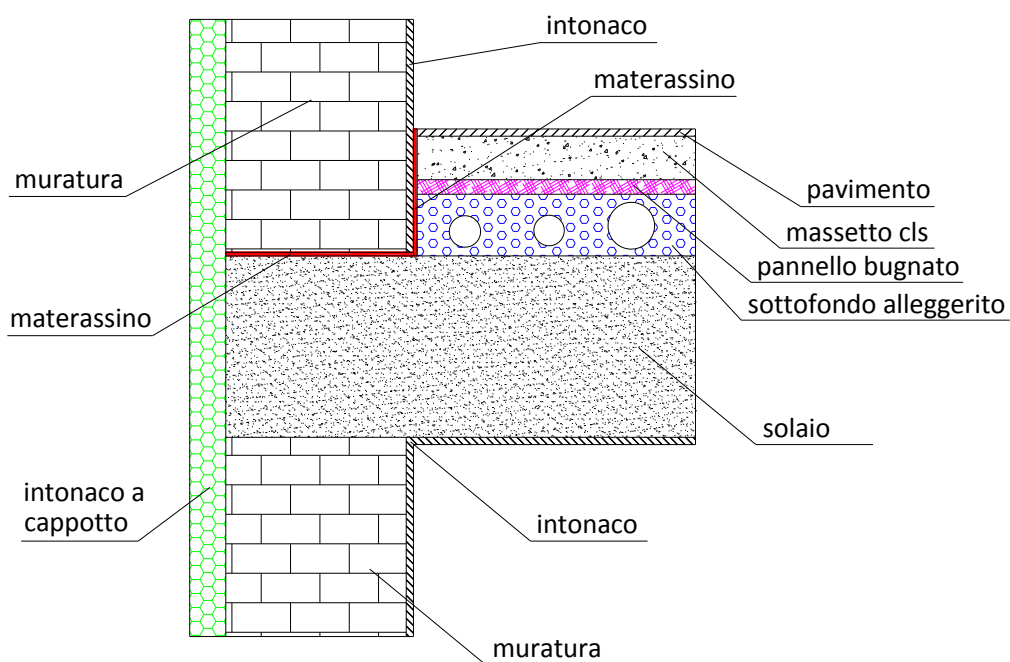
Dispersione di potenza attraverso il solaio: 2510 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano inferiore: 570 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano superiore: 220 W

Per un totale di 6270 W di potenza dispersa dal singolo piano.

Caso 6)



Sicuramente la soluzione mista con un calcestruzzo alleggerito inferiore e massetto in sabbia e cemento è una soluzione valida ed è molto simile al caso del pavimento riscaldato dove il pannello bugnato sul quale appoggiare la serpentina radiante deve appoggiare su un piano possibilmente regolare dalla presenza delle tubazione degli impianti, dotando il massetto di riempimento delle caratteristiche del calcestruzzo alleggerito, il risultato è importante, si ottiene un abbattimento rispetto al caso 4 dove non vi è il pannello bugnato in polistirene.

$$\Psi_1 = 0,51$$

$$\Psi_2 = 0,50$$

$$\Psi_3 = 0,30$$

Il calcolo delle dispersioni fornisce questi risultati:

Dispersione di potenza attraverso il tamponamento: 4220 W

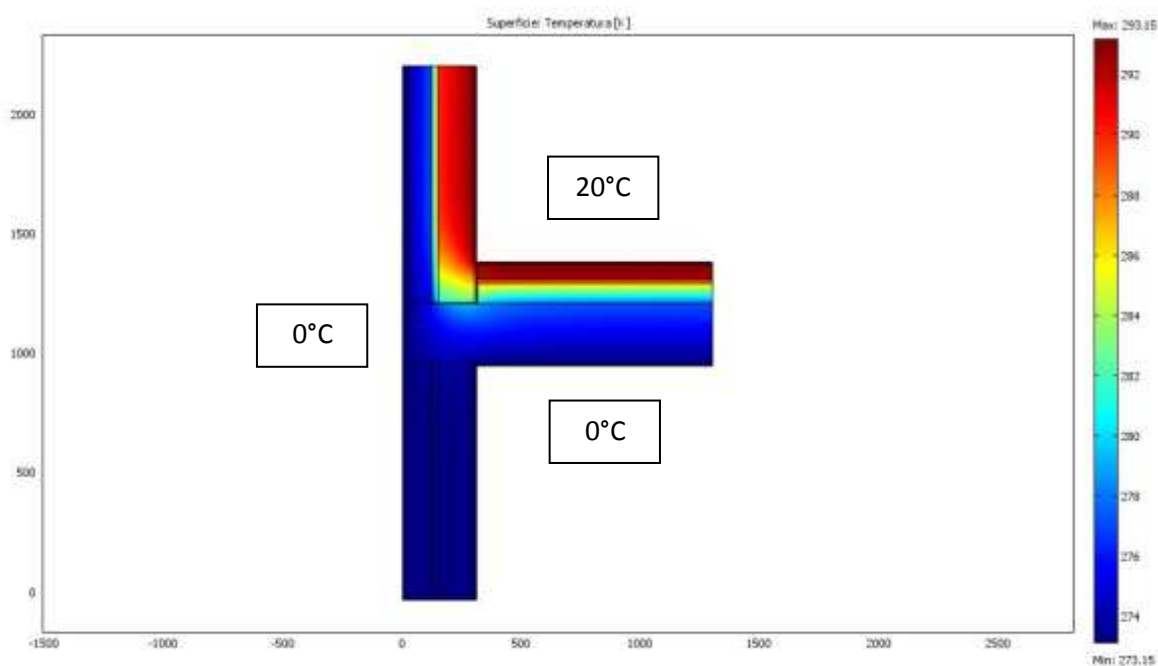
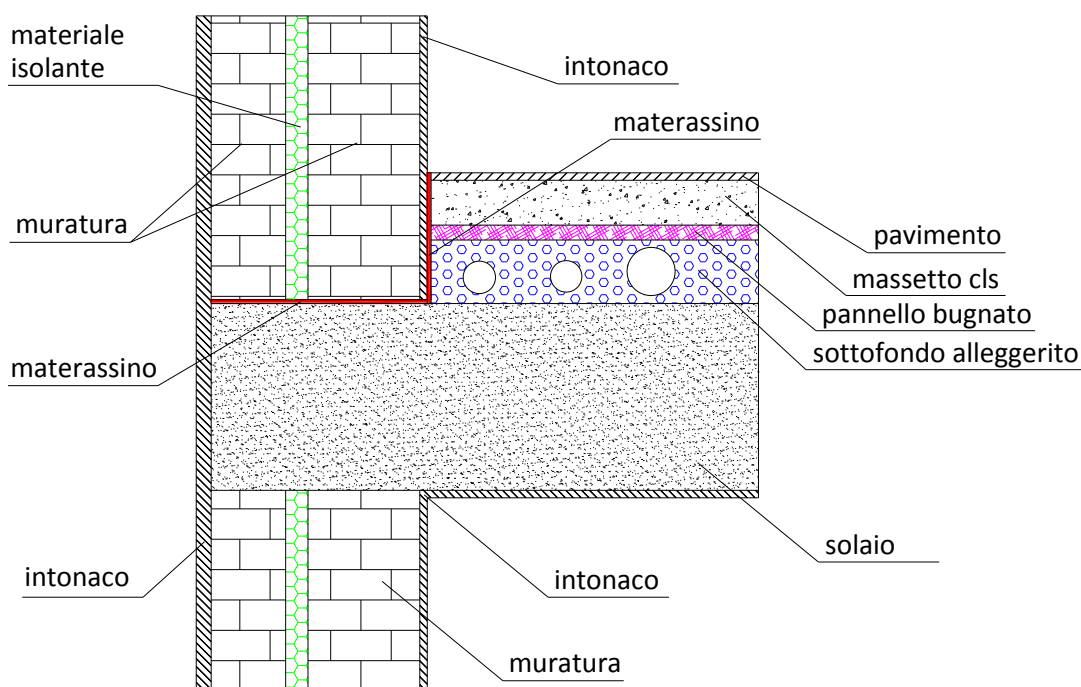
Dispersione di potenza attraverso il solaio: 1960 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano inferiore: 770 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano superiore: 460 W

Per un totale di 7410 W di potenza dispersa dal singolo piano.

Caso 7)



Come già notato nei casi precedenti cambiare uno dei paramenti fa mutare anche notevolmente il coefficiente di conducibilità, che scende sostituendo l'intonaco a cappotto con una doppia parete.

Come nei casi precedenti le linee isoterme si concentrano sull'isolamento all'interno della muratura diminuendo così la quantità di materia da scaldare.

$$\Psi_1 = 0,38$$

$$\Psi_2 = 0,41$$

$$\Psi_3 = 0,25$$

Il calcolo delle dispersioni fornisce questi risultati:

Dispersione di potenza attraverso il tamponamento: 2980 W

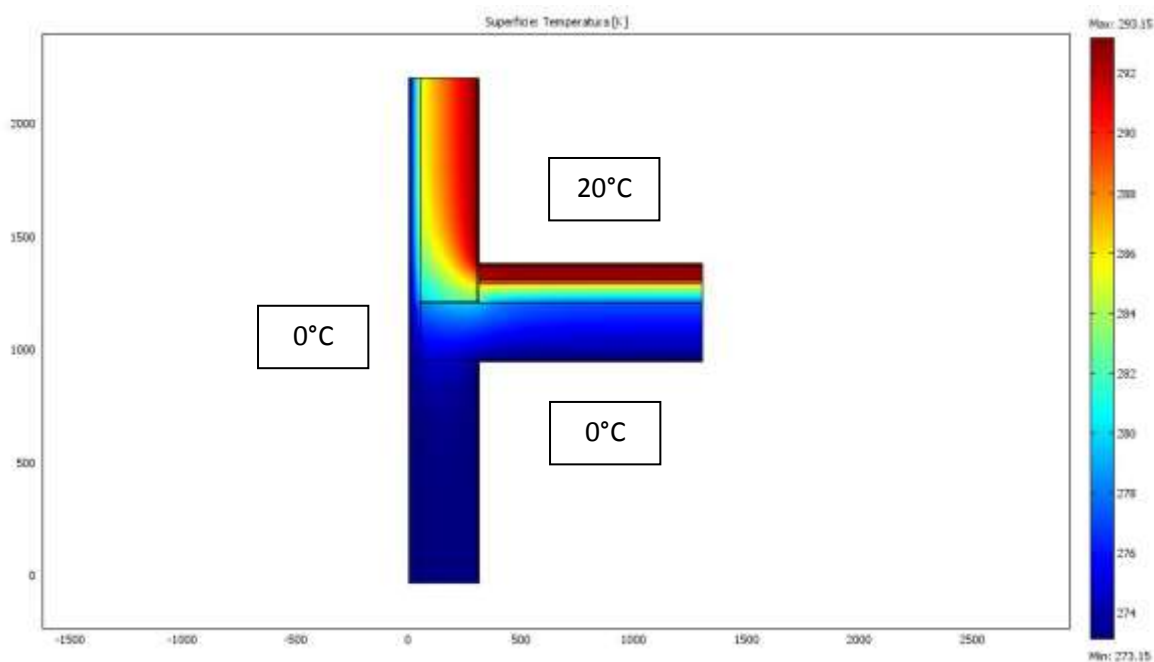
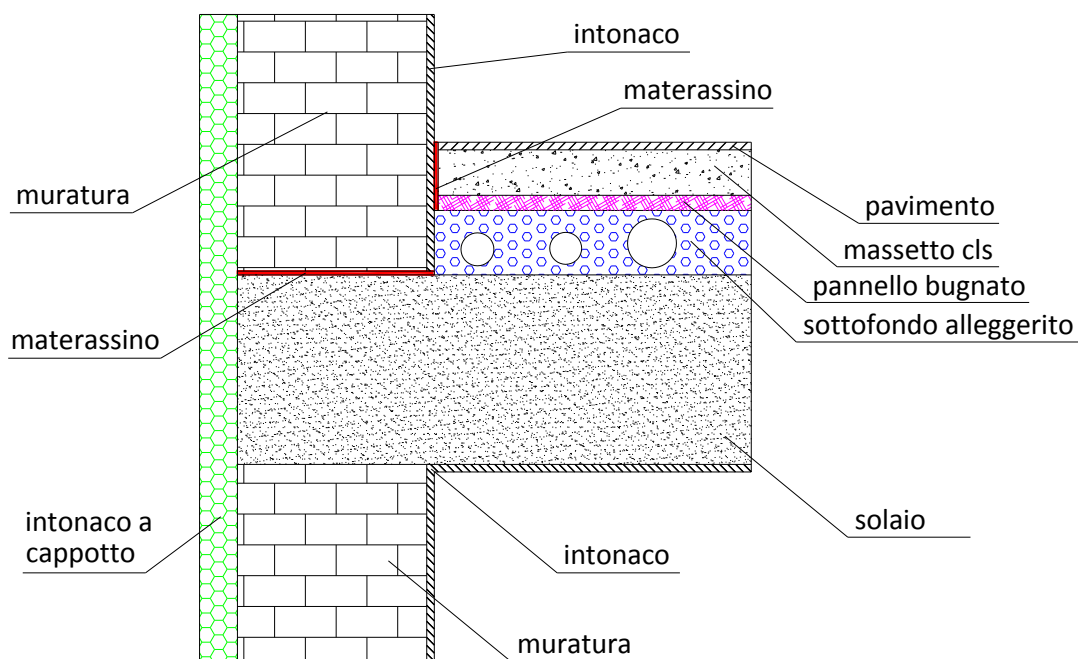
Dispersione di potenza attraverso il solaio: 1960 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano inferiore: 630 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano superiore: 390 W

Per un totale di 5960 W di potenza dispersa dal singolo piano.

Caso 8)



Eliminando la fascetta perimetrale del massetto alleggerito posto al di sotto del pannello bugnato, il risultato che risalta è un aumento dell'isolamento, infatti il coefficiente rispetto al caso simile è più basso.

Rispetto al caso 6 è stata tolta una discontinuità, il cambiamento è minimo.

$$\Psi_1 = 0,49$$

$$\Psi_2 = 0,48$$

$$\Psi_3 = 0,30$$

Il calcolo delle dispersioni fornisce questi risultati:

Dispersione di potenza attraverso il tamponamento: 4220 W

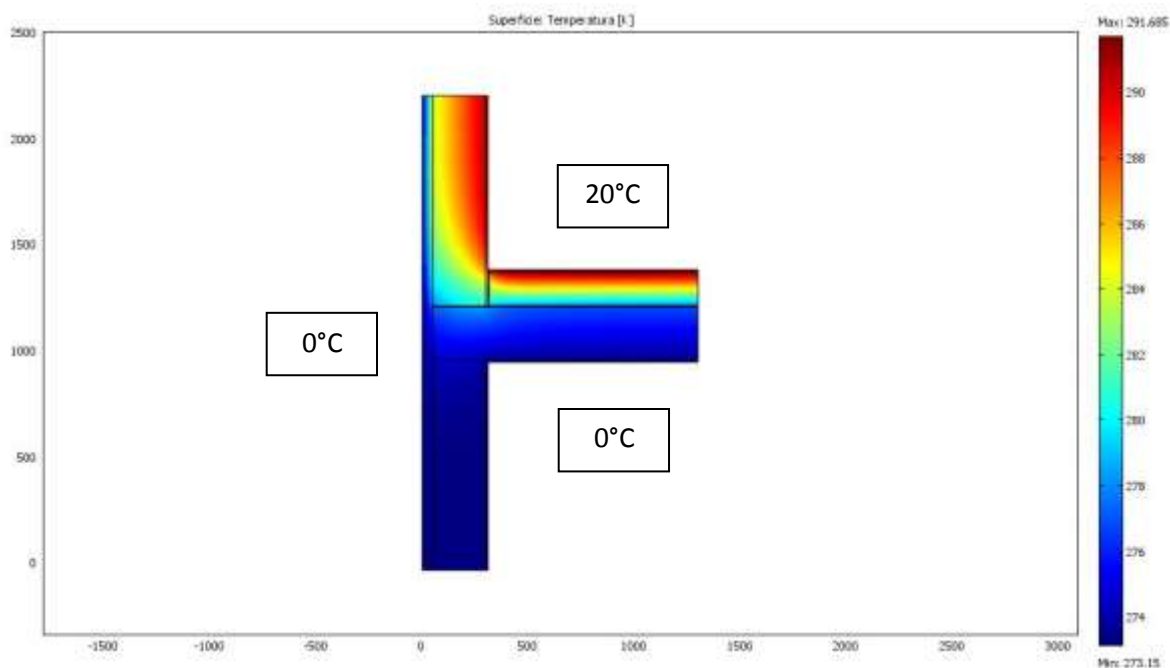
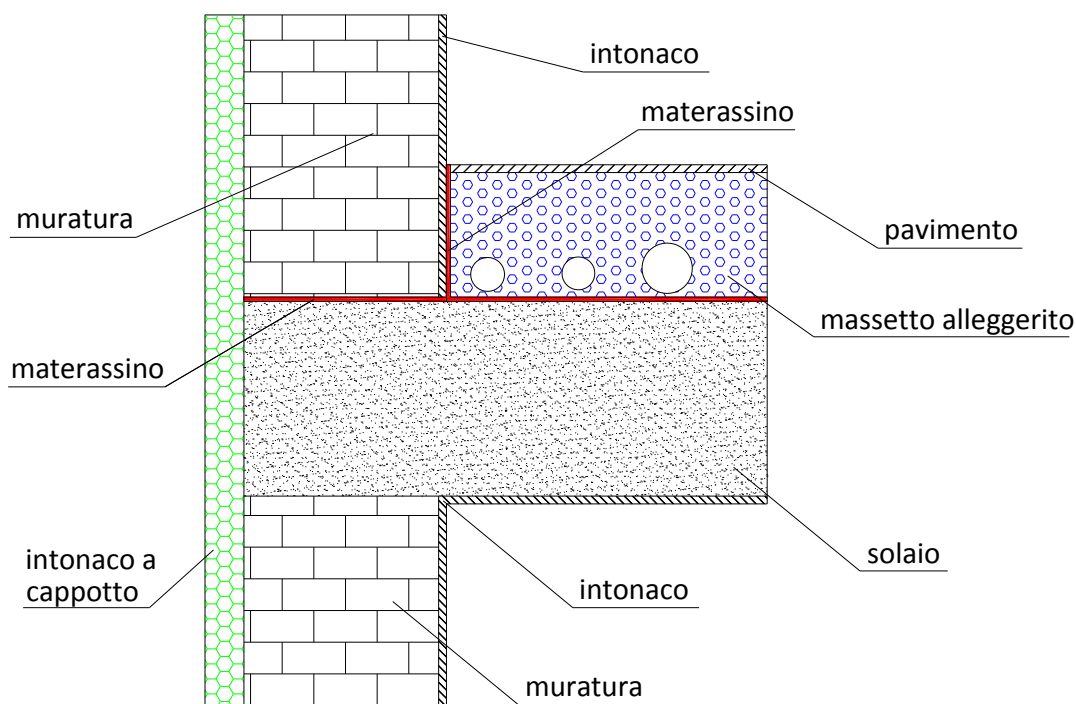
Dispersione di potenza attraverso il solaio: 1960 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano inferiore: 740 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano superiore: 460 W

Per un totale di 7380 W di potenza dispersa dal singolo piano.

Caso 9)



Con massetto alleggerito dotato di un coefficiente di conducibilità termica molto basso, avente una densità di 350 kg/m^3 sul quale è possibile incollare direttamente la pavimentazione il coefficiente di conducibilità termica lineare ne risente favorevolmente.

Le isoterme si concentrano nel massetto e nel cappotto esterno come si può ben notare dal grafico.

$$\Psi_1 = 0,47$$

$$\Psi_2 = 0,42$$

$$\Psi_3 = 0,29$$

Il calcolo delle dispersioni fornisce questi risultati:

Dispersione di potenza attraverso il tamponamento: 4220 W

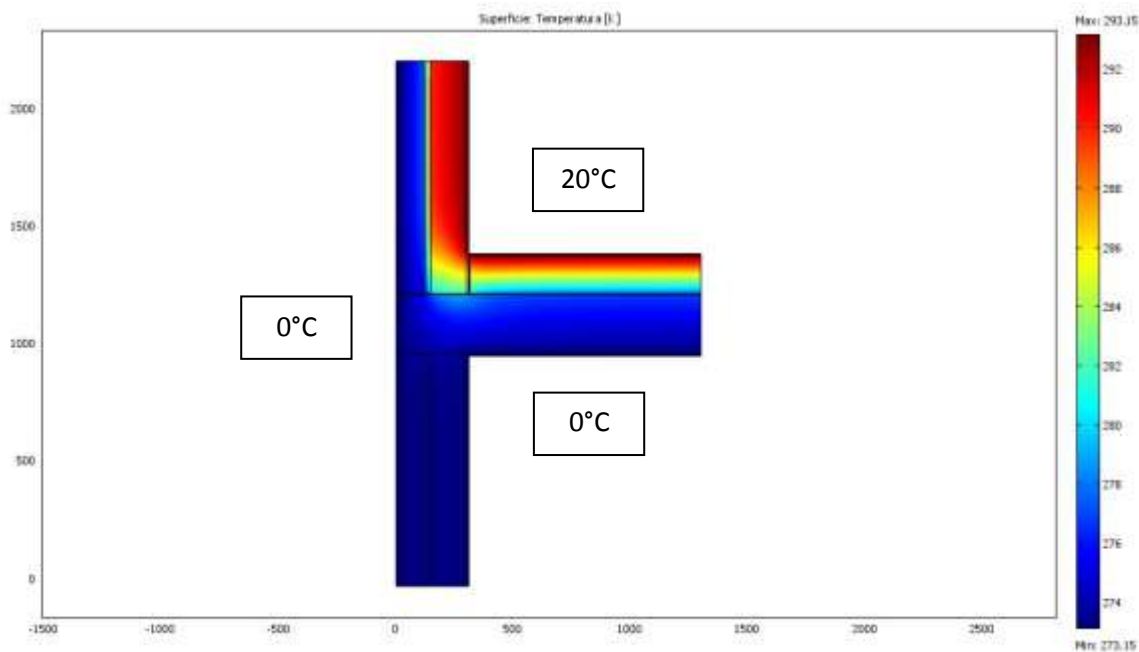
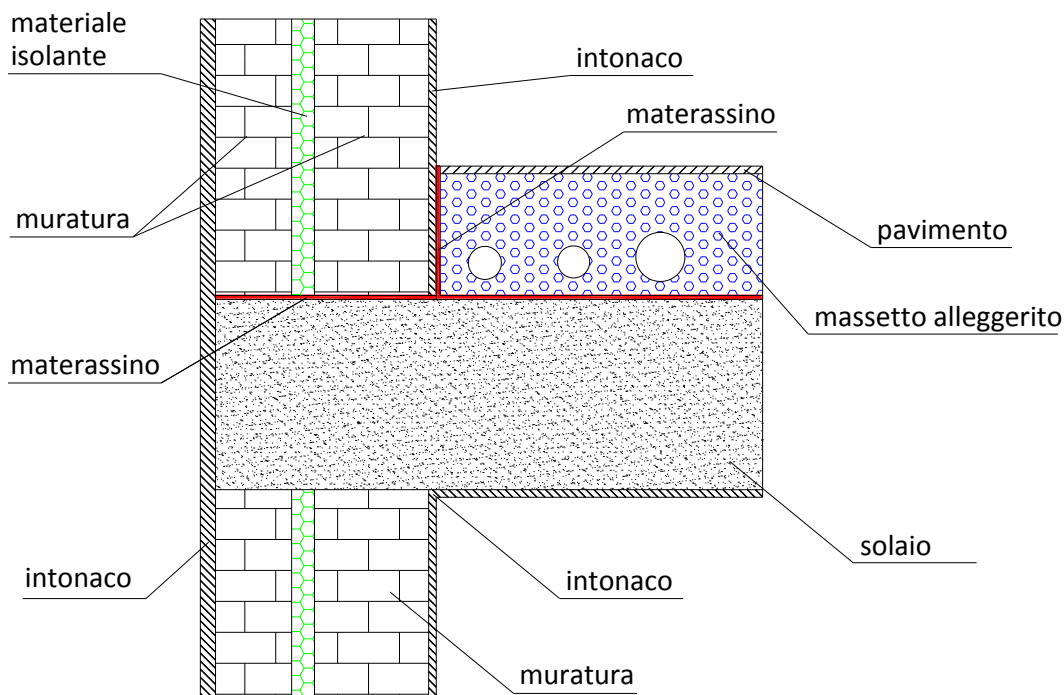
Dispersione di potenza attraverso il solaio: 1680 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano inferiore: 650 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano superiore: 450 W

Per un totale di 7000 W di potenza dispersa dal singolo piano.

Caso 10)



Adottando la doppia muratura con intercapedine riempita da materiale isolante in polistirene espanso il coefficiente scende ai livelli minimi.

Dal grafico si evince che la zona calda diminuisce notevolmente, avendo spostato l'isolamento verso la zona interna dell'edificio, si vede inoltre che la zona fredda è ben separata dalla zona calda, questo consente di ottenere un ridotto ponte termico.

$$\Psi_1 = 0,36$$

$$\Psi_2 = 0,35$$

$$\Psi_3 = 0,24$$

Il calcolo delle dispersioni fornisce questi risultati:

Dispersione di potenza attraverso il tamponamento: 2980 W

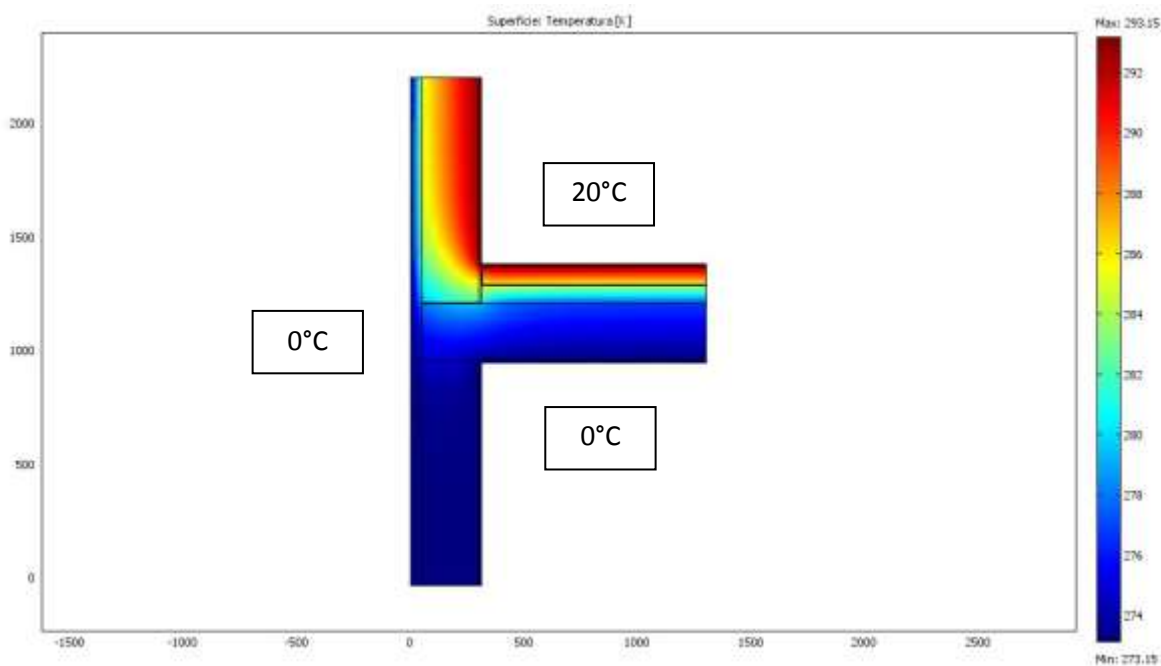
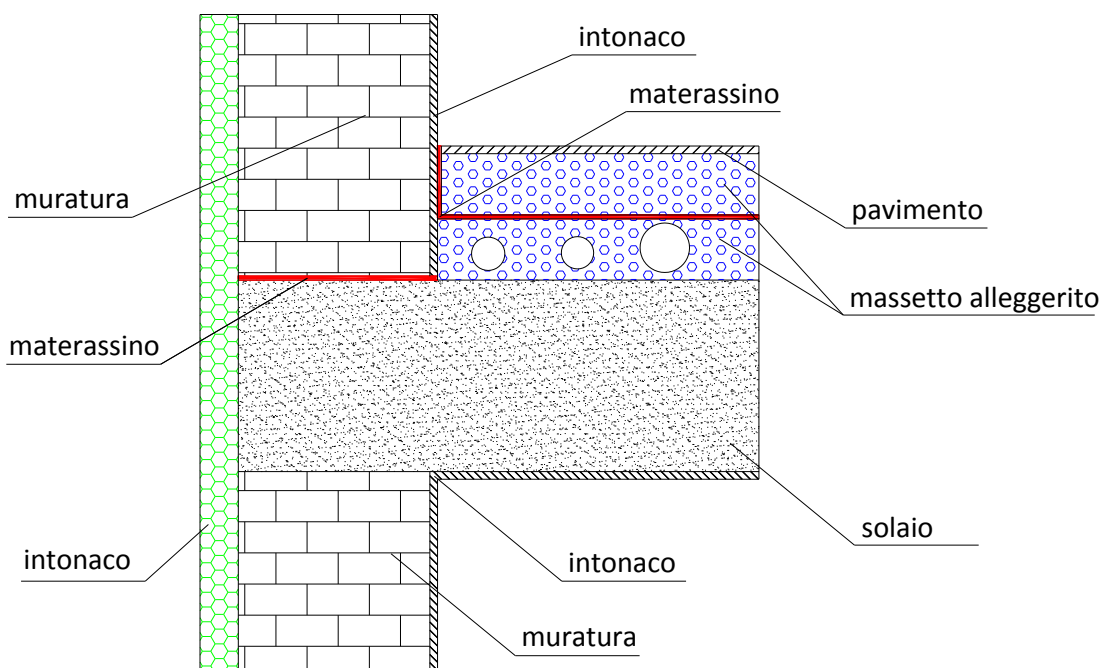
Dispersione di potenza attraverso il solaio: 1680 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano inferiore: 540 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano superiore: 370 W

Per un totale di 5580 W di potenza dispersa dal singolo piano.

Caso 11)



Introducendo una discontinuità, cioè portando il tappetino da appoggiato sul solaio nudo a sopra il massetto di ricoprimento, si ha l'effetto di peggiorare di poco la situazione, infatti il coefficiente varia di poco verso l'alto.

Il grafico delle isoterme non varia molto dal caso 9, in effetti l'andamento delle temperature all'interno del massetto non si discosta da quello del caso sopracitato.

$$\Psi_1 = 0,47$$

$$\Psi_2 = 0,42$$

$$\Psi_3 = 0,28$$

Il calcolo delle dispersioni fornisce questi risultati:

Dispersione di potenza attraverso il tamponamento: 4220 W

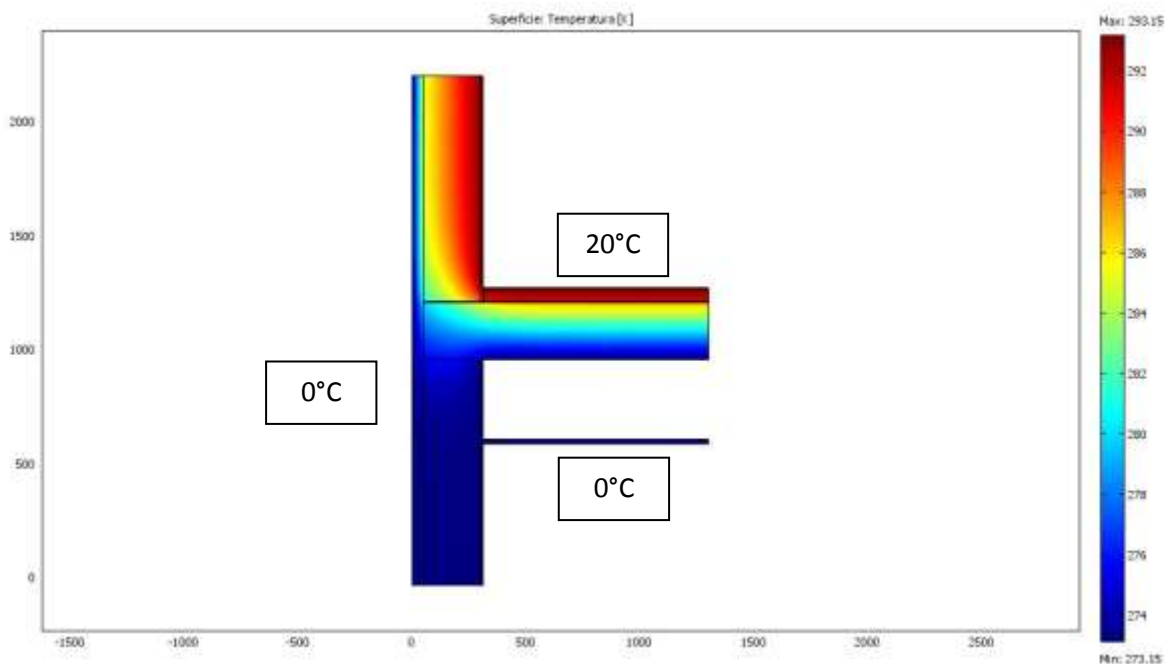
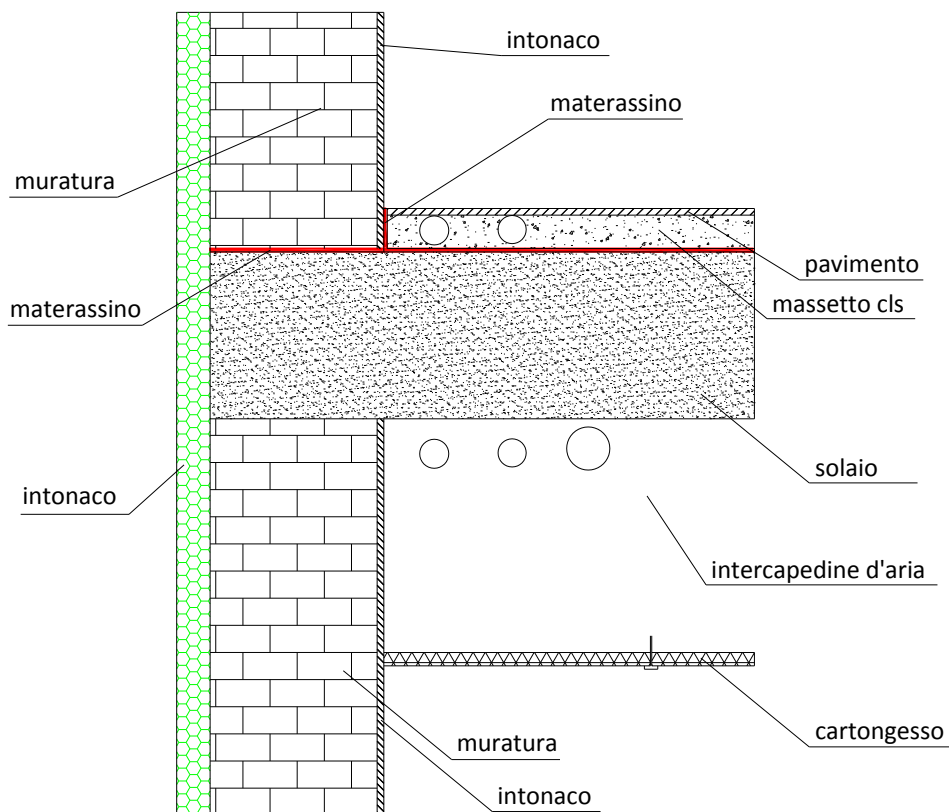
Dispersione di potenza attraverso il solaio: 1680 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano inferiore: 650 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano superiore: 430 W

Per un totale di 6980 W di potenza dispersa dal singolo piano.

Caso 12)



Il caso più sfavorevole è quello del controsoffitto, infatti lo spessore del massetto può ridursi notevolmente grazie al fatto che parte degli impianti si possono far passare nell'intercapedine d'aria compresa tra il controsoffitto e il solaio, però l'altezza totale del pacchetto aumenta drasticamente dovendo lasciare un'intercapedine minima di 35cm.

Dal grafico delle temperature si nota come sia il solaio a dover esplicare il compito di isolamento, il massetto rimane alla temperatura ambiente e le isoterme si dispongono nella parte strutturale.

$$\Psi_1 = 1,10$$

$$\Psi_2 = 1,09$$

$$\Psi_3 = 0,39$$

Il calcolo delle dispersioni fornisce questi risultati:

Dispersione di potenza attraverso il tamponamento: 4220 W

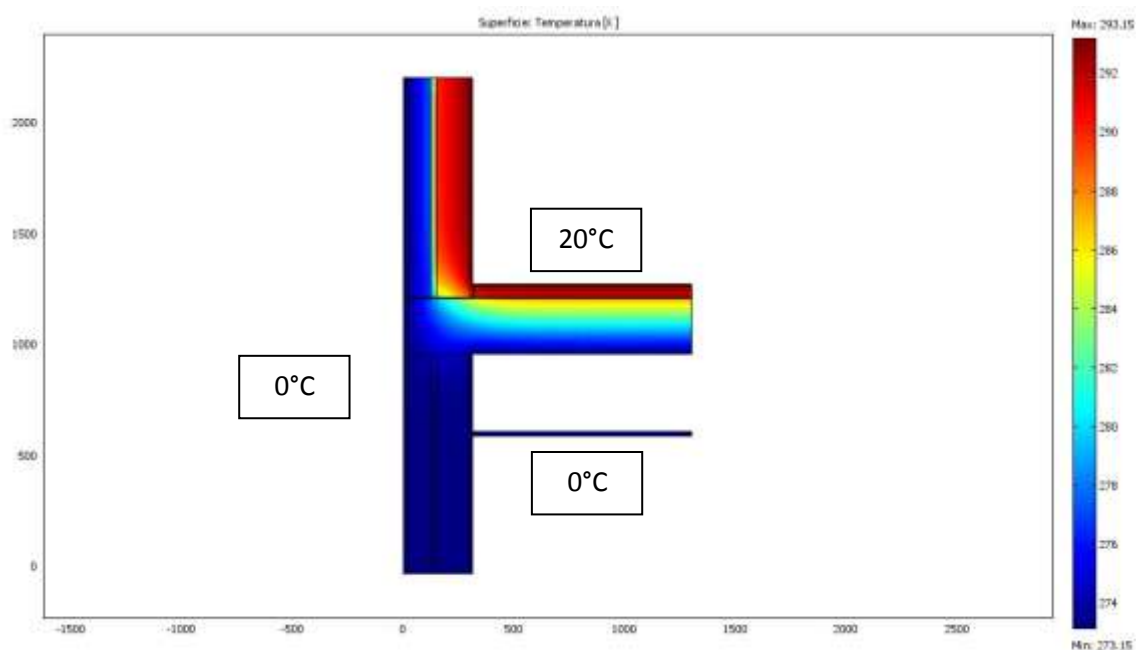
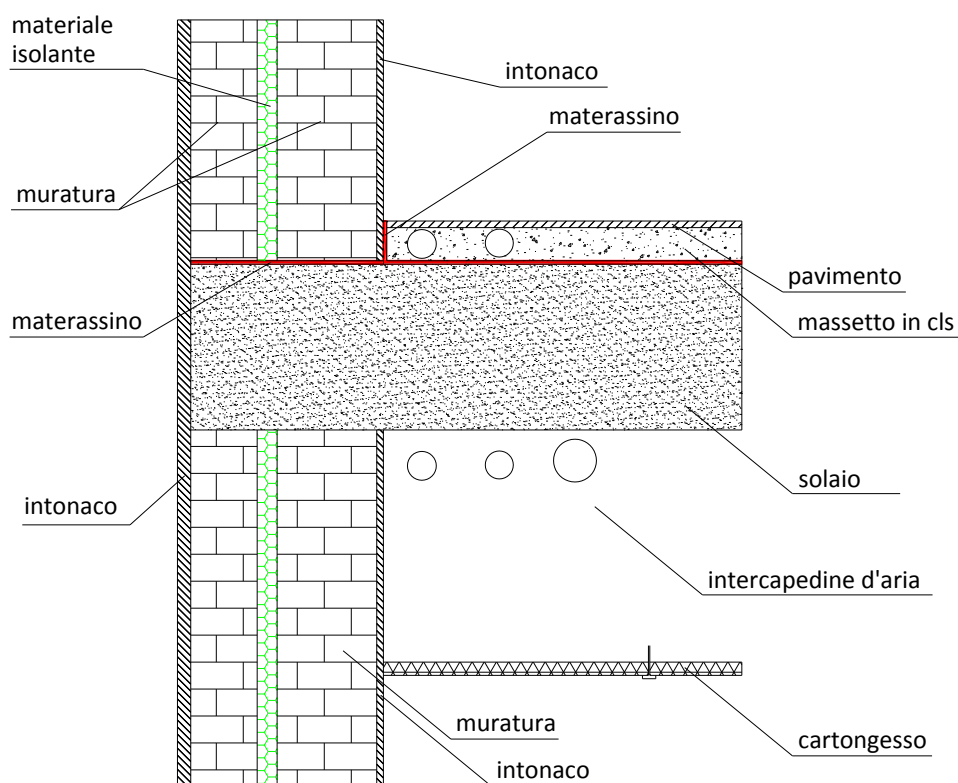
Dispersione di potenza attraverso il solaio: 5250 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano inferiore: 1680 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano superiore: 600 W

Per un totale di 11750 W di potenza dispersa dal singolo piano.

Caso 13)



Adottando la doppia muratura il coefficiente torna a scendere.

Come nei casi precedenti, la doppia muratura fa scendere di circa un decimo di punto l'isolamento, ma è chiaro che il problema sia esclusivamente a carico della partizione orizzontale.

$$\Psi_1 = 1,00$$

$$\Psi_2 = 1,05$$

$$\Psi_3 = 0,37$$

Il calcolo delle dispersioni fornisce questi risultati:

Dispersione di potenza attraverso il tamponamento: 2980 W

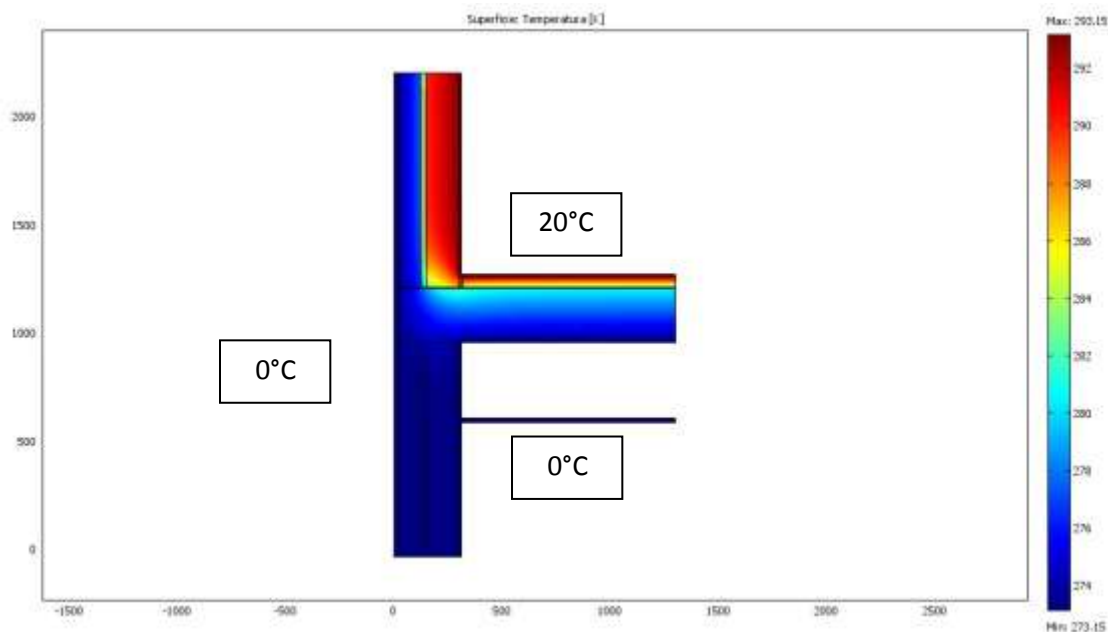
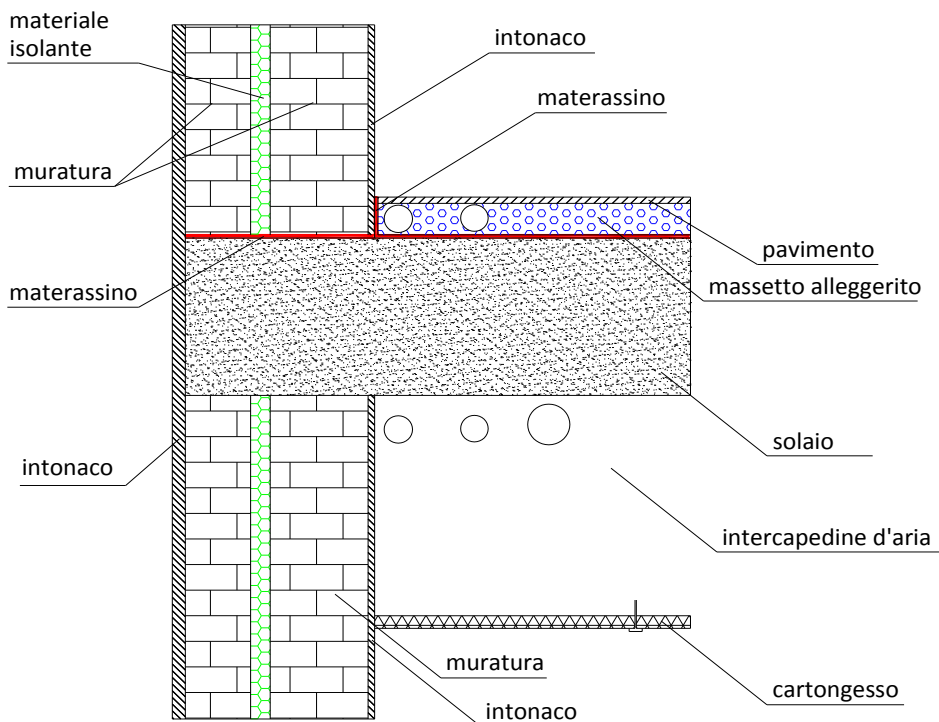
Dispersione di potenza attraverso il solaio: 5250 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano inferiore: 1620 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano superiore: 570 W

Per un totale di 10420 W di potenza dispersa dal singolo piano.

Caso 14)



Sostituendo al massetto in calcestruzzo tradizionale un massetto alleggerito il coefficiente si avvicina quasi al dimezzamento.

L'adozione di un massetto alleggerito dotato di un coefficiente di conducibilità termica molto più basso consente alle isoterme di disporsi all'interno del massetto nonostante le esigue dimensioni, vi è infatti comunque un gradiente termico all'interno del solaio, cosa che sarebbe meglio sempre evitare.

$$\Psi_1 = 0,61$$

$$\Psi_2 = 0,58$$

$$\Psi_3 = 0,33$$

Il calcolo delle dispersioni fornisce questi risultati:

Dispersione di potenza attraverso il tamponamento: 2980 W

Dispersione di potenza attraverso il solaio: 3250 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano inferiore: 900 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano superiore: 510 W

Per un totale di 7640 W di potenza dispersa dal singolo piano.

Si può notare che i risultati coincidono con le nostre attese, cioè all'aumentare dei coefficienti di conducibilità lineica e della conducibilità termica dei paramenti orizzontali e verticali, la potenza dispersa aumenta, il massimo lo si ha per il caso di controsoffitto e nel caso non si adottino soluzioni isolanti, in special modo per i solai, infatti 2 dei 3 valori massimi si hanno nel caso di massetto tradizionale, caso in cui si ha i valori massimi di conducibilità termica dei solai.

I valori minimi si hanno per tamponamenti con isolante all'interno e solaio con massetto alleggerito, infatti la potenza dispersa si dimezza.

4.4. ANALISI ACUSTICA

Per quanto concerne l'analisi acustica, la normativa prevede una verifica sull'isolamento dai rumori di calpestio, una sull'isolamento dei rumori aerei provenienti dall'esterno e una sui rumori provenienti da un'altra unità abitativa.

Tali limiti sono definiti nella tabella B come indicato all'articolo 3 del DPCM del 5 Dicembre 1997, che per edifici di civile abitazione sono:

- ✓ Livello di calpestio $L_{n,w}$ inferiore a 63 dB
- ✓ Potere fono isolante dall'esterno $D_{2m,nT,w}$ superiore a 40 dB
- ✓ Potere fono isolante da altra unità abitativa R_w superiore a 50 dB

I casi che analizzeremo saranno i più significativi, cioè uno per ciascuna tipologia di metodologia costruttiva, quindi il caso 1), 5), 7), 10) e 12).

La norma UNI 11175 definisce i seguenti metodi di calcolo.

Per la determinazione dell'isolamento da calpestio si fa riferimento a questa formulazione:

$$L'_{nw} = L_{nweq} - \Delta L_w + K$$

Dove

L_{nweq} livello di rumore da calpestio equivalente riferito al solaio nudo privo dello strato di pavimento galleggiante (dB);

ΔL_w indice di valutazione relativo alla riduzione dei rumori di calpestio dovuto alla presenza di pavimento galleggiante o rivestimento resiliente (dB);

K correzione da apportare per la presenza di trasmissione laterale di rumore. Il suo valore dipende dalla massa superficiale del solaio nudo e dalla sua massa (dB).

Da prove sperimentali su solai di geometria e materiali simili, il valore di L_{nweq} risulta essere pari a 84 dB con una massa superficiale di circa 340 kg/m².

Il materassino che si utilizzerà ha una rigidità dinamica $s' = 20 \text{ kg/m}^3$ che nel caso di pavimento riscaldato verrà sostituito dal pannello bugnato in polistirolo espanso avente una rigidità dinamica di circa $s' = 60 \text{ kg/m}^3$ (valore molto a favore di sicurezza).

Il peso specifico e lo spessore del massetto al di sopra del materassino è fondamentale per la riuscita della verifica, è proprio in questo punto che bisogna cercare il corretto bilanciamento tra l'isolamento termico ed acustico.

Il massetto in cls ha una densità di circa $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$, mentre un massetto alleggerito in polistirene espanso $\rho = 350 \text{ kg/m}^3$. Lo spessore cambia in funzione dello schema adottato.

Come primo passaggio si ha la determinazione della frequenza di risonanza:

$$f_0 = 160 \cdot \sqrt{\frac{s'}{m'}}$$

Dove m' è la massa superficiale del massetto posto sopra il materassino.

A questo punto si può determinare il valore di ΔL_w :

$$\Delta L_w = 30 \cdot \log\left(\frac{f}{f_0}\right) + 3$$

Dove f è la frequenza di riferimento fornito dalla normativa pari a 500 Hz.

Il coefficiente K è fornito dalla norma UNI 11175 in funzione della massa superficiale del solaio e della massa superficiale delle murature di tamponamento.

Il calcolo dell'isolamento dal rumore aereo proveniente da una abitazione adiacente è un po' più complesso, la formulazione è la seguente:

$$R'_w = -10 \log \left(10^{-\frac{R_{wDd}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-\frac{R_{wFf}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{-\frac{R_{wDf}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{-\frac{R_{wFd}}{10}} \right)$$

Dove:

$$R_{w,ij} = \frac{R_{wi} + R_{wj}}{2} + \Delta R_{w,ij} + K_{ij} + 10 \log \left(\frac{S}{l_0 \cdot l_{ij}} \right)$$

In cui :

$R_{w,ij}$ è l'indice di valutazione del potere fonoisolante caratterizzante il percorso ij

n è il numero di lati dell'elemento divisorio (generalmente 4)

Il procedimento prevede inizialmente di identificare i diversi possibili percorsi di propagazione del rumore, diretti e indiretti, nel nostro caso saranno 1 diretto e 12 indiretti.

Per prima cosa si identificano il tamponamento da analizzare, di seguito si definiscono i percorsi, quindi si possono immettere nel calcolo i dati sulla geometria necessari alla determinazione del valore desiderato: la geometria delle stanze e in particolare la lunghezza del muro divisorio e la superficie della stanza in cui misurare il valore, l'altezza del locale, quindi si può determinare volume della stanza e superficie dell'elemento di separazione.

Adesso bisogna definire sia la massa superficiale m' che l'isolamento R_w offerto dal singolo tamponamento e del solaio.

Quindi attraverso le formule indicate in precedenza si possono determinare i valori desiderati.

L'isolamento di facciata rappresenta un parametro importante per un'abitazione in quanto indica un valore minimo di abbattimento dei rumori esterni.

$$D_{2mn,tw} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \log \left(\frac{V}{6 \cdot T_0 \cdot S_{tot}} \right)$$

Dove:

R'_w è l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente della facciata (dB)

ΔL_{fs} è un termine correttivo che quantifica l'influenza delle caratteristiche della facciata (dB)

V è il volume del locale considerato (m^3)

T_0 è il tempo di riverberazione di riferimento pari a 0,5 sec (sec)

S_{tot} rappresenta la superficie di facciata vista dall'interno (m^2)

$$R'_w = -10 \log \left(\frac{S_i}{S} \right) \cdot 10^{-\frac{R_w}{10}} + K$$

In cui S_i rappresenta la superficie dell'elemento presente sulla parete, può essere muratura, porte, finestre, etc.

K è un coefficiente che tiene conto delle trasmissioni laterali, ma per le ipotesi dette in precedenza di connessione flessibile dei tamponamenti alla struttura, tale valore è molto basso, ma a favore di sicurezza viene posto pari a 2.

In questo calcolo è stata considerata una finestra di $1,8 m^2$ con un R_w pari a $38 dB$.

I risultati dei vari casi presi in considerazione sono:

	$L'_{nw} \leq 63(dB)$	$R'_w \geq 50(dB)$	$D_{2mn,tw} \geq 40(dB)$
Caso 1	50	48	43
Caso 5	55	49	43
Caso 7	62	49	43
Caso 10	61	49	43
Caso 12	58	48	43

Si può immediatamente notare che i valori sono sempre soddisfatti tranne che per l'isolamento tra unità abitative adiacenti.

Il valore massimo di abbattimento di rumore da calpestio si ha nel caso di tutto massetto in cls, mentre il valore minimo si ha per un massetto alleggerito dove ci si avvicina notevolmente al valore limite, mentre per il limite di isolamento di facciata non abbiamo problemi di alcun genere.

4.5. ANALISI DEI CARICHI

L'analisi dei carichi viene fatta in modo distinto per

- ✓ Solaio del piano terra - negozi
- ✓ Solaio del piano tipo (primo, secondo, terzo) - civile abitazione
- ✓ Solaio di copertura - carico neve

Caso 1)

➤ *Solaio piano terra*

Carichi permanenti

peso proprio solaio	305	kg/m^2
materassino - (0,004*250)	1	kg/m^2
massetto - (0,16*2000)	320	kg/m^2
pavimento - (0,01*2000)	20	kg/m^2
tramezzi	120	kg/m^2
	770	kg/m^2

Carichi accidentali

negozi - ambiente suscettibile di grande affollamento	400	kg/m^2
	400	kg/m^2

Totale

	1200	kg/m^2
--	-------------	----------------------------

➤ *Solaio piano tipo*

Carichi permanenti

peso proprio solaio	305	kg/m^2
intonaco - (0,01*2200)	22	kg/m^2
materassino - (0,004*250)	1	kg/m^2
massetto - (0,16*2000)	320	kg/m^2
pavimento - (0,01*2000)	20	kg/m^2
tramezzi	120	kg/m^2
	790	kg/m^2

Carichi accidentali

appartamenti	200	kg/m^2
	200	kg/m^2
totale	1000	kg/m^2

➤ *Solaio di copertura*

Carichi permanenti

peso proprio solaio	305	kg/m^2
intonaco - (0,01*2200)	22	kg/m^2
massetto - (0,08*2000)	160	kg/m^2
impermeabilizzazione + coibentazione	10	kg/m^2
coppi	80	kg/m^2
	570	kg/m^2

Carichi accidentali

carico neve	120	kg/m^2
	120	kg/m^2
totale	700	kg/m^2

Caso 5)

➤ **Solaio piano terra**

Carichi permanenti

peso proprio solaio	305	kg/m ²
materassino - (0,004*250)	1	kg/m ²
massetto alleggerito - (0,08*250)	20	kg/m ²
massetto in calcestruzzo - (0,08*2000)	160	kg/m ²
pavimento - (0,01*2000)	20	kg/m ²
tramezzi	120	kg/m ²
	630	kg/m ²

Carichi accidentali

negozi - ambiente suscettibile di grande affollamento	400	kg/m ²
	400	kg/m ²

Totale

1030	kg/m²
-------------	-------------------------

➤ **Solaio piano tipo**

Carichi permanenti

peso proprio solaio	305	kg/m ²
intonaco - (0,01*2200)	22	kg/m ²
materassino - (0,004*250)	1	kg/m ²
massetto alleggerito - (0,08*250)	20	kg/m ²
massetto in calcestruzzo - (0,08*2000)	160	kg/m ²
pavimento - (0,01*2000)	20	kg/m ²
tramezzi	120	kg/m ²
	650	kg/m ²

Carichi accidentali

appartamenti	200	kg/m ²
	200	kg/m ²

totale

850	kg/m²
------------	-------------------------

➤ **Solaio di copertura**

Carichi permanenti

peso proprio solaio	305	kg/m^2
intonaco - (0,01*2200)	22	kg/m^2
massetto alleggerito - (0,08*300)	24	kg/m^2
impermeabilizzazione + coibentazione	10	kg/m^2
coppi	80	kg/m^2
	440	kg/m^2

Carichi accidentali

carico neve	120	kg/m^2
	120	kg/m^2
totale	560	kg/m^2

Caso 7)

➤ **Solaio piano terra**

Carichi permanenti

peso proprio solaio	305	kg/m ²
massetto alleggerito - (0,08*250)	20	kg/m ²
pannello bugnato (0,02*35)	1	kg/m ²
massetto in calcestruzzo - (0,06*2000)	120	kg/m ²
pavimento - (0,01*2000)	20	kg/m ²
tramezzi	120	kg/m ²
	590	kg/m²

Carichi accidentali

negozi - ambiente suscettibile di grande affollamento	400	kg/m ²
	400	kg/m ²

Totale

990 kg/m²

➤ **Solaio piano tipo**

Carichi permanenti

peso proprio solaio	305	kg/m ²
intonaco - (0,01*2200)	22	kg/m ²
massetto alleggerito - (0,08*250)	20	kg/m ²
pannello bugnato (0,02*35)	1	kg/m ²
massetto in calcestruzzo - (0,06*2000)	120	kg/m ²
pavimento - (0,01*2000)	20	kg/m ²
tramezzi	120	kg/m ²
	610	kg/m²

Carichi accidentali

appartamenti	200	kg/m ²
	200	kg/m ²

totale

810 kg/m²

➤ **Solaio di copertura**

Carichi permanenti

peso proprio solaio	305	<i>kg/m²</i>
intonaco - (0,01*2200)	22	<i>kg/m²</i>
massetto alleggerito - (0,08*300)	24	<i>kg/m²</i>
impermeabilizzazione + coibentazione	10	<i>kg/m²</i>
coppi	80	<i>kg/m²</i>
	440	<i>kg/m²</i>

Carichi accidentali

carico neve	120	<i>kg/m²</i>
	120	<i>kg/m²</i>

totale

560	<i>kg/m²</i>
------------	--------------------------------

Caso 10)

➤ **Solaio piano terra**

Carichi permanenti

peso proprio solaio	305	kg/m ²
materassino - (0,004*250)	1	kg/m ²
massetto alleggerito - (0,16*350)	56	kg/m ²
pavimento - (0,01*2000)	20	kg/m ²
tramezzi	120	kg/m ²
	500	kg/m ²

Carichi accidentali

negozi - ambiente suscettibile di grande affollamento	400	kg/m ²
	400	kg/m ²

Totale

900	kg/m²
------------	-------------------------

➤ **Solaio piano tipo**

Carichi permanenti

peso proprio solaio	305	kg/m ²
intonaco - (0,01*2200)	22	kg/m ²
materassino - (0,004*250)	1	kg/m ²
massetto alleggerito - (0,16*350)	56	kg/m ²
pavimento - (0,01*2000)	20	kg/m ²
tramezzi	120	kg/m ²
	530	kg/m ²

Carichi accidentali

appartamenti	200	kg/m ²
	200	kg/m ²

totale

730	kg/m²
------------	-------------------------

➤ **Solaio di copertura**

Carichi permanenti

peso proprio solaio	305	<i>kg/m²</i>
intonaco - (0,01*2200)	22	<i>kg/m²</i>
massetto alleggerito - (0,08*300)	24	<i>kg/m²</i>
impermeabilizzazione + coibentazione	10	<i>kg/m²</i>
coppi	80	<i>kg/m²</i>
	440	<i>kg/m²</i>

Carichi accidentali

carico neve	120	<i>kg/m²</i>
	120	<i>kg/m²</i>

totale

560	<i>kg/m²</i>
------------	--------------------------------

Caso 12)

➤ **Solaio piano terra**

Carichi permanenti

peso proprio solaio	305	kg/m ²
materassino - (0,004*250)	1	kg/m ²
massetto - (0,05*2000)	100	kg/m ²
pavimento - (0,01*2000)	20	kg/m ²
tramezzi	120	kg/m ²
	550	kg/m ²

Carichi accidentali

negozi - ambiente suscettibile di grande affollamento	400	kg/m ²
	400	kg/m ²

Totale

950	kg/m²
------------	-------------------------

➤ **Solaio piano tipo**

Carichi permanenti

peso proprio solaio	305	kg/m ²
cartongesso + fissaggi	45	kg/m ²
materassino - (0,004*250)	1	kg/m ²
massetto - (0,05*2000)	100	kg/m ²
pavimento - (0,01*2000)	20	kg/m ²
tramezzi	120	kg/m ²
	590	kg/m ²

Carichi accidentali

appartamenti	200	kg/m ²
	200	kg/m ²

totale

790	kg/m²
------------	-------------------------

➤ **Solaio di copertura**

Carichi permanenti

peso proprio solaio	305	<i>kg/m²</i>
cartongesso + fissaggi	45	<i>kg/m²</i>
massetto - (0,05*2000)	100	<i>kg/m²</i>
impermeabilizzazione + coibentazione	10	<i>kg/m²</i>
coppi	80	<i>kg/m²</i>
	540	<i>kg/m²</i>

Carichi accidentali

carico neve	120	<i>kg/m²</i>
	120	<i>kg/m²</i>
<i>totale</i>	660	<i>kg/m²</i>

4.6. AZIONI DI PIANO

La nostra struttura a causa del sisma è soggetta oltre che al carico verticale quindi ad accelerazioni verticali, ad accelerazioni orizzontali. Infatti il sisma avrà componenti sia verticali, ma anche orizzontali e sono proprio queste a mettere la nostra struttura in una situazione critica, azioni verticali: $g \pm \ddot{u}_v$ ed azioni orizzontali $\pm \ddot{u}_h$, le forze verticali saranno date da:

$$F_v = m \cdot (g \pm \ddot{u}_v)$$

Mentre le forze orizzontali da:

$$F_h = m \cdot (\pm \ddot{u}_h)$$

Le masse saranno le stesse.

L'accelerazione impressa alla base dal terreno \ddot{u}_g viene amplificato dalla struttura.

La componente della forza verticale $m \cdot g$ è uguale alla componente verticale del dimensionamento statico.

Le componenti dovute alle accelerazioni del sisma vengono indicate in normativa da E .

Nel caso delle costruzioni civili e industriali le verifiche agli stati limite ultimi o di esercizio devono essere effettuate per la combinazione dell'azione sismica con le altre azioni:

$$G_1 + G_2 + P + E + \sum_j \Psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \Psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

Giustamente l'azione sismica va calcolata sulla stessa massa che generano i carichi statici con cui combiniamo l'azione sismica.

Questa è la situazione delle masse e delle azioni in una determinata configurazione identificata da $G + \sum_j \Psi_{2j} \cdot Q_{kj}$:

$$\Psi_{2j} = \begin{cases} 0 & \rightarrow & \text{neve} \\ 0,3 & \rightarrow & \text{civile abitazione} \\ 0,6 & \rightarrow & \text{negozi} \end{cases}$$

Quindi Ψ_{2j} riduce i carichi variabili Q_{kj} .

La combinazione SLU sismica non sostituisce la combinazione SLU statica.

I valori dei coefficienti Ψ_{2j} sono riportati nella Tabella:

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

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

Adesso si procede a calcolare le azioni di piano, generate dai pesi di piano.

I carichi verticali, a partire dai quali si calcolano le masse di piano, sono dati da:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \Psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

che sono gli stessi carichi verticali che vanno combinati all'azione del sisma.

Il peso di piano è dato da:

$$W = G + \Psi_{21} \cdot Q_{k1}$$

Incidenza delle travi:

si considerano tutte travi di sezione rettangolare 40x60:

$$P_{pr, trave} = 0,4 \cdot 0,6 \cdot 2500 = 600 \frac{kg}{m}$$

$$L_{trave} = (4 \cdot 25,4 + 6 \cdot 14) = 186 m$$

$$W_{trave} = P_{pr, trave} \cdot L_{trave} = 112 t$$

Incidenza dei pilastri:

si considera di avere due tipologie di pilastri:

- ✓ 40x60 i pilastri di P1 e P2
- ✓ 40x50 i pilastri di P3 e P4

Andando a favore di sicurezza li calcoliamo tutti della stessa sezione 40x60

$$P_{pr, pilastro} = 0,4 \cdot 0,6 \cdot 2500 = 600 \frac{kg}{m}$$

$$h_{media\ pilastro} = 13,6/4 = 3,4 m$$

$$W_{pilastro} = P_{pr, pilastro} \cdot h_{media\ pilastro} = 49 t$$

In copertura il pilastro avrà un'incidenza dimezzata:

$$W_{pilastro, Ap} = W_{pilastro} / 2 = 25 t$$

Caso 1)

➤ **Solaio piano terra (negozi)**

$$W_{pt} = 770 + 0,6 \cdot 400 = 1010 \frac{kg}{m^2}$$

➤ **Solaio piano tipo (civile abitazione)**

$$W_{p1} = W_{p2} = W_{p3} = 790 + 0,3 \cdot 200 = 850 \frac{kg}{m^2}$$

➤ **Solaio di copertura (neve)**

$$W_{cop} = 570 + 0,0 \cdot 120 = 570 \frac{kg}{m^2}$$

L'area di ciascun solaio vale:

$$A_{piano} = 14 \cdot 25,4 = 356 m^2$$

Incidenza di ciascun piano sarà dato dal peso del piano per l'area:

➤ **Solaio piano terra**

$$W_{sol,pt} = 1010 \cdot 356 = 360 t$$

➤ **Solaio piano tipo**

$$W_{sol,p1} = W_{sol,p2} = W_{sol,p3} = 850 \cdot 356 = 303 t$$

➤ **Solaio di copertura**

$$W_{sol,cop} = 570 \cdot 356 = 203 t$$

Incidenza delle tamponature:

analisi dei carichi delle tamponature, ipotizzandoli di separazione tra 2 unità familiari - doppia foderà:

tamponature - carichi permanenti

intonaco interno - (0,01*2200)	22	kg/m ²
muratura - (0,25*1600)	400	kg/m ²
Intonaco esterno - (0,05*250)	13	kg/m ²
	435	kg/m ²

L'altezza media delle tamponature sarà data dalla differenza tra l'altezza media e altezza trave:

$$h_{tamp} = 3,4 - 0,6 = 2,8 \text{ m}$$

$$L_{tamp} = (2 \cdot 25,4 + 2 \cdot 14) = 78,8 \text{ m}$$

$$W_{tamp} = 0,8 \cdot 435 \cdot 2,8 \cdot 78,8 = 77 \text{ t}$$

Il coefficiente 0,8 è stato introdotto per tenere conto dei vuoti nella tamponatura dovuto a finestre o porte.

In copertura le tamponature avranno un'incidenza dimezzata:

$$W_{tamp, Ap} = W_{tamp} / 2 = 38 \text{ t}$$

Adesso si può procedere al calcolo del peso sismico di ciascun piano.

Peso sismico del piano terra

Incidenza solaio	360	<i>t</i>
Incidenza travi	112	<i>t</i>
Incidenza pilastri	49	<i>t</i>
Incidenza tamponature	77	<i>t</i>
<i>Totale</i>	600	<i>t</i>

Peso sismico del P1, P2, P3

Incidenza solaio	303	<i>t</i>
Incidenza travi	112	<i>t</i>
Incidenza pilastri	49	<i>t</i>
Incidenza tamponature	77	<i>t</i>
<i>Totale</i>	540	<i>t</i>

Peso sismico del piano di copertura

Incidenza solaio	203	<i>t</i>
Incidenza travi	112	<i>t</i>
Incidenza pilastri	25	<i>t</i>
Incidenza tamponature	38	<i>t</i>
<i>Totale</i>	380	<i>t</i>

Caso 5)

➤ **Solaio piano terra (negozi)**

$$W_{pt} = 630 + 0,6 \cdot 400 = 870 \frac{kg}{m^2}$$

➤ **Solaio piano tipo (civile abitazione)**

$$W_{p1} = W_{p2} = W_{p3} = 650 + 0,3 \cdot 200 = 710 \frac{kg}{m^2}$$

➤ **Solaio di copertura (neve)**

$$W_{cop} = 440 + 0,0 \cdot 120 = 440 \frac{kg}{m^2}$$

L'area di ciascun solaio vale:

$$A_{piano} = 14 \cdot 25,4 = 356 m^2$$

Incidenza di ciascun piano sarà dato dal peso del piano per l'area:

➤ **Solaio piano terra**

$$W_{sol,pt} = 870 \cdot 356 = 310 t$$

➤ **Solaio piano tipo**

$$W_{sol,p1} = W_{sol,p2} = W_{sol,p3} = 710 \cdot 356 = 253 t$$

➤ **Solaio di copertura**

$$W_{sol,cop} = 440 \cdot 356 = 157 t$$

Incidenza delle tamponature:

analisi dei carichi delle tamponature, ipotizzandoli di separazione tra 2 unità familiari - doppia fodera:

tamponature - carichi permanenti

intonaco interno - (0,01*2200)	22	kg/m ²
fodera interna - (0,15*1600)	240	kg/m ²
lastra di polistirene - (0,03*35)	1	kg/m ²
fodera esterna - (0,10*1100)	110	kg/m ²
Intonaco esterno - (0,05*250)	13	kg/m ²
	386	kg/m ²

L'altezza media delle tamponature sarà data dalla differenza tra l'altezza media e altezza trave:

$$h_{tamp} = 3,4 - 0,6 = 2,8 \text{ m}$$

$$L_{tamp} = (2 \cdot 25,4 + 2 \cdot 14) = 78,8 \text{ m}$$

$$W_{tamp} = 0,8 \cdot 386 \cdot 2,8 \cdot 78,8 = 68 \text{ t}$$

Il coefficiente 0,8 è stato introdotto per tenere conto dei vuoti nella tamponatura dovuto a finestre o porte.

In copertura le tamponature avranno un'incidenza dimezzata:

$$W_{tamp, Ap} = W_{tamp} / 2 = 34 \text{ t}$$

Adesso si può procedere al calcolo del peso sismico di ciascun piano.

Peso sismico del piano terra

Incidenza solaio	310	<i>t</i>
Incidenza travi	112	<i>t</i>
Incidenza pilastri	49	<i>t</i>
Incidenza tamponature	68	<i>t</i>
<i>Totale</i>	540	<i>t</i>

Peso sismico del P1, P2, P3

Incidenza solaio	253	<i>t</i>
Incidenza travi	112	<i>t</i>
Incidenza pilastri	49	<i>t</i>
Incidenza tamponature	68	<i>t</i>
<i>Totale</i>	482	<i>t</i>

Peso sismico del piano di copertura

Incidenza solaio	157	<i>t</i>
Incidenza travi	112	<i>t</i>
Incidenza pilastri	25	<i>t</i>
Incidenza tamponature	34	<i>t</i>
<i>Totale</i>	328	<i>t</i>

Caso 7)

➤ **Solaio piano terra (negozi)**

$$W_{pt} = 590 + 0,6 \cdot 400 = 830 \frac{kg}{m^2}$$

➤ **Solaio piano tipo (civile abitazione)**

$$W_{p1} = W_{p2} = W_{p3} = 610 + 0,3 \cdot 200 = 670 \frac{kg}{m^2}$$

➤ **Solaio di copertura (neve)**

$$W_{cop} = 440 + 0,0 \cdot 120 = 440 \frac{kg}{m^2}$$

L'area di ciascun solaio vale:

$$A_{piano} = 14 \cdot 25,4 = 356 m^2$$

Incidenza di ciascun piano sarà dato dal peso del piano per l'area:

➤ **Solaio piano terra**

$$W_{sol,pt} = 830 \cdot 356 = 296 t$$

➤ **Solaio piano tipo**

$$W_{sol,p1} = W_{sol,p2} = W_{sol,p3} = 670 \cdot 356 = 239 t$$

➤ **Solaio di copertura**

$$W_{sol,cop} = 440 \cdot 356 = 157 t$$

Incidenza delle tamponature:

analisi dei carichi delle tamponature, ipotizzandoli di separazione tra 2 unità familiari - doppia foderà:

tamponature - carichi permanenti

intonaco interno - (0,01*2200)	22	kg/m ²
foderà interna - (0,15*1600)	240	kg/m ²
lastra di polistirene - (0,03*35)	1	kg/m ²
foderà esterna - (0,10*1100)	110	kg/m ²
Intonaco esterno - (0,05*250)	13	kg/m ²
	386	kg/m ²

L'altezza media delle tamponature sarà data dalla differenza tra l'altezza media e altezza trave:

$$h_{tamp} = 3,4 - 0,6 = 2,8 \text{ m}$$

$$L_{tamp} = (2 \cdot 25,4 + 2 \cdot 14) = 78,8 \text{ m}$$

$$W_{tamp} = 0,8 \cdot 386 \cdot 2,8 \cdot 78,8 = 68 \text{ t}$$

Il coefficiente 0,8 è stato introdotto per tenere conto dei vuoti nella tamponatura dovuto a finestre o porte.

In copertura le tamponature avranno un'incidenza dimezzata:

$$W_{tamp, Ap} = W_{tamp} / 2 = 34 \text{ t}$$

Adesso si può procedere al calcolo del peso sismico di ciascun piano.

Peso sismico del piano terra

Incidenza solaio	296	t
Incidenza travi	112	t
Incidenza pilastri	49	t
Incidenza tamponature	68	t
Totale	525	t

Peso sismico del P1, P2, P3

Incidenza solaio	239	t
Incidenza travi	112	t
Incidenza pilastri	49	t
Incidenza tamponature	68	t
Totale	468	t

Peso sismico del piano di copertura

Incidenza solaio	157	t
Incidenza travi	112	t
Incidenza pilastri	25	t
Incidenza tamponature	34	t
Totale	328	t

Caso 10)

➤ **Solaio piano terra (negozi)**

$$W_{pt} = 500 + 0,6 \cdot 400 = 740 \frac{kg}{m^2}$$

➤ **Solaio piano tipo (civile abitazione)**

$$W_{p1} = W_{p2} = W_{p3} = 530 + 0,3 \cdot 200 = 590 \frac{kg}{m^2}$$

➤ **Solaio di copertura (neve)**

$$W_{cop} = 440 + 0,0 \cdot 120 = 440 \frac{kg}{m^2}$$

L'area di ciascun solaio vale:

$$A_{piano} = 14 \cdot 25,4 = 356 m^2$$

Incidenza di ciascun piano sarà dato dal peso del piano per l'area:

➤ **Solaio piano terra**

$$W_{sol,pt} = 740 \cdot 356 = 263 t$$

➤ **Solaio piano tipo**

$$W_{sol,p1} = W_{sol,p2} = W_{sol,p3} = 590 \cdot 356 = 210 t$$

➤ **Solaio di copertura**

$$W_{sol,cop} = 440 \cdot 356 = 157 t$$

Incidenza delle tamponature:

analisi dei carichi delle tamponature, ipotizzandoli di separazione tra 2 unità familiari - doppia foderà:

tamponature - carichi permanenti

intonaco interno - (0,01*2200)	22	kg/m ²
fodera interna - (0,15*1600)	240	kg/m ²
lastra di polistirene - (0,03*35)	1	kg/m ²
fodera esterna - (0,10*1100)	110	kg/m ²
Intonaco esterno - (0,05*250)	13	kg/m ²
	386	kg/m ²

L'altezza media delle tamponature sarà data dalla differenza tra l'altezza media e altezza trave:

$$h_{tamp} = 3,4 - 0,6 = 2,8 \text{ m}$$

$$L_{tamp} = (2 \cdot 25,4 + 2 \cdot 14) = 78,8 \text{ m}$$

$$W_{tamp} = 0,8 \cdot 386 \cdot 2,8 \cdot 78,8 = 68 \text{ t}$$

Il coefficiente 0,8 è stato introdotto per tenere conto dei vuoti nella tamponatura dovuto a finestre o porte.

In copertura le tamponature avranno un'incidenza dimezzata:

$$W_{tamp, Ap} = W_{tamp} / 2 = 34 \text{ t}$$

Adesso si può procedere al calcolo del peso sismico di ciascun piano.

Peso sismico del piano terra

Incidenza solaio	263	<i>t</i>
Incidenza travi	112	<i>t</i>
Incidenza pilastri	49	<i>t</i>
Incidenza tamponature	68	<i>t</i>
<i>Totale</i>	492	<i>t</i>

Peso sismico del P1, P2, P3

Incidenza solaio	210	<i>t</i>
Incidenza travi	112	<i>t</i>
Incidenza pilastri	49	<i>t</i>
Incidenza tamponature	68	<i>t</i>
<i>Totale</i>	439	<i>t</i>

Peso sismico del piano di copertura

Incidenza solaio	157	<i>t</i>
Incidenza travi	112	<i>t</i>
Incidenza pilastri	25	<i>t</i>
Incidenza tamponature	34	<i>t</i>
<i>Totale</i>	328	<i>t</i>

Caso 12)

➤ **Solaio piano terra (negozi)**

$$W_{pt} = 550 + 0,6 \cdot 400 = 790 \frac{kg}{m^2}$$

➤ **Solaio piano tipo (civile abitazione)**

$$W_{p1} = W_{p2} = W_{p3} = 590 + 0,3 \cdot 200 = 650 \frac{kg}{m^2}$$

➤ **Solaio di copertura (neve)**

$$W_{cop} = 540 + 0,0 \cdot 120 = 540 \frac{kg}{m^2}$$

L'area di ciascun solaio vale:

$$A_{piano} = 14 \cdot 25,4 = 356 m^2$$

Incidenza di ciascun piano sarà dato dal peso del piano per l'area:

➤ **Solaio piano terra**

$$W_{sol,pt} = 790 \cdot 356 = 282 t$$

➤ **Solaio piano tipo**

$$W_{sol,p1} = W_{sol,p2} = W_{sol,p3} = 650 \cdot 356 = 232 t$$

➤ **Solaio di copertura**

$$W_{sol,cop} = 540 \cdot 356 = 193 t$$

Incidenza delle tamponature:

analisi dei carichi delle tamponature, ipotizzandoli di separazione tra 2 unità familiari - doppia fodera:

tamponature - carichi permanenti

intonaco interno - (0,01*2200)	22	kg/m ²
muratura - (0,25*1600)	400	kg/m ²
Intonaco esterno - (0,05*250)	13	kg/m ²
	435	kg/m ²

L'altezza media delle tamponature sarà data dalla differenza tra l'altezza media e altezza trave:

$$h_{tamp} = 3,4 - 0,6 = 2,8 \text{ m}$$

$$L_{tamp} = (2 \cdot 25,4 + 2 \cdot 14) = 78,8 \text{ m}$$

$$W_{tamp} = 0,8 \cdot 435 \cdot 2,8 \cdot 78,8 = 77 \text{ t}$$

Il coefficiente 0,8 è stato introdotto per tenere conto dei vuoti nella tamponatura dovuto a finestre o porte.

In copertura le tamponature avranno un'incidenza dimezzata:

$$W_{tamp, Ap} = W_{tamp} / 2 = 38 \text{ t}$$

Adesso si può procedere al calcolo del peso sismico di ciascun piano.

Peso sismico del piano terra

Incidenza solaio	282	<i>t</i>
Incidenza travi	112	<i>t</i>
Incidenza pilastri	49	<i>t</i>
Incidenza tamponature	77	<i>t</i>
<i>Totale</i>	520	<i>t</i>

Peso sismico del P1, P2, P3

Incidenza solaio	232	<i>t</i>
Incidenza travi	112	<i>t</i>
Incidenza pilastri	49	<i>t</i>
Incidenza tamponature	77	<i>t</i>
<i>Totale</i>	470	<i>t</i>

Peso sismico del piano di copertura

Incidenza solaio	193	<i>t</i>
Incidenza travi	112	<i>t</i>
Incidenza pilastri	25	<i>t</i>
Incidenza tamponature	38	<i>t</i>
<i>Totale</i>	368	<i>t</i>

La valutazione delle azioni dovute al sisma si può effettuare attraverso una schematizzazione 2D in quanto la struttura è regolare in pianta, nel caso di irregolarità sarebbe necessaria un'analisi 3D molto più complessa.

Si può quindi utilizzare l'analisi statica equivalente, è sempre utile farla anche solo per cogliere gli ordini di grandezza delle forze che agiranno sulla struttura.

I passi da seguire per effettuare l'analisi saranno:

- ✓ Definizione dell'accelerazione di riferimento
- ✓ Valutazione di come le accelerazioni diventano forze di piano
- ✓ Valutazione delle sollecitazioni delle membrature

La vita nominale dell'opera come definito in testa al progetto secondo la normativa del 2008 è ≥ 50 anni quindi $V_n \geq 50$, il periodo di riferimento R_f si ottiene moltiplicando per V_n il coefficiente d'uso C_u che nel nostro caso è 1

$$R_f = V_n \cdot C_u = 50 \cdot 1 = 50 \text{ anni}$$

La normativa del 2008 definisce Azione Sismica:

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{V_R} , nel periodo di riferimento V_R . In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla *pericolosità sismica* del sito.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

Per un terreno di tipo C, attraverso le direttive date dalla normativa si ricava l'amplificazione stratigrafica S_S e C_C .

Determinazione del parametro S_S :

$$S_S = 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \cong 1,70 - 0,60 \cdot 2,59 \cdot \frac{1,415}{9,81} = 1,48$$

Determinazione del periodo T_C :

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

$$T_C^* = 0,27 \text{ sec}$$

$$C_C = 1,05 \cdot T_C^{*-0,33} = 1,05 \cdot (0,27)^{-0,33} = 1,6175$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* = 1,6175 \cdot 0,27 = 0,4367 \text{ sec}$$

Ipotizzando l'ubicazione in zona pianeggiante il termine topografico ha valore unitario quindi:

$$S = S_S \cdot S_T = 1,48 \cdot 1 = 1,48$$

Quindi si possono ricavare gli altri termini fondamentali dello spettro elastico di progetto:

$$T_B = \frac{T_C}{3} = \frac{0,4367}{3} = 0,146 \text{ sec}$$

SLD

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6 = 4,0 \cdot \frac{0,473}{9,81} + 1,6 = 1,79 \text{ sec}$$

SLV

$$T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6 = 4,0 \cdot \frac{1,415}{9,81} + 1,6 = 2,18 \text{ sec}$$

Adesso si ricava il fattore di struttura che è funzione della duttilità attesa dalla struttura.

$$q = q_0 \cdot K_R$$

q_0 dipende dal tipo di materiale impiegato, dal livello di duttilità atteso e dal rapporto α_u/α_1

K_R dipende dalla regolarità in altezza: regolare = 1, irregolare = 0,8

Analizziamo il fattore di struttura:

$$\begin{cases} \text{struttura a telaio} \\ \text{classe di duttilità B} \end{cases} \Rightarrow q_0 = 3,0 \cdot (\alpha_u/\alpha_1)$$

La struttura è un telaio a più piani e con più campate si ottiene un $\alpha_u/\alpha_1 = 1,3$

$$q_0 = 3,0 \cdot (\alpha_u / \alpha_1) = 3,0 \cdot 1,3 = 3,9$$

Essendo la nostra struttura regolare in altezza il fattore di struttura q risulta essere uguale a q_0 .

$$q = q_0 \cdot K_R = 3,9 \cdot 1 = 3,9$$

Il periodo proprio della struttura lo si può stimare attraverso la formula empirica:

$$T = C_1 \cdot H^{3/4} = 0,075 \cdot (13,6)^{3/4} \cong 0,53 \text{ sec}$$

dove $C_1 = 0,075$ per strutture a telaio in calcestruzzo.

Si valuta adesso l'accelerazione di riferimento per lo stato limite di danno SLD

Ricordando che $T > T_C$

$$\begin{aligned} S_e(T) = S_e(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right) = 0,473 \cdot 1,48 \cdot 1 \cdot 2,51 \cdot \left(\frac{0,4367}{0,53}\right) \\ &= 1,448 \cong 0,148 \cdot g \end{aligned}$$

Mentre l'accelerazione di riferimento per lo stato limite di salvaguardia della vita SLV

$$\begin{aligned} S_e(T) = S_e(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T}\right) = 1,415 \cdot 1,48 \cdot \left(\frac{1}{3,9}\right) \cdot 2,59 \cdot \left(\frac{0,4367}{0,53}\right) \\ &= 1,146 \cong 0,117 \cdot g \end{aligned}$$

Adesso si possono determinare le forze di piano.

$$F_i = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_i}{g} \cdot \frac{z_i}{z_{baricentro}}$$

dove λ è un coefficiente dettato dalla normativa in base alla struttura: pari a 0,85 se la costruzione ha almeno tre orizzontamenti e se $T < 2 \cdot T_C$, pari a 1,0 in tutti gli altri casi

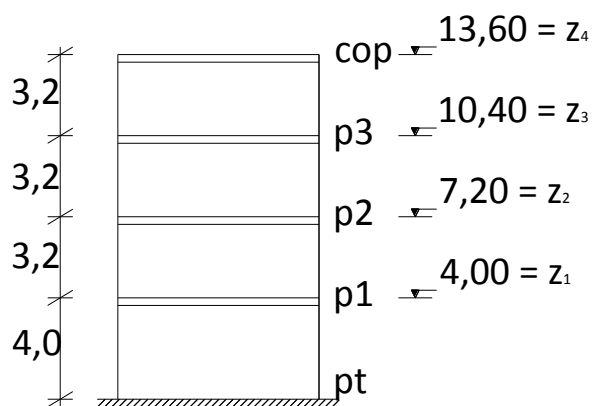
4.7. VALUTAZIONE DELLE FORZE DI PIANO

Valutazione numerica per SLD

Adesso che sono noti i pesi di piano W_i possiamo calcolare numericamente le forze di piano:

$$F_i = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_i}{g} \cdot \varphi(z_i)$$

Facendo l'ipotesi che il piano terra poggi direttamente sul terreno lo si può schematizzare così:



Procediamo al calcolo di $\varphi(z_i)$.

$$\varphi(z_i) = z_i \cdot \left(\frac{\sum W_j}{\sum_j z_j \cdot W_j} \right)$$

Caso 1)

$$\left(\frac{\sum W_j}{\sum_j z_j \cdot W_j} \right) = \frac{540 + 540 + 540 + 380}{540 \cdot 4 + 540 \cdot 7,2 + 540 \cdot 10,4 + 380 \cdot 13,6} = 0,119 \frac{1}{m}$$

$$\varphi(z_1) = 4m \cdot 0,119 \frac{1}{m} = 0,475$$

$$\varphi(z_2) = 7,2m \cdot 0,119 \frac{1}{m} = 0,856$$

$$\varphi(z_3) = 10,4m \cdot 0,119 \frac{1}{m} = 1,236$$

$$\varphi(z_4) = 13,6m \cdot 0,119 \frac{1}{m} = 1,616$$

Calcolo delle forze di piano (SLD)

$$\bar{a}_{SLD} = 0,148 \cdot g$$

$$F_1 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_1}{g} \cdot \varphi(z_1) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{540 t}{g} \cdot 0,475 = 32 t$$

$$F_2 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_2}{g} \cdot \varphi(z_2) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{540 t}{g} \cdot 0,856 = 58 t$$

$$F_3 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_3}{g} \cdot \varphi(z_3) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{540 t}{g} \cdot 1,236 = 84 t$$

$$F_4 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_4}{g} \cdot \varphi(z_4) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{380 t}{g} \cdot 1,616 = 77 t$$

Calcolo dei tagli di piano (SLD)

$$T_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 32 + 58 + 84 + 77 = 252 t$$

$$T_2 = F_2 + F_3 + F_4 = 58 + 84 + 77 = 219 t$$

$$T_3 = F_3 + F_4 = 84 + 77 = 161 t$$

$$T_4 = F_4 = 77 t$$

Verifiche di deformabilità (SLD)

Si adotta una schematizzazione shear type dove vale lo spostamento:

$$\delta_i = \frac{T_i \cdot h^3}{12 \cdot E \cdot J_{tot}}$$

$$J_{tot} = \sum_i J_i$$

La verifica è data dal rapporto:

$$\frac{\delta_i}{h_i} \leq \frac{x}{1000}$$

$$x = \begin{cases} 5 & \text{tamponamenti connessi rigidamente alla struttura} \\ 10 & \text{tamponamenti connessi flessibilmente alla struttura} \end{cases}$$

Per la nostra struttura con tamponamenti connessi flessibilmente alla struttura in direzione forte si ottiene:

$$J_{tot} = 24 \cdot \frac{40 \cdot 60^3}{12} = 17280000 \text{ cm}^4$$

$$E = 326000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\delta_{piano\ 1} = \frac{252000 \text{ kg} \cdot (400 \text{ cm})^3}{12 \cdot 326000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 17280000 \text{ cm}^4} = 0,24 \text{ cm}$$

Verifica:

$$\frac{\delta_i}{h_i} = \frac{0,24}{400} = 0,000596 \leq \frac{10}{1000} = 0,01$$

Per la nostra struttura con tamponamenti connessi flessibilmente alla struttura in direzione debole si ottiene:

$$J_{tot} = 24 \cdot \frac{60 \cdot 40^3}{12} = 7680000 \text{ cm}^4$$

$$\delta_{piano\ 1} = \frac{252000 \text{ kg} \cdot (400 \text{ cm})^3}{12 \cdot 326000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 7680000 \text{ cm}^4} = 0,54 \text{ cm}$$

Verifica:

$$\frac{\delta_i}{h_i} = \frac{0,54}{400} = 0,00134 \leq \frac{10}{1000} = 0,01$$

La deformabilità è verificata abbondantemente per la trave più caricata, quindi si evita la verifica dei piani superiori nonostante per gli ultimi 2 piani il pilastro si restringe.

Valutazione numerica per SLV

Rimangono invariati i coefficienti calcolati con gli SLD riguardanti $\varphi(z_i)$.

Calcolo delle forze di piano (SLV)

$$\bar{a}_{SLV} = 0,117 \cdot g$$

$$F_1 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_1}{g} \cdot \varphi(z_1) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{540 t}{g} \cdot 0,475 = 26 t$$

$$F_2 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_2}{g} \cdot \varphi(z_2) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{540 t}{g} \cdot 0,856 = 46 t$$

$$F_3 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_3}{g} \cdot \varphi(z_3) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{540 t}{g} \cdot 1,236 = 66 t$$

$$F_4 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_4}{g} \cdot \varphi(z_4) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{380 t}{g} \cdot 1,616 = 61 t$$

$$T_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 26 + 46 + 66 + 61 = 199 t$$

$$T_2 = F_2 + F_3 + F_4 = 46 + 66 + 61 = 173 t$$

$$T_3 = F_3 + F_4 = 66 + 61 = 127 t$$

$$T_4 = F_4 = 61 t$$

Caso 5)

$$\left(\frac{\sum W_j}{\sum_j z_j \cdot W_j} \right) = \frac{482 + 482 + 482 + 328}{482 \cdot 4 + 482 \cdot 7,2 + 482 \cdot 10,4 + 328 \cdot 13,6} = 0,119 \frac{1}{m}$$

$$\varphi(z_1) = 4m \cdot 0,119 \frac{1}{m} = 0,477$$

$$\varphi(z_2) = 7,2m \cdot 0,119 \frac{1}{m} = 0,859$$

$$\varphi(z_3) = 10,4m \cdot 0,119 \frac{1}{m} = 1,241$$

$$\varphi(z_4) = 13,6m \cdot 0,119 \frac{1}{m} = 1,622$$

Calcolo delle forze di piano (SLD)

$$\bar{a}_{SLD} = 0,148 \cdot g$$

$$F_1 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_1}{g} \cdot \varphi(z_1) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{482 t}{g} \cdot 0,475 = 29 t$$

$$F_2 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_2}{g} \cdot \varphi(z_2) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{482 t}{g} \cdot 0,856 = 52 t$$

$$F_3 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_3}{g} \cdot \varphi(z_3) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{482 t}{g} \cdot 1,236 = 75 t$$

$$F_4 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_4}{g} \cdot \varphi(z_4) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{328 t}{g} \cdot 1,616 = 67 t$$

Calcolo dei tagli di piano (SLD)

$$T_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 29 + 52 + 75 + 67 = 223 t$$

$$T_2 = F_2 + F_3 + F_4 = 52 + 75 + 67 = 194 t$$

$$T_3 = F_3 + F_4 = 75 + 67 = 142 t$$

$$T_4 = F_4 = 67 t$$

Verifiche di deformabilità (SLD)

Si adotta una schematizzazione shear type dove vale lo spostamento:

$$\delta_i = \frac{T_i \cdot h^3}{12 \cdot E \cdot J_{tot}}$$

$$J_{tot} = \sum_i J_i$$

La verifica è data dal rapporto:

$$\frac{\delta_i}{h_i} \leq \frac{x}{1000}$$

$$x = \begin{cases} 5 & \text{tamponamenti connessi rigidamente alla struttura} \\ 10 & \text{tamponamenti connessi flessibilmente alla struttura} \end{cases}$$

Per la nostra struttura con tamponamenti connessi flessibilmente alla struttura in direzione forte si ottiene:

$$J_{tot} = 24 \cdot \frac{40 \cdot 60^3}{12} = 17280000 \text{ cm}^4$$

$$E = 326000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\delta_{piano 1} = \frac{223000 \text{ kg} \cdot (400 \text{ cm})^3}{12 \cdot 326000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 17280000 \text{ cm}^4} = 0,21 \text{ cm}$$

Verifica:

$$\frac{\delta_i}{h_i} = \frac{0,21}{400} = 0,000528 \leq \frac{10}{1000} = 0,01$$

Per la nostra struttura con tamponamenti connessi flessibilmente alla struttura in direzione debole si ottiene:

$$J_{tot} = 24 \cdot \frac{60 \cdot 40^3}{12} = 7680000 \text{ cm}^4$$

$$\delta_{piano 1} = \frac{223000 \text{ kg} \cdot (400 \text{ cm})^3}{12 \cdot 326000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 7680000 \text{ cm}^4} = 0,48 \text{ cm}$$

Verifica:

$$\frac{\delta_i}{h_i} = \frac{0,48}{400} = 0,001188 \leq \frac{10}{1000} = 0,01$$

La deformabilità è verificata abbondantemente per la trave più caricata, quindi si evita la verifica dei piani superiori nonostante per gli ultimi 2 piani il pilastro si restringe.

Valutazione numerica per SLV

Rimangono invariati i coefficienti calcolati con gli SLD riguardanti $\varphi(z_i)$.

Calcolo delle forze di piano (SLV)

$$\bar{a}_{SLV} = 0,117 \cdot g$$

$$F_1 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_1}{g} \cdot \varphi(z_1) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{482 t}{g} \cdot 0,475 = 23 t$$

$$F_2 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_2}{g} \cdot \varphi(z_2) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{482 t}{g} \cdot 0,856 = 41 t$$

$$F_3 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_3}{g} \cdot \varphi(z_3) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{482 t}{g} \cdot 1,236 = 59 t$$

$$F_4 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_4}{g} \cdot \varphi(z_4) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{328 t}{g} \cdot 1,616 = 53 t$$

$$T_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 23 + 41 + 59 + 53 = 176 t$$

$$T_2 = F_2 + F_3 + F_4 = 41 + 59 + 53 = 154 t$$

$$T_3 = F_3 + F_4 = 59 + 53 = 112 t$$

$$T_4 = F_4 = 53 t$$

Caso 7)

$$\left(\frac{\sum W_j}{\sum_j z_j \cdot W_j} \right) = \frac{468 + 468 + 468 + 328}{468 \cdot 4 + 468 \cdot 7,2 + 468 \cdot 10,4 + 328 \cdot 13,6} = 0,119 \frac{1}{m}$$

$$\varphi(z_1) = 4m \cdot 0,119 \frac{1}{m} = 0,476$$

$$\varphi(z_2) = 7,2m \cdot 0,119 \frac{1}{m} = 0,856$$

$$\varphi(z_3) = 10,4m \cdot 0,119 \frac{1}{m} = 1,236$$

$$\varphi(z_4) = 13,6m \cdot 0,119 \frac{1}{m} = 1,617$$

Calcolo delle forze di piano (SLD)

$$\bar{a}_{SLD} = 0,148 \cdot g$$

$$F_1 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_1}{g} \cdot \varphi(z_1) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{468 t}{g} \cdot 0,476 = 28 t$$

$$F_2 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_2}{g} \cdot \varphi(z_2) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{468 t}{g} \cdot 0,856 = 50 t$$

$$F_3 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_3}{g} \cdot \varphi(z_3) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{468 t}{g} \cdot 1,236 = 73 t$$

$$F_4 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_4}{g} \cdot \varphi(z_4) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{328 t}{g} \cdot 1,617 = 67 t$$

Calcolo dei tagli di piano (SLD)

$$T_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 28 + 50 + 73 + 67 = 218 t$$

$$T_2 = F_2 + F_3 + F_4 = 50 + 73 + 67 = 190 t$$

$$T_3 = F_3 + F_4 = 73 + 67 = 139 t$$

$$T_4 = F_4 = 67 t$$

Verifiche di deformabilità (SLD)

Si adotta una schematizzazione shear type dove vale lo spostamento:

$$\delta_i = \frac{T_i \cdot h^3}{12 \cdot E \cdot J_{tot}}$$

$$J_{tot} = \sum_i J_i$$

La verifica è data dal rapporto:

$$\frac{\delta_i}{h_i} \leq \frac{x}{1000}$$

$$x = \begin{cases} 5 & \text{tamponamenti connessi rigidamente alla struttura} \\ 10 & \text{tamponamenti connessi flessibilmente alla struttura} \end{cases}$$

Per la nostra struttura con tamponamenti connessi flessibilmente alla struttura in direzione forte si ottiene:

$$J_{tot} = 24 \cdot \frac{40 \cdot 60^3}{12} = 17280000 \text{ cm}^4$$

$$E = 326000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\delta_{piano 1} = \frac{218000 \text{ kg} \cdot (400 \text{ cm})^3}{12 \cdot 326000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 17280000 \text{ cm}^4} = 0,21 \text{ cm}$$

Verifica:

$$\frac{\delta_i}{h_i} = \frac{0,21}{400} = 0,000516 \leq \frac{10}{1000} = 0,01$$

Per la nostra struttura con tamponamenti connessi flessibilmente alla struttura in direzione debole si ottiene:

$$J_{tot} = 24 \cdot \frac{60 \cdot 40^3}{12} = 7680000 \text{ cm}^4$$

$$\delta_{piano 1} = \frac{218000 \text{ kg} \cdot (400 \text{ cm})^3}{12 \cdot 326000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 7680000 \text{ cm}^4} = 0,46 \text{ cm}$$

Verifica:

$$\frac{\delta_i}{h_i} = \frac{0,46}{400} = 0,00116 \leq \frac{10}{1000} = 0,01$$

La deformabilità è verificata abbondantemente per la trave più caricata, quindi si evita la verifica dei piani superiori nonostante per gli ultimi 2 piani il pilastro si restringe.

Valutazione numerica per SLV

Rimangono invariati i coefficienti calcolati con gli SLD riguardanti $\varphi(z_i)$.

Calcolo delle forze di piano (SLV)

$$\bar{a}_{SLV} = 0,117 \cdot g$$

$$F_1 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_1}{g} \cdot \varphi(z_1) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{468 t}{g} \cdot 0,476 = 22 t$$

$$F_2 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_2}{g} \cdot \varphi(z_2) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{468 t}{g} \cdot 0,856 = 40 t$$

$$F_3 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_3}{g} \cdot \varphi(z_3) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{468 t}{g} \cdot 1,236 = 58 t$$

$$F_4 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_4}{g} \cdot \varphi(z_4) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{328 t}{g} \cdot 1,617 = 53 t$$

$$T_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 22 + 40 + 58 + 53 = 172 t$$

$$T_2 = F_2 + F_3 + F_4 = 40 + 58 + 53 = 150 t$$

$$T_3 = F_3 + F_4 = 58 + 53 = 110 t$$

$$T_4 = F_4 = 53 t$$

Caso 10)

$$\left(\frac{\sum W_j}{\sum_j z_j \cdot W_j} \right) = \frac{439 + 439 + 439 + 328}{439 \cdot 4 + 439 \cdot 7,2 + 439 \cdot 10,4 + 328 \cdot 13,6} = 0,118 \frac{1}{m}$$

$$\varphi(z_1) = 4m \cdot 0,118 \frac{1}{m} = 0,472$$

$$\varphi(z_2) = 7,2m \cdot 0,118 \frac{1}{m} = 0,849$$

$$\varphi(z_3) = 10,4m \cdot 0,118 \frac{1}{m} = 1,227$$

$$\varphi(z_4) = 13,6m \cdot 0,118 \frac{1}{m} = 1,605$$

Calcolo delle forze di piano (SLD)

$$\bar{a}_{SLD} = 0,148 \cdot g$$

$$F_1 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_1}{g} \cdot \varphi(z_1) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{439 t}{g} \cdot 0,472 = 26 t$$

$$F_2 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_2}{g} \cdot \varphi(z_2) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{439 t}{g} \cdot 0,849 = 47 t$$

$$F_3 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_3}{g} \cdot \varphi(z_3) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{439 t}{g} \cdot 1,227 = 68 t$$

$$F_4 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_4}{g} \cdot \varphi(z_4) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{328 t}{g} \cdot 1,605 = 66 t$$

Calcolo dei tagli di piano (SLD)

$$T_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 26 + 47 + 68 + 66 = 207 t$$

$$T_2 = F_2 + F_3 + F_4 = 47 + 68 + 66 = 181 t$$

$$T_3 = F_3 + F_4 = 68 + 66 = 134 t$$

$$T_4 = F_4 = 66 t$$

Verifiche di deformabilità (SLD)

Si adotta una schematizzazione shear type dove vale lo spostamento:

$$\delta_i = \frac{T_i \cdot h^3}{12 \cdot E \cdot J_{tot}}$$

$$J_{tot} = \sum_i J_i$$

La verifica è data dal rapporto:

$$\frac{\delta_i}{h_i} \leq \frac{x}{1000}$$

$$x = \begin{cases} 5 & \text{tamponamenti connessi rigidamente alla struttura} \\ 10 & \text{tamponamenti connessi flessibilmente alla struttura} \end{cases}$$

Per la nostra struttura con tamponamenti connessi flessibilmente alla struttura in direzione forte si ottiene:

$$J_{tot} = 24 \cdot \frac{40 \cdot 60^3}{12} = 17280000 \text{ cm}^4$$

$$E = 326000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\delta_{piano\ 1} = \frac{207000 \text{ kg} \cdot (400 \text{ cm})^3}{12 \cdot 326000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 17280000 \text{ cm}^4} = 0,20 \text{ cm}$$

Verifica:

$$\frac{\delta_i}{h_i} = \frac{0,20}{400} = 0,00049 \leq \frac{10}{1000} = 0,01$$

Per la nostra struttura con tamponamenti connessi flessibilmente alla struttura in direzione debole si ottiene:

$$J_{tot} = 24 \cdot \frac{60 \cdot 40^3}{12} = 7680000 \text{ cm}^4$$

$$\delta_{piano\ 1} = \frac{207000 \text{ kg} \cdot (400 \text{ cm})^3}{12 \cdot 326000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 7680000 \text{ cm}^4} = 0,44 \text{ cm}$$

Verifica:

$$\frac{\delta_i}{h_i} = \frac{0,44}{400} = 0,001102 \leq \frac{10}{1000} = 0,01$$

La deformabilità è verificata abbondantemente per la trave più caricata, quindi si evita la verifica dei piani superiori nonostante per gli ultimi 2 piani il pilastro si restringe.

Valutazione numerica per SLV

Rimangono invariati i coefficienti calcolati con gli SLD riguardanti $\varphi(z_i)$.

Calcolo delle forze di piano (SLV)

$$\bar{a}_{SLV} = 0,117 \cdot g$$

$$F_1 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_1}{g} \cdot \varphi(z_1) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{439 t}{g} \cdot 0,472 = 21 t$$

$$F_2 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_2}{g} \cdot \varphi(z_2) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{439 t}{g} \cdot 0,849 = 37 t$$

$$F_3 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_3}{g} \cdot \varphi(z_3) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{439 t}{g} \cdot 1,227 = 54 t$$

$$F_4 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_4}{g} \cdot \varphi(z_4) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{328 t}{g} \cdot 1,605 = 52 t$$

$$T_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 21 + 37 + 54 + 52 = 164 t$$

$$T_2 = F_2 + F_3 + F_4 = 37 + 54 + 52 = 143 t$$

$$T_3 = F_3 + F_4 = 54 + 52 = 106 t$$

$$T_4 = F_4 = 52 t$$

Caso 12)

Per questo caso va considerata un'altezza maggiore in quanto il particolare del controsoffitto utilizza un'altezza di circa 30 cm in più da dedicare all'intercapedine d'aria.

$$\left(\frac{\sum W_j}{\sum_j z_j \cdot W_j} \right) = \frac{470 + 470 + 470 + 368}{470 \cdot 4 + 470 \cdot 7,4 + 470 \cdot 10,8 + 368 \cdot 14,2} = 0,114 \frac{1}{m}$$

$$\varphi(z_1) = 4m \cdot 0,114 \frac{1}{m} = 0,454$$

$$\varphi(z_2) = 7,2m \cdot 0,114 \frac{1}{m} = 0,840$$

$$\varphi(z_3) = 10,4m \cdot 0,114 \frac{1}{m} = 1,226$$

$$\varphi(z_4) = 13,6m \cdot 0,114 \frac{1}{m} = 1,612$$

Calcolo delle forze di piano (SLD)

$$\bar{a}_{SLD} = 0,148 \cdot g$$

$$F_1 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_1}{g} \cdot \varphi(z_1) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{470 t}{g} \cdot 0,454 = 27 t$$

$$F_2 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_2}{g} \cdot \varphi(z_2) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{470 t}{g} \cdot 0,840 = 50 t$$

$$F_3 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_3}{g} \cdot \varphi(z_3) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{470 t}{g} \cdot 1,226 = 73 t$$

$$F_4 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_4}{g} \cdot \varphi(z_4) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{328 t}{g} \cdot 1,612 = 75 t$$

Calcolo dei tagli di piano (SLD)

$$T_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 27 + 50 + 73 + 75 = 224 t$$

$$T_2 = F_2 + F_3 + F_4 = 50 + 73 + 75 = 197 t$$

$$T_3 = F_3 + F_4 = 73 + 75 = 147 t$$

$$T_4 = F_4 = 75 t$$

Verifiche di deformabilità (SLD)

Si adotta una schematizzazione shear type dove vale lo spostamento:

$$\delta_i = \frac{T_i \cdot h^3}{12 \cdot E \cdot J_{tot}}$$

$$J_{tot} = \sum_i J_i$$

La verifica è data dal rapporto:

$$\frac{\delta_i}{h_i} \leq \frac{x}{1000}$$

$$x = \begin{cases} 5 & \text{tamponamenti connessi rigidamente alla struttura} \\ 10 & \text{tamponamenti connessi flessibilmente alla struttura} \end{cases}$$

Per la nostra struttura con tamponamenti connessi flessibilmente alla struttura in direzione forte si ottiene:

$$J_{tot} = 24 \cdot \frac{40 \cdot 60^3}{12} = 17280000 \text{ cm}^4$$

$$E = 326000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\delta_{piano\ 1} = \frac{224000 \text{ kg} \cdot (400 \text{ cm})^3}{12 \cdot 326000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 17280000 \text{ cm}^4} = 0,21 \text{ cm}$$

Verifica:

$$\frac{\delta_i}{h_i} = \frac{0,21}{400} = 0,000529 \leq \frac{10}{1000} = 0,01$$

Per la nostra struttura con tamponamenti connessi flessibilmente alla struttura in direzione debole si ottiene:

$$J_{tot} = 24 \cdot \frac{60 \cdot 40^3}{12} = 7680000 \text{ cm}^4$$

$$\delta_{piano\ 1} = \frac{224000 \text{ kg} \cdot (400 \text{ cm})^3}{12 \cdot 326000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 7680000 \text{ cm}^4} = 0,48 \text{ cm}$$

Verifica:

$$\frac{\delta_i}{h_i} = \frac{0,48}{400} = 0,001191 \leq \frac{10}{1000} = 0,01$$

La deformabilità è verificata abbondantemente per la trave più caricata, quindi si evita la verifica dei piani superiori nonostante per gli ultimi 2 piani il pilastro si restringe.

Valutazione numerica per SLV

Rimangono invariati i coefficienti calcolati con gli SLD riguardanti $\varphi(z_i)$.

Calcolo delle forze di piano (SLV)

$$\bar{a}_{SLV} = 0,117 \cdot g$$

$$F_1 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_1}{g} \cdot \varphi(z_1) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{470 t}{g} \cdot 0,454 = 21 t$$

$$F_2 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_2}{g} \cdot \varphi(z_2) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{470 t}{g} \cdot 0,840 = 39 t$$

$$F_3 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_3}{g} \cdot \varphi(z_3) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{470 t}{g} \cdot 1,226 = 57 t$$

$$F_4 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_4}{g} \cdot \varphi(z_4) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{328 t}{g} \cdot 1,612 = 59 t$$

$$T_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 21 + 39 + 57 + 59 = 177 t$$

$$T_2 = F_2 + F_3 + F_4 = 39 + 57 + 59 = 156 t$$

$$T_3 = F_3 + F_4 = 57 + 59 = 116 t$$

$$T_4 = F_4 = 59 t$$

4.8. CONFRONTO DEI RISULTATI

Riassumendo in un unico schema:

<i>Taglio di piano</i>	<i>SLD</i>	<i>SLV</i>
caso 1)	252 t	199 t
caso 5)	223 t	176 t
caso 7)	218 t	172 t
caso 10)	207 t	164 t
caso 12)	224 t	177 t

Nel caso di solai infinitamente rigidi, cioè con una soletta in calcestruzzo di spessore minimo di 4 cm le sollecitazioni si ripartiscono in maniera uguale su tutti i pilastri, risultando:

<i>Taglio su singolo pilastro</i>	<i>SLD</i>	<i>SLV</i>
caso 1)	10,50 t	8,29 t
caso 5)	9,29 t	7,33 t
caso 7)	9,08 t	7,17 t
caso 10)	8,63 t	6,83 t
caso 12)	9,33 t	7,38 t

Si può vedere come le sollecitazioni sul piano e quindi sul singolo pilastro scendono al diminuire della massa del solaio, infatti si passa da 10,50 tonnellate a 8,63 t. cambiando semplicemente dei particolari costruttivi. Nell'ultimo caso le sollecitazioni risalgono in quanto l'altezza aumenta.

4.9. ANALISI DEI TAMPONAMENTI

Oltre alle verifiche di sollecitazione della struttura la normativa impone di verificare le tamponature alla sollecitazione dovuta al sisma, come espresso dal decreto ministeriale 2008 al capitolo 7.2.3.

Gli elementi “secondari” , così definiti dal DM, devono essere verificati con una forza F_a agente nella direzione debole. Tali elementi devono però soddisfare alcuni requisiti tra cui quelli di non modificare la regolarità in altezza e in pianta e che la presenza di questi elementi non modifica in alcun caso lo schema strutturale dell’edificio.

La forza F_a è la forza sismica orizzontale agente al centro di massa dell’elemento non strutturale nella direzione più sfavorevole, tale valore si determina moltiplicando S_a , cioè l’accelerazione massima adimensionalizzata rispetto a quella di gravità che l’elemento strutturale subisce durante il sisma e corrisponde allo stato limite in esame, per W_a che rappresenta il peso dell’elemento, il tutto diviso per q_a che è il fattore di struttura dell’elemento.

$$F_a = \frac{S_a \cdot W_a}{q_a}$$

Il valore di S_a viene definito nel seguente modo:

$$S_a = \alpha \cdot S \cdot \left[\frac{3 \cdot (1 + Z/H)}{1 + (1 - T_a/T_1)^2} - 0,5 \right]$$

In cui:

- α è il rapporto tra l’accelerazione massima del terreno a_g su sottosuolo tipo **A** da considerare nello stato limite in esame e l’accelerazione di gravità g ;
- S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche;
- T_a è il periodo fondamentale di vibrazione dell’elemento non strutturale;
- T_1 è il periodo fondamentale di vibrazione della costruzione nella direzione considerata;
- Z è la quota del baricentro dell’elemento non strutturale misurata a partire dal piano di fondazione;
- H è l’altezza della costruzione misurata a partire dal piano di fondazione.

S_a comunque non deve essere inferiore ad $\alpha \cdot S$.

Per il valore di q_a la normativa fornisce una tabella, riportata in precedenza, dove tale coefficiente può valere 1 oppure 2, nel capitolo riguardante le costruzioni in muratura portante però il medesimo tamponamento posto nelle stesse condizioni, quindi non quella su cui poggia l'orditura dei solai cioè relativamente scarico, può assumere un valore maggiore, pari a 3, questa particolarità è molto importante ed in qualche modo può far nascere alcune controversie, di questo argomento vedremo alcune riflessioni in seguito.

La verifica sismica sui tamponamenti ha un passaggio primario che consiste nella verifica degli spostamenti d'interpiano, cioè il rapporto spostamento su altezza deve rientrare nel limite di 1/100 .

Tale verifica è ampiamente soddisfatta anche nel caso più sfavorevole come dimostrato in precedenza.

Il passo successivo sta nel determinare il valore di F_a :

i dati in ingresso saranno la geometria, quindi la base b (considereremo un metro di muratura), lo spessore t , l'altezza della muratura h e il peso specifico del tamponamento, saranno inoltre necessari l'altezza del baricentro Z e l'altezza del centro della massa dell'elemento da considerare H .

Gli altri dati sono stati ricavati in precedenza nel calcolo delle sollecitazioni sulla struttura come il periodo proprio della struttura T_1 e il parametro del sottosuolo S , anche i dati dell'accelerazione del terreno a_g , il fattore di amplificazione F_0 e il periodo di riferimento T_C^* trovati in precedenza sono deducibili dalla normativa.

Il dato da ricavare prima dell'inizio del procedimento sarà la rigidezza dell'elemento considerato k .

$$\alpha = a_g/g = 1,415/9,81 = 0,144$$

$$S = 1,48$$

$$T_a = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{W_a}{g \cdot k}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{1164,8}{9,81 \cdot 174000}} = 0,16 \text{ sec}$$

$$T_1 = 0,53 \text{ sec}$$

$$Z = 11,9 \text{ m}$$

$$H = 13,6 \text{ m}$$

$$S_a = \alpha \cdot S \cdot \left[\frac{3 \cdot (1 + Z/H)}{1 + (1 - T_a/T_1)^2} - 0,5 \right]$$

$$= 0,144 \cdot 1,48 \cdot \left[\frac{3 \cdot (1 + 11,9/13,6)}{1 + (1 - 0,16/0,53)^2} - 0,5 \right] = 0,7$$

Assumendo $q_a = 2$ si ottiene:

$$F_a = \frac{S_a \cdot W_a}{q_a} = \frac{0,7 \cdot 1164,8}{2} = 410 \text{ Kg}$$

Mentre per un fattore di struttura $q_a = 3$ si ottiene:

$$F_a = \frac{S_a \cdot W_a}{q_a} = \frac{0,7 \cdot 1164,8}{3} = 270 \text{ Kg}$$

La forza cambia notevolmente, fatto che influisce notevolmente sulle verifiche seguenti.

A questo punto si può scegliere come effettuare la verifica di stabilità del tamponamento, faremo 2 verifiche, una verificando che il momento sollecitante, cioè dovuto al sisma sia inferiore al momento resistente dovuto al peso proprio del muro.

La prima verifica ha bisogno della resistenza a compressione della muratura f_k , lo spessore della muratura e il coefficiente di sicurezza per le murature γ_m .

Il metodo consiste nel calcolare il momento in mezzeria di una schema appoggio-appoggio e confrontarlo con lo sforzo normale moltiplicato per la sua eccentricità.

Prenderemo ad esempio i dati della muratura con blocco da 26 cm.

Ricordando che l'altezza del muro è di $h = 2,8 \text{ m}$ e che per $q_a = 2$, $F_a = 410 \text{ Kg}$ in un caso e $F_a = 270 \text{ Kg}$ nel caso di $q_a = 3$ si ottiene che il carico distribuito vale:

$$q_2 = \frac{F_a}{h} = \frac{410 \text{ Kg}}{2,8 \text{ m}} = 147 \text{ kg/m}$$

$$q_3 = \frac{F_a}{h} = \frac{270 \text{ Kg}}{2,8 \text{ m}} = 98 \text{ kg/m}$$

Il momento sollecitante è quindi:

$$M_2^{sisma} = \frac{q_2 \cdot h^2}{2} = \frac{147 \cdot 2,8^2}{2} = 144 \text{ kgm}$$

$$M_3^{sisma} = \frac{q_3 \cdot h^2}{2} = \frac{98 \cdot 2,8^2}{2} = 96 \text{ kgm}$$

Il momento resistente si determina con la seguente formulazione:

$$M_u = N \cdot (t/2 - a/2)$$

Dove a è un dimensione che va a favore di sicurezza:

$$a = \frac{N}{0,85 \cdot f_d \cdot l} = \frac{N}{0,85 \cdot 170000 \cdot 1} = 0,004$$

Dove

$$f_d = \frac{f_k}{2} = \frac{3,4}{2} = 1,7 N/mm^2$$

Effettuate queste valutazioni, si può ricavare il valore cercato:

$$M_u = N \cdot \left(\frac{t}{2} - \frac{a}{2} \right) = 582,4 \cdot \left(\frac{0,26}{2} - \frac{0,004}{2} \right) = 75 \text{ kgm}$$

È evidente che, affinché la verifica sia soddisfatta, il momento sollecitante dovrà essere minore del momento resistente.

Nei due casi considerati, la verifica non è soddisfatta, la motivazione si può dare al fatto che questo metodo è più indicato per altri sistemi strutturali e non per tamponamenti.

Il metodo che più si addice a tale verifica è il criterio cinematico, tale analisi è dettata dalle NTC 2008 e dall'ordinanza OPCM 3431 e verificano la creazione di meccanismi locali in parti di edificio.

Si trova l'accelerazione che attiva il cinematismo, cioè si cerca la configurazione di equilibrio limite della tamponatura.

I dati da inserire nel calcolo saranno l'altezza del tamponamento da analizzare, la larghezza, quindi il peso del muro.

Il principio dei lavori virtuali è espresso con la seguente formulazione:

$$\left(W_1 \cdot \frac{\delta G_{1x}}{g} + W_2 \cdot \frac{\delta G_{2x}}{g} \right) \cdot a_m - W_1 \cdot \delta G_{1y} - W_2 \cdot \delta G_{2y} - P \cdot \delta P_y = 0$$

dove:

W_1 è il peso della porzione inferiore della parete

W_2 è il peso della porzione superiore della parete

P è il carico trasmesso dei piani superiori, che nei nostri casi è sempre 0

$\delta(\dots)$ è l'eccentricità dovuta alla rotazione in configurazione di equilibrio

Si ricava quindi a_m che è l'accelerazione di attivazione in funzione del parametro x che rappresenta la quota della cerniera nel caso di rottura.

Tale valore andrà confrontato con l'accelerazione orizzontale massima del sito a_0^* , calcolato attraverso:

$$a_0^* = \frac{S_e(T_1) \cdot \Psi(Z) \cdot \gamma}{q}$$

In cui:

$$S_e(T_1) = a_g \cdot S \cdot F_0$$

$$\Psi(Z) = \frac{Z}{H}$$

$$\gamma = 1,33$$

Nelle nostre verifiche utilizzeremo una quota x pari a 0,9 quindi in prossimità del solaio superiore, valore che minimizza l'accelerazione di attivazione, valori superiori perdono di significato fisico.

I valori calcolati per le varie soluzioni di tamponamento sono:

	Muratura da 26 cm	Muratura da 28 cm
M_2^{sisma} (kgm)	144	108,8
M_3^{sisma} (kgm)	96	72,6
M_u (kgm)	75	65,1
a_m (m/s ²)	2,33	2,33
$a_{0q=2}^*$ (m/s ²)	2,60	2,60
$a_{0q=3}^*$ (m/s ²)	1,73	1,73

A questo punto si inserisce la tabella dei rapporti di capacità/domanda:

	Muratura da 26 cm	Muratura da 28 cm
M_u/M_2^{sisma}	0,52	0,60
M_u/M_3^{sisma}	0,78	0,90
$a_m/a_{0q=2}^*$	0,90	0,90
$a_m/a_{0q=3}^*$	1,35	1,35

Si può notare come all'aumentare del coefficiente di duttilità della struttura, il fattore di sicurezza aumenta, fino a superare l'unità nel caso dell'analisi cinematica.

5.1. SCELTA DI UNA SOLUZIONE IDEALE

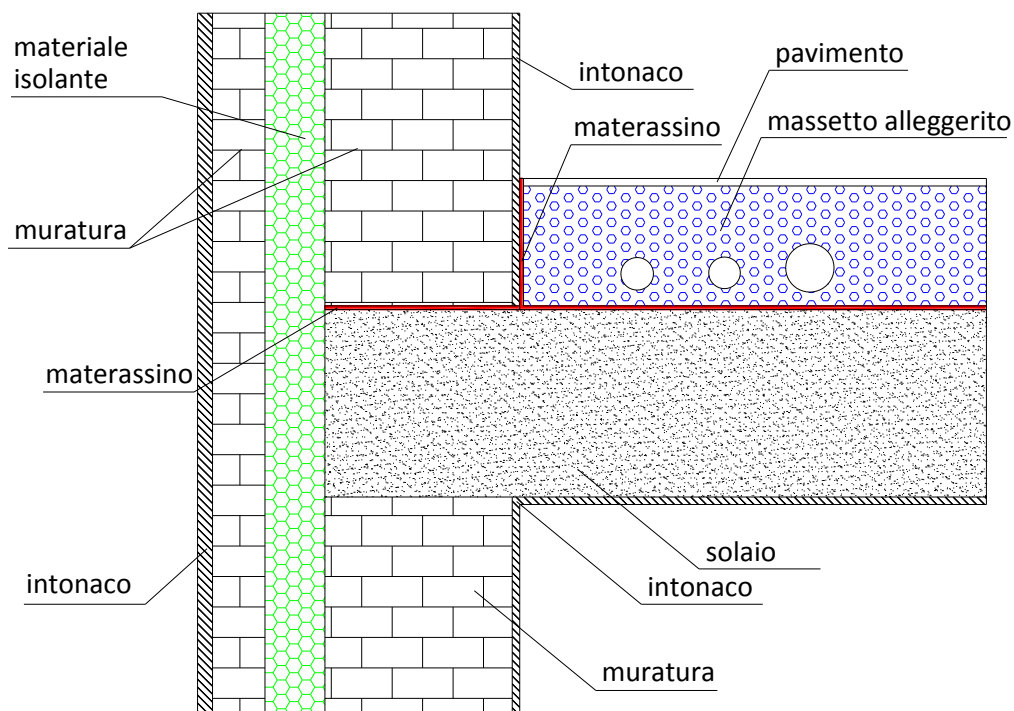
La normativa nazionale prevede dei limiti, come detto in precedenza sulle tamponature, sia sulla trasmissione del calore, sia sull'isolamento acustico.

Le soluzioni adottate sino ad ora non consentono di superare tali limitazioni, per tale motivo sulle nuove edificazioni le tecniche da adottare dovranno essere prima di tutto studiate su entrambi i fronti, acustica e termica, spesso infatti una soluzione ideale per uno degli aspetti da considerare non consente di soddisfare l'altro. Pertanto in questo studio si utilizza una soluzione composta da una doppia muratura da 40 cm composto da una muratura esterna da 7cm, uno strato di isolante in polistirene espanso ad alta densità da 8cm ed un ultimo strato di laterizio da 25cm. La parete avrà una trasmittanza termica $U = 0,230 W/m^2K$, il blocco ha una massa superficiale pari a $274 kg/m^2$ con un potere fono isolante pari a $58 dB$ ed un peso specifico pari a $900 kg/m^3$.

Le partizioni orizzontali hanno un limite molto più basso, in modo speciale i solai della copertura, in quanto il calore tende ad andare verso l'alto e quindi è proprio lì che si avranno la maggior parte delle dispersioni di energia. Uno dei metodi per raggiungere i limiti imposti dalle normative è quello di disporre una grande quantità di isolamento termico, cosa che va contro i criteri di minimizzazione dei volumi, in questa è stato tenuto conto di una grande disponibilità di sottofondo circa 14-16 cm cosa che solo ultimamente si riesce a realizzare a causa dei numerosi impianti da alloggiare, infatti oltre ai soliti impianti elettrici e idraulici, si dovranno prevedere ulteriori installazioni come pavimenti riscaldati, aspirapolvere, impianti audio, allarmi, etc. con questa giustificazione possiamo trovare il modo di aumentare quello spazio necessario all'isolamento in special modo termico in quanto non si può andare a modificare in modo sostanziale le prestazioni di un solaio, si può pensare di sostituire al laterizio il polistirolo espanso se non si intende fare una costruzione in materiale biologico, ma i vantaggi rimangono modesti.

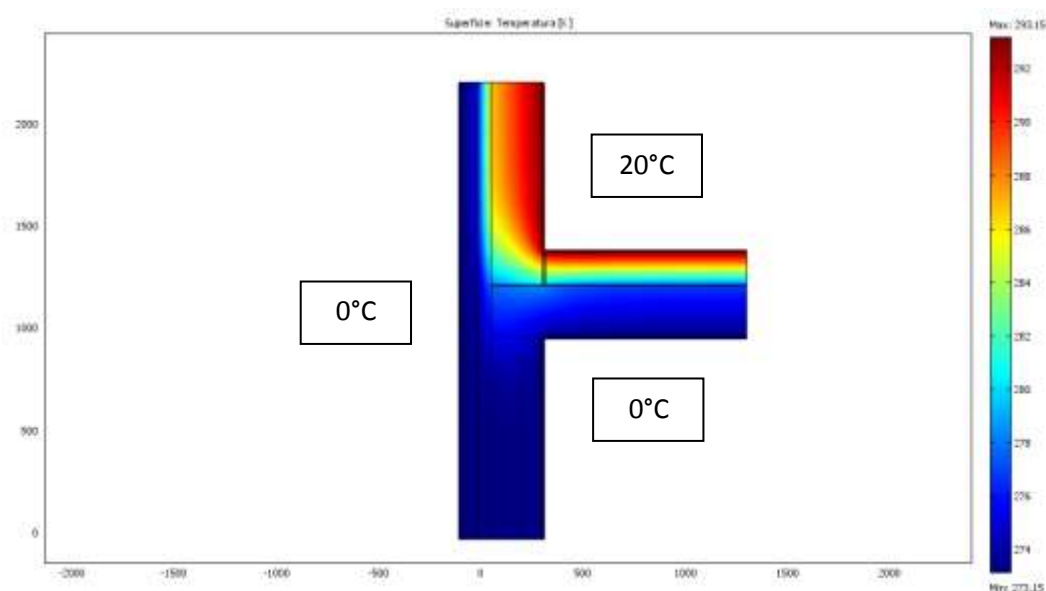
I particolari da adottare sono più elaborati, si intende quindi ricercare la minimizzazione delle dispersioni, il solaio verrà rivestito all'interfaccia con l'esterno da materiale isolante in modo da creare continuità con il polistirene all'interno della muratura, all'esterno verrà applicata una cartella in laterizio in modo da non creare delle discontinuità che a lungo termine possono portare degli

sgradevoli effetti dal punto di vista estetico dovuto al diverso comportamento della muratura e dell'isolamento con l'umidità.

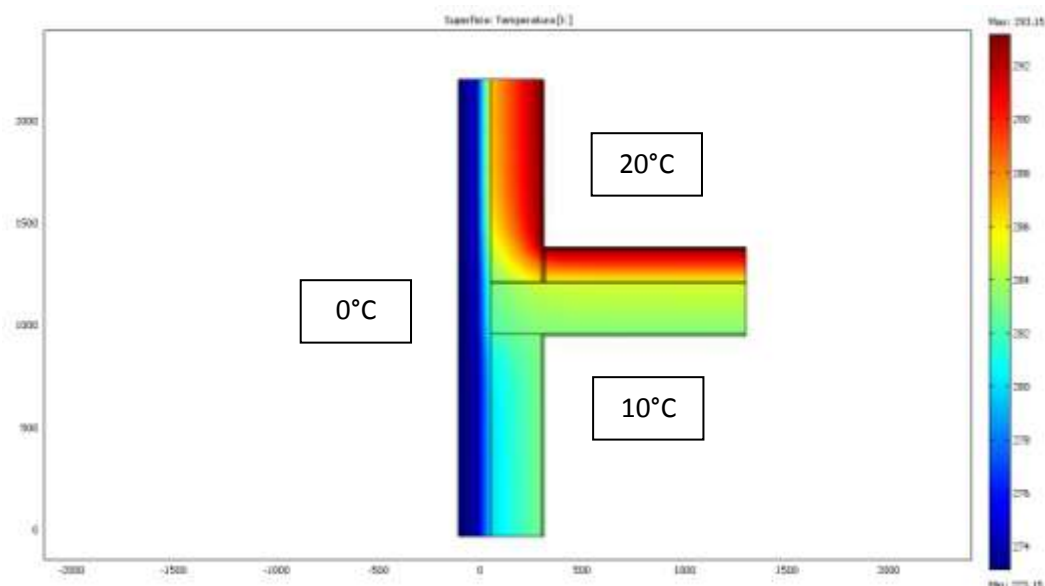


5.2. ANALISI TERMICA

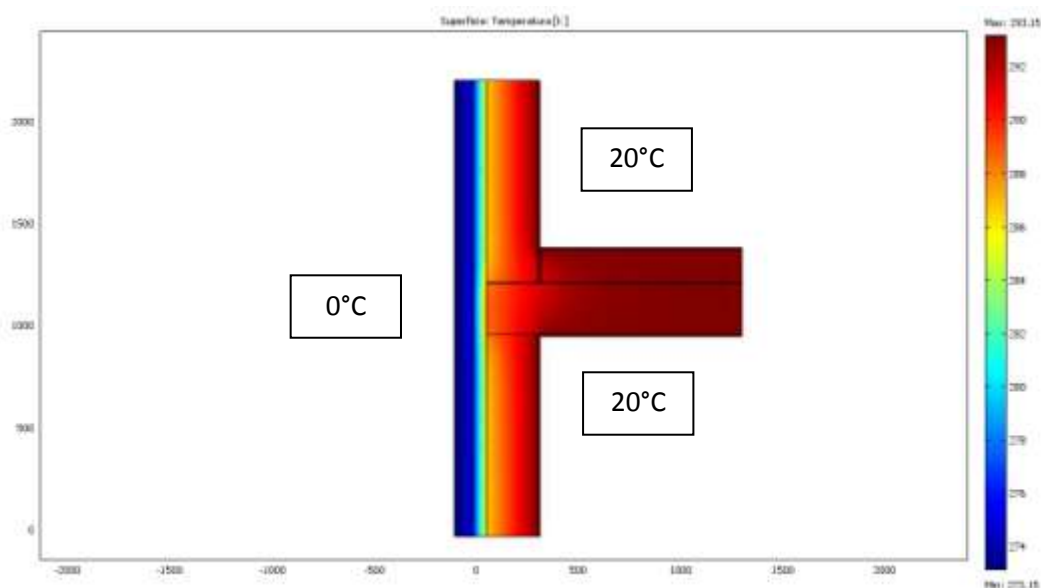
L'adozione di una muratura di 40 cm con un'intercapedine da 7 cm in materiale isolante migliora sensibilmente l'isolamento termico, il coefficiente di conducibilità termica U rientra abbondantemente entro i limiti attualmente vigenti e a quelli proposti dal D.M. del 26 Gennaio 2010, infatti $U = 0,29 \text{ W/m}^2\text{K} < 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Nel caso di ambiente riscaldato confinante con l'esterno e un ambiente sottostante alla stessa temperatura dell'esterno fornisce un coefficiente di conducibilità lineica $\Psi = 0,61$



Il caso di ambiente sottostante non riscaldato fornisce un coefficiente Ψ leggermente inferiore: $\Psi = 0,57$



Il caso più comune, cioè quello di zona calda confinate con un'altra zona calda e l'ambiente esterno, fornisce un Ψ pari a: $\Psi = 0,02$

Il calcolo delle dispersioni fornisce questi risultati:

Dispersione di potenza attraverso il tamponamento: 1330 W

Dispersione di potenza attraverso il solaio: 1680 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano inferiore: 880 W

Dispersione di potenza attraverso il ponte termico verso il piano superiore: 30 W

Per un totale di 3920 W di potenza dispersa dal singolo piano.

5.3. ANALISI ACUSTICA

Come visto nelle analisi delle soluzioni precedenti, il problema acustico è sempre soddisfatto tranne per l'isolamento aereo tra due diverse unità abitative in quanto in precedenza il valore calcolato era 49 dB mentre il limite inferiore è 50 dB, con la soluzione descritta nel capitolo precedente cioè una muratura da 40 cm con intercapedine riempita da materiale isolante termico, si riesce a soddisfare tale limite, in quanto il valore raggiunge il limite imposto: 50 dB.

Gli altri limiti sono soddisfatti:

	$L'_{nw} \leq 63(dB)$	$R'_w \geq 50(dB)$	$D_{2mn,tw} \geq 40(dB)$
Caso ideale	61	50	44

5.4. ANALISI SISMICA

Verranno di seguito riportati i risultati in quanto i procedimenti sono stati ampiamente spiegati in precedenza.

Analisi dei carichi

➤ *Solaio piano terra*

Carichi permanenti

peso proprio solaio	305	kg/m^2
materassino - (0,004*250)	1	kg/m^2
massetto - (0,16*350)	56	kg/m^2
pavimento - (0,01*2000)	20	kg/m^2
tramezzi	120	kg/m^2
	500	kg/m^2

Carichi accidentali

negozi - ambiente suscettibile di grande affollamento	400	kg/m^2
	400	kg/m^2
Totale	900	kg/m^2

➤ *Solaio piano tipo*

Carichi permanenti

peso proprio solaio	305	kg/m^2
intonaco - (0,01*2200)	22	kg/m^2
materassino - (0,004*250)	1	kg/m^2
massetto - (0,16*350)	56	kg/m^2
pavimento - (0,01*2000)	20	kg/m^2
tramezzi	120	kg/m^2
	530	kg/m^2

Carichi accidentali

appartamenti	200	kg/m ²
	200	kg/m ²
totale	730	kg/m²

➤ *Solaio di copertura*

Carichi permanenti

peso proprio solaio	305	kg/m ²
intonaco - (0,01*2200)	22	kg/m ²
massetto - (0,08*300)	28	kg/m ²
impermeabilizzazione + coibentazione	10	kg/m ²
coppi	80	kg/m ²
	440	kg/m ²

Carichi accidentali

carico neve	120	kg/m ²
	120	kg/m ²
totale	560	kg/m²

Incidenza delle travi:

si considerano tutte travi di sezione rettangolare 40x60:

$$P_{pr, trave} = 0,4 \cdot 0,6 \cdot 2500 = 600 \frac{kg}{m}$$

$$L_{trave} = (4 \cdot 25,4 + 6 \cdot 14) = 186 m$$

$$W_{trave} = P_{pr, trave} \cdot L_{trave} = 112 t$$

Incidenza dei pilastri:

si considera di avere due tipologie di pilastri:

- ✓ 40x60 i pilastri di P1 e P2
- ✓ 40x50 i pilastri di P3 e P4

Andando a favore di sicurezza li calcoliamo tutti della stessa sezione 40x60

$$P_{pr,pilastro} = 0,4 \cdot 0,6 \cdot 2500 = 600 \frac{kg}{m}$$

$$h_{media\ pilastro} = 13,6/4 = 3,4\ m$$

$$W_{pilastro} = P_{pr,pilastro} \cdot h_{media\ pilastro} = 49\ t$$

In copertura il pilastro avrà un'incidenza dimezzata:

$$W_{pilastro,4p} = W_{pilastro} / 2 = 25\ t$$

Azioni di piano

➤ **Solaio piano terra (negozi)**

$$W_{pt} = 500 + 0,6 \cdot 400 = 740 \frac{kg}{m^2}$$

➤ **Solaio piano tipo (civile abitazione)**

$$W_{p1} = W_{p2} = W_{p3} = 530 + 0,3 \cdot 200 = 590 \frac{kg}{m^2}$$

➤ **Solaio di copertura (neve)**

$$W_{cop} = 440 + 0,0 \cdot 120 = 440 \frac{kg}{m^2}$$

L'area di ciascun solaio vale:

$$A_{piano} = 14 \cdot 25,4 = 356\ m^2$$

Incidenza di ciascun piano sarà dato dal peso del piano per l'area:

➤ **Solaio piano terra**

$$W_{sol,pt} = 740 \cdot 356 = 263\ t$$

➤ **Solaio piano tipo**

$$W_{sol,p1} = W_{sol,p2} = W_{sol,p3} = 590 \cdot 356 = 210\ t$$

➤ **Solaio di copertura**

$$W_{sol,cop} = 440 \cdot 356 = 157\ t$$

Incidenza delle tamponature:

analisi dei carichi delle tamponature, ipotizzandoli di separazione tra 2 unità familiari - doppia fodera:

tamponature - carichi permanenti

intonaco interno - (0,01*2200)	22	kg/m ²
fodera interna - (0,25*900)	225	kg/m ²
lastra di polistirene - (0,07*35)	3	kg/m ²
fodera esterna - (0,07*900)	63	kg/m ²
Intonaco esterno - (0,02*2200)	44	kg/m ²
	360	kg/m ²

L'altezza media delle tamponature sarà data dalla differenza tra l'altezza media e altezza trave:

$$h_{tamp} = 3,4 - 0,6 = 2,8 \text{ m}$$

$$L_{tamp} = (2 \cdot 25,4 + 2 \cdot 14) = 78,8 \text{ m}$$

$$W_{tamp} = 0,8 \cdot 360 \cdot 2,8 \cdot 78,8 = 64 \text{ t}$$

Il coefficiente 0,8 è stato introdotto per tenere conto dei vuoti nella tamponatura dovuto a finestre o porte.

In copertura le tamponature avranno un'incidenza dimezzata:

$$W_{tamp, Ap} = W_{tamp} / 2 = 32 \text{ t}$$

Adesso si può procedere al calcolo del peso sismico di ciascun piano.

Peso sismico del piano terra

Incidenza solaio	263	t
Incidenza travi	112	t
Incidenza pilastri	49	t
Incidenza tamponature	64	t
<i>Totale</i>	488	t

Peso sismico del P1, P2, P3

Incidenza solaio	210	t
Incidenza travi	112	t
Incidenza pilastri	49	t
Incidenza tamponature	64	t
Totale	435	t

Peso sismico del piano di copertura

Incidenza solaio	157	t
Incidenza travi	112	t
Incidenza pilastri	25	t
Incidenza tamponature	32	t
Totale	326	t

Valutazione delle forze di piano

$$\left(\frac{\sum W_j}{\sum_j z_j \cdot W_j} \right) = \frac{435 + 435 + 435 + 326}{435 \cdot 4 + 435 \cdot 7,2 + 435 \cdot 10,4 + 326 \cdot 13,6} = 0,118 \frac{1}{m}$$

$$\varphi(z_1) = 4m \cdot 0,118 \frac{1}{m} = 0,472$$

$$\varphi(z_2) = 7,2m \cdot 0,118 \frac{1}{m} = 0,849$$

$$\varphi(z_3) = 10,4m \cdot 0,118 \frac{1}{m} = 1,227$$

$$\varphi(z_4) = 13,6m \cdot 0,118 \frac{1}{m} = 1,604$$

Calcolo delle forze di piano (SLD)

$$\bar{a}_{SLD} = 0,148 \cdot g$$

$$F_1 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_1}{g} \cdot \varphi(z_1) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{435 t}{g} \cdot 0,472 = 26 t$$

$$F_2 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_2}{g} \cdot \varphi(z_2) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{435 t}{g} \cdot 0,849 = 46 t$$

$$F_3 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_3}{g} \cdot \varphi(z_3) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{435 t}{g} \cdot 1,227 = 67 t$$

$$F_4 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_4}{g} \cdot \varphi(z_4) = 0,85 \cdot 0,148 \cdot g \cdot \frac{326 t}{g} \cdot 1,604 = 66 t$$

Calcolo dei tagli di piano (SLD)

$$T_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 26 + 46 + 67 + 66 = 205 \text{ t}$$

$$T_2 = F_2 + F_3 + F_4 = 46 + 67 + 66 = 179 \text{ t}$$

$$T_3 = F_3 + F_4 = 68 + 66 = 133 \text{ t}$$

$$T_4 = F_4 = 66 \text{ t}$$

Verifiche di deformabilità (SLD)

Si adotta una schematizzazione shear type dove vale lo spostamento:

$$\delta_i = \frac{T_i \cdot h^3}{12 \cdot E \cdot J_{tot}}$$

$$J_{tot} = \sum_i J_i$$

La verifica è data dal rapporto:

$$\frac{\delta_i}{h_i} \leq \frac{x}{1000}$$

$$x = \begin{cases} 5 & \text{tamponamenti connessi rigidamente alla struttura} \\ 10 & \text{tamponamenti connessi flessibilmente alla struttura} \end{cases}$$

Per la nostra struttura con tamponamenti connessi flessibilmente alla struttura in direzione forte si ottiene:

$$J_{tot} = 24 \cdot \frac{40 \cdot 60^3}{12} = 17280000 \text{ cm}^4$$

$$E = 326000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\delta_{piano\ 1} = \frac{205000 \text{ kg} \cdot (400 \text{ cm})^3}{12 \cdot 326000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 17280000 \text{ cm}^4} = 0,19 \text{ cm}$$

Verifica:

$$\frac{\delta_i}{h_i} = \frac{0,19}{400} = 0,00049 \leq \frac{10}{1000} = 0,01$$

Per la nostra struttura con tamponamenti connessi flessibilmente alla struttura in direzione debole si ottiene:

$$J_{tot} = 24 \cdot \frac{60 \cdot 40^3}{12} = 7680000 \text{ cm}^4$$

$$\delta_{piano\ 1} = \frac{205000 \text{ kg} \cdot (400 \text{ cm})^3}{12 \cdot 326000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot 7680000 \text{ cm}^4} = 0,44 \text{ cm}$$

Verifica:

$$\frac{\delta_i}{h_i} = \frac{0,44}{400} = 0,00109 \leq \frac{10}{1000} = 0,01$$

La deformabilità è verificata abbondantemente per la trave più caricata, quindi si evita la verifica dei piani superiori nonostante per gli ultimi 2 piani il pilastro si restringe.

Valutazione numerica per SLV

Rimangono invariati i coefficienti calcolati con gli SLD riguardanti $\varphi(z_i)$.

Calcolo delle forze di piano (SLV)

$$\bar{a}_{SLV} = 0,117 \cdot g$$

$$F_1 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_1}{g} \cdot \varphi(z_1) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{435 \text{ t}}{g} \cdot 0,472 = 20 \text{ t}$$

$$F_2 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_2}{g} \cdot \varphi(z_2) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{435 \text{ t}}{g} \cdot 0,849 = 37 \text{ t}$$

$$F_3 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_3}{g} \cdot \varphi(z_3) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{435 \text{ t}}{g} \cdot 1,227 = 53 \text{ t}$$

$$F_4 = \lambda \cdot \bar{a} \cdot \frac{W_4}{g} \cdot \varphi(z_4) = 0,85 \cdot 0,117 \cdot g \cdot \frac{326 \text{ t}}{g} \cdot 1,604 = 52 \text{ t}$$

$$T_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 20 + 37 + 53 + 52 = 162 \text{ t}$$

$$T_2 = F_2 + F_3 + F_4 = 37 + 53 + 52 = 142 \text{ t}$$

$$T_3 = F_3 + F_4 = 53 + 52 = 105 \text{ t}$$

$$T_4 = F_4 = 52 \text{ t}$$

5.5. ANALISI DEI TAMPONAMENTI

Le analisi si sono svolte come indicato in precedenza, vengono riportati i risultati:

	muratura da 40 cm
M_2^{sisma} (kgm)	104,3
M_3^{sisma} (kgm)	69,5
M_u (kgm)	69,7
a_m (m/s ²)	2,33
$a_{0q=2}^*$ (m/s ²)	2,60
$a_{0q=3}^*$ (m/s ²)	1,73

I coefficienti di sicurezza risultano sicuramente più elevati, prossimi all'unità.

	Muratura da 26 cm
M_u/M_2^{sisma}	0,67
M_u/M_3^{sisma}	1,01
$a_m/a_{0q=2}^*$	0,90
$a_m/a_{0q=3}^*$	1,35

6. COMMENTI

Non sempre una soluzione ideale a soddisfare i requisiti termici è idonea anche dal punto di vista acustico, infatti esse sono due problematiche aventi leggi fisiche che le governano completamente diverse.

Per effettuare quindi un buono studio, è importante analizzare bene il luogo in cui si andrà ad ubicare la nostra costruzione, in quanto al variare della zona climatica, cambiano le problematiche, scegliere quindi una soluzione che riesca a soddisfare i parametri termici ed acustici.

La nostra soluzione denominata “ideale”, si comporta bene dal punto di vista termico, rientrando anche ampiamente entro i limiti di legge vigenti e proposti per il futuro, dal punto di vista acustico si comporta molto bene all’isolamento dai rumori provenienti dall’esterno, mentre per i rumori provenienti da altre unità abitative soddisfa il livello minimo richiesto; quindi bisognerà, qualora si volessero ottenere dei comportamenti migliori, adottare delle murature interne e di separazione di una qualità superiore a quella da noi ipotizzata.

L’isolamento da calpestio è forse quello più complicato da analizzare, perché esso dipende dal tipo di solaio presente, quindi altezza e peso specifico, dal tipo di tamponamenti, dal tipo di smorzatore acustico e soprattutto dallo spessore disponibile, infatti è spesso quest’ultimo fattore ad essere deficitario, infatti per avere un ottimo isolante termico si utilizzano massetti alleggeriti che hanno bisogno di spessori maggiori, mentre se si hanno spessori piccoli, per avere l’isolamento contro i rumori da impatto si devono avere materiali pesanti come il cls avente però pessime qualità per l’isolamento termico.

Per massetti leggeri ($350 - 400 \text{ kg/m}^3$) lo spessore minimo da tenere per avere l’abbattimento dei 63 dB richiesti dalla normativa, per un solaio in latero-cemento 20+4, dovrebbe essere di almeno 12 cm.

Dal punto di vista sismico si è potuto notare attraverso questa trattazione che all’aumentare dell’isolamento termico, diminuiscono le azioni di taglio, che sono spesso le azioni che portano i maggiori danni alle costruzioni, proprio grazie alla presenza di masse inferiori rispetto ai casi più tradizionali, quindi più pesanti.

Un ringraziamento va a tutto il Dipartimento, al relatore Prof. Ing. Giovanni Semprini, i correlatori Ing. Luca Barbaresi e Ing. Luca Landi per la disponibilità e la cortesia tenute.

Ringrazio inoltre i miei amici e compagni di studio, da Angelo, Faffo, Daniele, Matteo a tutti gli altri amici di Bologna e di Arezzo che mi hanno sempre tenuto grande e simpatica compagnia mantenendo una piacevole competizione che è servita a tenere alta la concentrazione.

Uno speciale ringraziamento va a Fabiola che mi ha accompagnato in questo percorso tenendomi sempre il morale alto anche nei momenti difficili con la sua allegria e il suo carattere così solare.

Ringrazio soprattutto la mia famiglia, la mia sorellina Azzurra, alla quale tengo molto, la mia mamma che mi ha sempre consigliato e sostenuto nelle mie scelte, il mio papà che è da sempre una valida guida in tutto, dal lavoro, al comportamento, soprattutto all'educazione, spero di diventare l'uomo che sei, grazie dei tuoi insegnamenti.