

**fermacell**



## Costruzioni in legno antisismiche con le lastre in gessofibra FERMACELL

Esempio di calcolo:  
edificio a 3 piani realizzato in legno con  
pannelli intelaiati



# Terremoti: è possibile difendersi?

In Italia e in ogni angolo del pianeta si verificano questi eventi, per difendersi: previsione e prevenzione.

Allo stato attuale delle conoscenze non è possibile prevedere un terremoto. Si deve intendere quindi la previsione come probabilistica, basata sullo studio di una certa area arrivando a „prevedere” l'intensità massima e la frequenza dei terremoti che possiamo attenderci e quindi definire la pericolosità sismica dell'area stessa.

È tuttavia possibile prevedere gli effetti sul territorio; questo significa che tali effetti possono essere modificati o addirittura neutralizzati attraverso una serie di misure di prevenzione. La misura più semplice è quella di costruire le case secondo le norme antisismiche; rimane però il problema delle vecchie costruzioni che rappresentano la maggiore parte del patrimonio edilizio italiano.

A seguito del terremoto in Abruzzo è parso a tutti evidente che si deve puntare sulla prevenzione, cioè su case, palazzi, edifici fatti con misure antisismiche tali che un medio sisma (com'è stato quel-

lo in Abruzzo) non possa mai provocare vittime.

Quindi progettisti e costruttori devono essere tra i primi ad avere la sensibilità del problema e garantire costruzioni non sismicamente vulnerabili.

Anche Fermacell, con questo fascicolo, pone l'attenzione e l'interesse su tali tematiche, dimostrando come sia possibile, senza costi aggiuntivi e con un occhio alla sostenibilità dell'edificio, realizzare edifici con struttura in legno rivestiti con lastre in gessofibra Fermacell.

## Scala sismica

Due diversi tipi di scale ugualmente importanti sono usate comunemente dai sismologi per descrivere i terremoti. L'energia di un terremoto è misurata in base a una scala di magnitudo, mentre l'intensità della scossa in ogni punto sulla superficie terrestre è misurata in base a una scala di intensità.

## Magnitudo

La magnitudo, termine latino che significa grandezza, è una misura dell'energia rilasciata durante un terremoto nella porzione di crosta dove questo si genera. La scala descrive sia sismi appena avvertibili che terremoti immani: per questo, essa è logaritmica ed è tale che ad ogni aumento di unità nella magnitudo corrisponde un aumento di 10 volte nell'ampiezza misurata (e un rilascio di energia circa 30 volte maggiore).

## L'intensità

Classifica gli effetti che un terremoto produce sulle costruzioni, sul terreno e sulle persone. Essa non dipende solo dal fenomeno geologico-fisico in sé; il suo valore cambia quindi da luogo a luogo. Il grado d'intensità si assegna osservando gli effetti prodotti dal terremoto e facendo riferimento a situazioni predefinite ed ordinate secondo categorie sempre più severe.

### Principali terremoti in Italia

luogo	anno	Potenza	Danni
Campania e Molise	26 luglio 1805	6.5 Richter X Mercalli	5600 vittime e ingenti danni
Calabria e Sicilia	28 dicembre 1908	7.2 Richter XI-XII Mercalli	Un terremoto di 30 secondi e soprattutto l'onda di maremoto successiva rasero al suolo le città di Reggio Calabria e Messina e tutti i villaggi nell'area. la più grave sciagura naturale in Italia, per numero di vittime (130000), a memoria d'uomo.
Avezzano, Abruzzo	13 gennaio 1915	7.0 Richter XI Mercalli	Furono distrutti dal sisma Avezzano e quasi tutto il territorio della Marsica. Anche nel Lazio ci furono distruzioni, per un totale di 33000 vittime.
Vulture	23 luglio 1930	6.7 Richter X Mercalli	I comuni più colpiti contarono il 70 % degli edifici rasi al suolo. 1404 vittime.
Belice, Sicilia occidentale	15 gennaio 1968	6.4 Richter X Mercalli	Rasi al suolo diversi paesi del trapanese e dell'agrigentino. 370 vittime.
Friuli	6 maggio 1976	6.4 Richter X Mercalli	Si registrò una serie di scosse inoltrate fino al mese di settembre, con vastissimi danni in tutto il Friuli, terremoto avvertito in tutto il Centro-Nord Italia, con 989 vittime.
Irpinia e Basilicata	23 novembre 1980	6,9 Richter X Mercalli	Vennero distrutti numerosi paesi. Danni ingenti nelle province di Avellino, Salerno, Benevento, Matera e Potenza. Quasi 3000 le vittime, 8.000 i feriti e 250.000 senzatetto.
Umbria e Marche	26 settembre - ottobre 1997	5,8 e 6,2 Richter X Mercalli	Furono coinvolte le zone di Assisi, Serravalle di Chienti, Camerino. Distrutte numerose frazioni del comune di Foligno ed altri centri, gravi danni alle città, soprattutto alle bellezze artistiche. 100 feriti e 32.000 sfollati. Oltre 80.000 case danneggiate.
Molise e Puglia	31 ottobre 2002	5,4 Richter VIII-IX Mercalli	San Giuliano di Puglia. Crollata una scuola, dove morirono 27 bambini ed una maestra. Danneggiati diversi comuni delle due regioni
L'Aquila	6 aprile 2009	6,4 Richter	308 vittime e ingenti danni

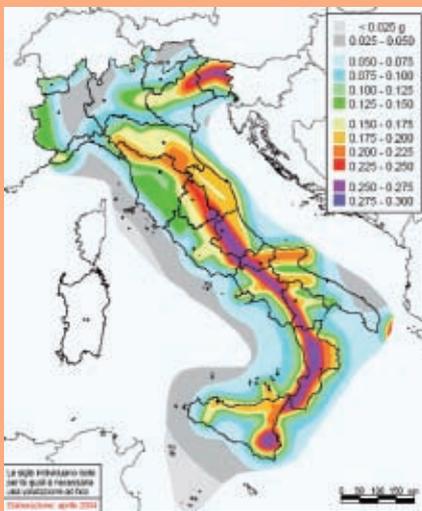
**Classificazione sismica al 2006, recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell'Ordinanza PCM 20 marzo 2003, n. 3274.**



**Legenda:**  
**Zona 1** - È la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti. Comprende 725 comuni.  
**Zona 2** - Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti. Comprende 2.344 comuni.  
**Zona 3** - I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti. Comprende 1.544 comuni.  
**Zona 4** - È la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse. Comprende 3.488 comuni.

Le NTC del 14 Gennaio 2008 (entrate in vigore dal 1 luglio 2009) non fissano i criteri per la classificazione sismica, né stabiliscono se ad un dato valore di Accelerazione ag corrisponda una determinata Zona sismica. Il calcolo di  $a_g$  viene fatto per interpolazione in base alle coordinate di longitudine e latitudine della località di costruzione.

**Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale**



espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)

**Riferimenti Normativi:**

l' Ordinanza PCM 3274 del 20/03/2003 (G.U. n.105 del 08/05/2003) e l' Ordinanza PCM 3519 del 28/04/2006 sull'individuazione delle zone sismiche e la formazione degli elenchi delle medesime zone (G.U. n.108 del 11/05/2006) sono state sostituite dalle **Norme Tecniche per le Costruzioni Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture (GU n.29 del 04/02/2008)**

**Effetti di scosse di varie magnitudini vicino al loro epicentro in luoghi abitati.**

Richter	Mercalli	Definizione	Descrizione fenomeni su edificato
1,00	1°	Impercettibile	Scossa rilevata solo dai sismografi installati sopra l'epicentro.
2,50	2°	Lievissima	Scossa rilevata dai sismografi installati a pochi chilometri dall'epicentro.
3,00	3°	Lieve	Scossa considerata generalmente di assestamento, rilevata dai sismografi ubicati in un raggio di circa 10 km dall'epicentro. Normalmente non viene percepita dalla popolazione.
3,50	4°	Moderata	Scossa percepita solo ai piani più alti degli edifici, e rilevata dai sismografi posti a una distanza non superiore ai 100 km.
4,00	5°	Media intensità	Scossa che riesce a far oscillare i lampadari e far cadere qualche soprammobile nella zona direttamente interessata. Viene rilevata dai sismografi in un raggio di 200 km dall'epicentro.
4,50	6°	Forte	Scossa che provoca crepe nelle pareti e giunge a far suonare le campane a causa dell'oscillazione della struttura dei campanili. Rilevata dai sismografi distanti fino a 600 km dall'epicentro.
5,00	7°	Molto Forte	Scossa che può far crollare qualche edificio e provocare vittime. Rilevabile a 1000 km dall'epicentro.
5,50	8°	Distruttiva	Scossa che provoca crepe sul terreno, il crollo di diversi edifici, di campanili e che può provocare la caduta di massi dalle pareti delle montagne.
6,00	9°	Altamente distruttiva	Crolla il 60% degli edifici. Nei laghi l'acqua si intorbidisce e si formano delle onde che si infrangono con forza sulla riva. Lo stesso dicasi per le acque dei mari.
6,50	10°	Fortemente distruttiva	Distruzione totale degli edifici. Le rotaie dei treni si deformano, i ponti e le dighe possono crollare. Nel terreno si aprono larghe crepe.
7,00	11°	Catastrofica	Catastrofe. I rilievi franano a valle e si aprono crateri nel terreno.
7,50	12°	Ampiamente catastrofica	Distruzione di tutto quanto esiste in superficie in un raggio di 20-30 chilometri dall'epicentro. (storicamente mai raggiunto)

# Progettare e costruire in maniera antisismica

## „Costruzioni in zone sismiche“

### Carichi, dimensioni e tipologie delle costruzioni fuoriterra convenzionali.

Gli edifici nelle zone a rischio sismico dovrebbero generalmente essere progettati e costruiti meglio di quanto accada per le altre costruzioni. Affinché gli edifici resistano ad un terremoto e per minimizzare i danni, essi devono essere progettati, dimensionati e costruiti in maniera adeguata per resistere alle sollecitazioni dei terremoti.

In considerazione dell'elevata densità di abitazioni ed industrie in Germania, è stata emanata una norma specifica, la DIN 4149 "Costruzioni in zone della Germania a rischio sismico", emendata nel 2005.

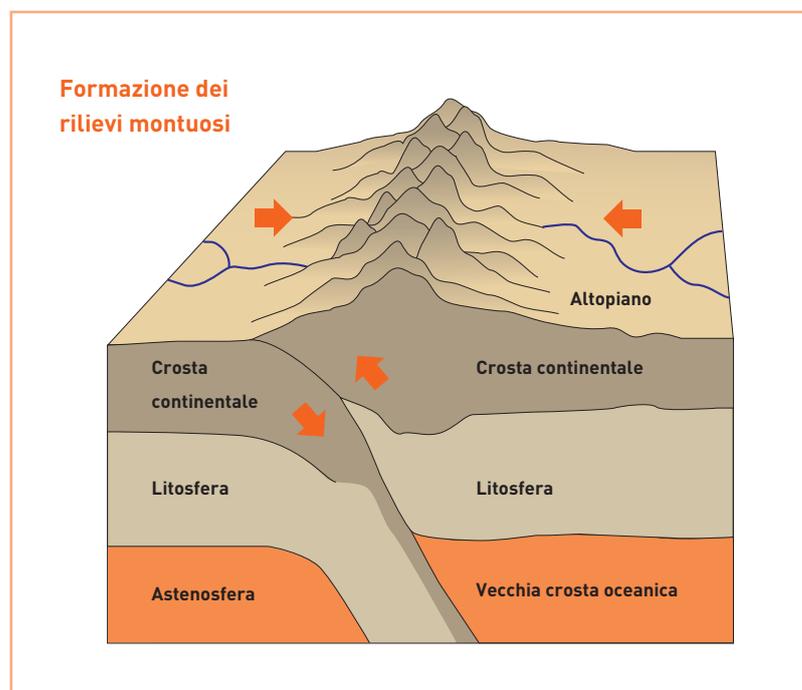
Base per la nuova edizione della DIN 4149 pubblicata nell'aprile 2005 è la norma europea EN 1998-1:2004 (Eurocodice 8). Essa pone le regole di dimensionamento e costruzione di edifici e di opere di ingegneria edile in zone a rischio sismico per garantire la protezione delle vite umane in situazioni di terremoto, limitare i danni e mantenere funzionanti importanti edifici vitali per la cittadinanza. Grazie alla concezione semiprobabilistica del piano di sicurezza a cui si rifà anche la DIN 4149:2005, non è più accettabile una combinazione con la DIN 1052:1988, basata invece sul metodo delle sollecitazioni ammesse.

Spostamenti e disallineamenti delle placche tettoniche ad elevate profondità provocano onde di superficie che vanno ad sollecitare dinamicamente gli edifici. La tipologia del sottosuolo è di particolare importanza per l'intensità dei moti sismici.

#### Classe d'Uso

In base alle NTC2008 viene stabilito, a seconda della morfologia del terreno e della tipologia del sottosuolo, un parametro di sottosuolo che va poi moltiplicato con l'accelerazione del suolo e sulla classe d'uso degli edifici  $C_u$  (cfr. Tabella).

Classe d'Uso	Esempio di utilizzo	Fattore di importanza
I	costruzioni agricole	0,7
II	edifici normale affollamento	1,0
III	edifici grande affollamento	1,5
IV	edifici strategici	2,0



## Pianta e geometria degli edifici

Prima di fare il calcolo statico degli edifici, occorre effettuare una ottimizzazione elaborando un progetto corretto dal punto di vista sismico. I corpi strutturali compatti sono preferibili a quelli irregolari.

L'impegno investito nel progetto mira principalmente a raggiungere una struttura il più possibile regolare. Si ha regolarità quando massa e rigidezza sono equamente distribuite in pianta ed in sezione. In questo modo si riescono a minimizzare le sollecitazioni torsionali. Negli edifici in cui ci si attenga al criterio della regolarità, si può rinunciare ad una verifica numerica a seconda della categoria di importanza e dei piani dell'edificio (DIN 4149 Tab. 8).

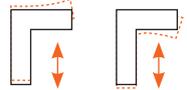
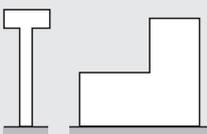
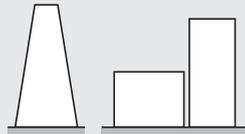
## Analisi modale con spettro di risposta

Le condizioni costruttive, che prevedono giunti dei singoli elementi costruttivi resistenti alla trazione ed alla compressione, devono essere rispettate così come avviene per gli edifici in cui non si può esimersi dalla verifica finale. Eseguendo un calcolo sismico, si può determinare come reagisce un edificio sotto l'azione di un'onda sismica (metodo dello spettro di risposta).

Oltre all'intensità dell'impatto dell'onda sismica, occorre attribuire una grossa rilevanza alla rigidità ed alla massa dell'edificio. La massa che dev'essere impiegata per l'edificio viene determinata secondo NTC 2008

$$M = \left( \sum G_{ki} \oplus \sum \Psi_{zi} \times Q_{ki} \right)$$

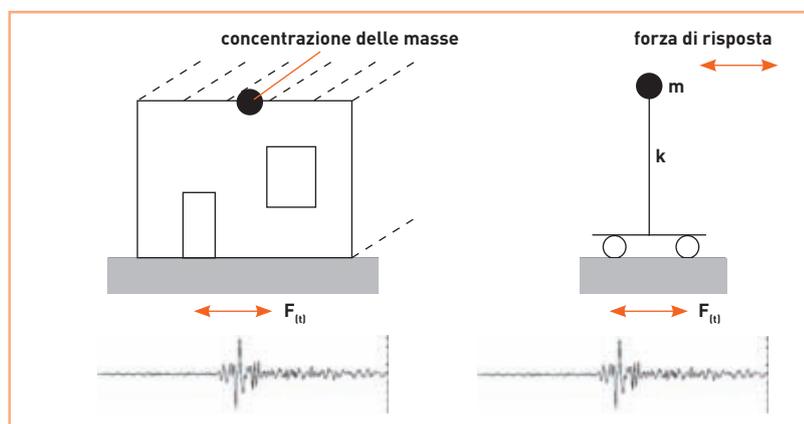
Una volta nota la rigidità del sistema e la sua massa, si può calcolare il periodo proprio di oscillazione degli elementi costruttivi di irrigidimento.

Pianta e geometria degli edifici	
non regolare	regolare
<b>Pianta</b>	
	
	
<p>Facile, tozza e compatta. Altrimenti separazione con giunti o rinforzo mediante elementi di irrigidimento supplementari.</p>	
<b>Elevazione</b>	
	
<p>Snellezza e concentrazione delle masse devono essere tenute adeguatamente in considerazione! Differenti altezze provocano carichi eccentrici.</p>	

In funzione del periodo di oscillazione si può quindi determinare l'accelerazione sismica interpolando i dati della tabella 1 Allegato B NTC 08.

Infine, moltiplicando la massa complessiva dell'edificio per l'accelerazione sismica si ottiene la forza totale dell'azione sismica, mediante la quale si possono effettuare le successive verifiche statiche.

Questa forza sismica si applica suddividendosi sui singoli piani dell'intero edificio e distribuendosi sulle pareti di irrigidimento come carico statico di compensazione. La distribuzione sulle pareti avviene secondo la portata e non secondo la rigidità. L'ulteriore dimensionamento dei pannelli avviene in accordo alla DIN 1052:2004 § 8.7 e § 10.6.



# Vantaggi delle costruzioni in legno in caso di eventi sismici

**Approfondimenti per progettisti, ingegneri e costruttori sulle garanzie delle costruzioni in legno in occasione di eventi sismici.**

Il legno è stato impiegato sempre dall'inizio della civilizzazione come materiale molto versatile da costruzione, come testimoniano ancora oggi numerose opere architettoniche e siti di interesse sparsi in tutto il mondo. Nei secoli scorsi il legno è stato anche utilizzato come materiale da costruzione in aree a rischio sismico estremamente elevato, per esempio negli edifici residenziali multipiano oppure nei templi.

Le capacità prestazionali delle costruzioni in legno vengono documentate oggi non solo da opere con alti requisiti statici come ponti e padiglioni di grande luce, ma anche da numerosi esempi di costruzioni antisismiche.

Le strutture portanti in legno offrono molteplici opportunità come mostrano gli edifici multipiano, costituiti a volte anche da 4-5 piani. In caso di evento sismico, la massa ridotta dà origine a minori forze non inerziali.

Montanti e fasciatura di rivestimento costituiscono un sistema molto conveniente nelle costruzioni in legno a pannelli intelaiati. Il rivestimento, ad esempio in lastre di gesso-fibra, impedisce che i montanti in

legno perdano la verticalità o che si inclinino. Il fissaggio avviene mediante sistemi meccanici di supporto, ad esempio graffe o chiodi.

In fase di progettazione, i seguenti punti possono avere una grossa influenza sulla sicurezza sismica degli edifici:

- forma in pianta
- progetto pareti di irrigidimento
- altezza dell'edificio
- scelta della struttura portante
- scelta dei materiali da costruzione
- distribuzione di masse ed elementi rigidi
- duttilità della struttura portante

## **Deviazione dei carichi sotto l'azione sismica**

Un criterio importante per la sicurezza sismica di un edificio è che i vari elementi costruttivi possano scarica-

re quanto più direttamente possibile nelle fondamenta i carichi agenti. A questo scopo, la duttilità delle pareti e dei solai gioca un ruolo particolarmente rilevante (resistenza della struttura portante).

**La DIN 4149:2005 tedesca e le NTC italiane sono state adattate alla nuova concezione di sicurezza contenuta nell' Eurocodice 8, basata sul metodo semiprobabilistico agli stati limite. In Germania, le verifiche sismiche delle costruzioni in legno sono da svolgersi in accordo alla DIN 1052:2004-08.**

**In Italia secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni - Decreto 14/01/2008 del Ministero delle Infrastrutture (GU n.29 del 04/02/2008)**



**Edificio multipiano realizzato in legno con pannelli intelaiati rivestiti con lastre di gesso-fibra FERMACELL.**



**Prefabbricazione di una parete in legno con pannelli intelaiati rivestiti con lastre di gesso-fibra FERMACELL.**

## Duttilità

La duttilità della struttura portante di un edificio in legno favorisce il comportamento complessivo sotto l'azione sismica.

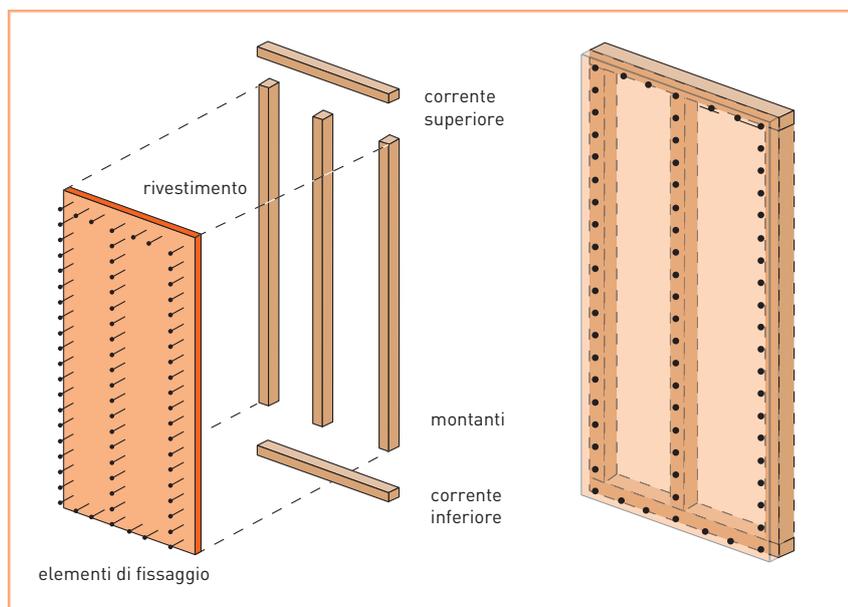
Nelle costruzioni in legno, le connessioni fra i singoli elementi costruttivi formano tante parte duttili. Un dimensionamento appropriato delle connessioni garantisce una loro deformazione in campo plastico.

Durante un evento sismico, l'energia può trasformarsi in deformazione plastica degli elementi di fissaggio proprio grazie alla duttilità delle connessioni. Questa dissipazione di energia avviene mediante l'interazione dei sistemi di fissaggio con il rivestimento e la struttura in legno.

Nelle figure in alto a destra viene mostrato un esempio di come la struttura dei giunti plastici venga plasmata nella zona compresa fra rivestimento e sottostruttura in legno.

Nelle costruzioni in legno, i carichi orizzontali che devono essere impiegati possono essere ridotti di opportuni fattori di struttura  $q$  variabili a seconda dei sistemi di irrigidimento utilizzati. La deformazione plastica degli elementi di collegamento permette di dissipare l'energia in atto durante l'evento sismico, perciò occorre considerare per i successivi calcoli solo una parte della forza sismica totale. I diversi sistemi di irrigidimento vengono classificati in classi di duttilità alle quali è associato un cosiddetto fattore di struttura.

Le costruzioni controventate in legno sono classificate in base alla loro duttilità. Secondo la DIN, la classe di duttilità 1 corrisponde ad una  $q = 1,5$ . A seconda della capacità di dissipazione dei sistemi di irrigidimento, si può arrivare anche in classe 2 o 3 (rispettivamente  $q = 2,5$  o  $4,0$ ).



**Deformazione plastica ed ovalizzazione del foro dopo uno sforzo ciclicodinamico della struttura.**

**Lastre in gessofibra FERMACELL (in alto), sottostruttura in legno (destra), elementi di collegamento (in basso).**

Le NTC Italiane e la DIN 4149:2005 tengono conto di questo comportamento duttile delle strutture in legno.

# Più sicurezza con FERMACELL

Fermacell si occupa del dimensionamento sismico dal 2004.

**La concezione degli edifici in aree a rischio sismico che tiene conto della corretta scelta di materiali da costruzione da impiegare in cantiere garantisce sicurezza di progettazione e di utilizzo. Le lastre di gessofibra FERMACELL possono essere impiegate senza limitazioni già in fase di dimensionamento in tutte le zone a rischio sismico.**

Agli inizi del 2005, sotto la guida dell'Istituto per la verifica dei materiali di Stoccarda (Università di Stoccarda), sono iniziate numerose analisi e verifiche nel campo della tecnologia edile. Per questo motivo FERMACELL vuole garantire le capacità prestazionali delle lastre in gessofibra FERMACELL per l'analisi sismica con la seguente finalità: si intende collocare le lastre in gessofibra FERMACELL nelle classi di duttilità 2 e 3 (rispettivamente  $q = 2,5$  o  $4,0$ ) riferite alla DIN 4149:2005.

Queste classi di duttilità corrispondono ad un medio ed alto potere di dissipazione dell'energia nell'ottica di quanto stabilito dalla EN 1998-1:2004.

- estensione dell'autorizzazione nazionale dei materiali: Z-9.1-434
- estensione dell'autorizzazione tecnica europea: ETA 03-0050

## Programma di test

Partendo già con il vantaggio di impiegare a livello strutturale un materiale dalle ottime capacità antincendio (il gessofibra Fermacell è in classe A2-s1,d0 di reazione al fuoco), è stato svolto un ampio programma di test con le lastre in gessofibra FERMACELL.

Nell'ambito dei successivi ampliamenti dei certificati di abilitazione sono state prese in considerazione varie tematiche delle complesse interazioni reciproche della struttura:

- lastre in gessofibra FERMACELL
- sottostruttura in legno
- elementi di fissaggio

Questo programma di test è stato coordinato e svolto in diversi stadi (cfr. I-III) durante i quali è stato investigato l'intero spettro di possibilità per mezzo delle informazioni e dei risultati raccolti.

Diventa quindi chiaro che, sottoponendo l'intero sistema a sforzi di carico ciclici / dinamici, le sue capacità prestazionali dipendono in larga misura dall'ottimizzazione dei tre elementi di sistema appena elencati.

## Sintesi

La sicurezza e la stabilità degli elementi costruttivi analizzati con le lastre in gessofibra FERMACELL sono state garantite completamente in tutte le prove simulate di azioni sismiche.

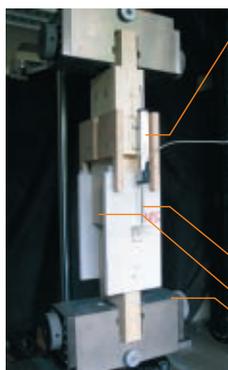
Questo complesso programma di test pone quindi le basi per estendere anche alle lastre in gessofibra FERMACELL l'autorizzazione nazionale ed europea per il dimensionamento di edifici in zone a rischio sismico.

**Le lastre in gessofibra FERMACELL possono essere utilizzate per il calcolo ed il dimensionamento di edifici costruiti in legno con pannelli intelaiati per tutte le zone a rischio sismico.**

### I. Elementi costruttivi di dimensioni minori ed influenza degli elementi di collegamento

Nel primo stadio sono stati analizzati su piccoli campioni i seguenti fattori di influenza riportando diversi protocolli di carico indicati dalla DIN EN 12512:

- elementi di collegamento in funzioni di diametro e distanza reciproca
- profondità di inserimento e distanza dal bordo

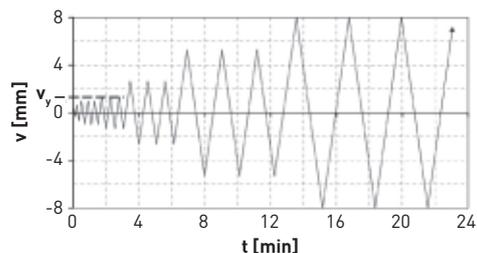


sensore ohmico di posizione

chiodo

legno

morsa



Protocollo di carico sec. DIN 12512

### II. Test su elementi costruttivi reali alla macchina di prova per pareti

Nel secondo stadio sono state realizzate e confrontate diverse prove alla macchina di prova per pareti, effettuando test di resistenza di carico statici monotoni e ciclici.

Test alla macchina di prova per pareti sottoposta a sforzi di carico statici ciclici.

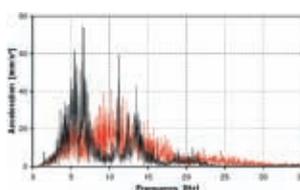
Le graffe sollecitate escono e si guastano a bassi cicli.



### III. Test su elementi costruttivi reali Shake Table (tavolo di sollecitazione)

Per mezzo dei test allo Shake Table sono state tra l'altro effettuate prove di resistenza alle azioni sismiche e ai loro effetti su elementi costruttivi che erano stati precedentemente fissati assieme a delle lastre in gessofibra FERMACELL, investigando i seguenti spettri di ampiezza dell'azione sismica:

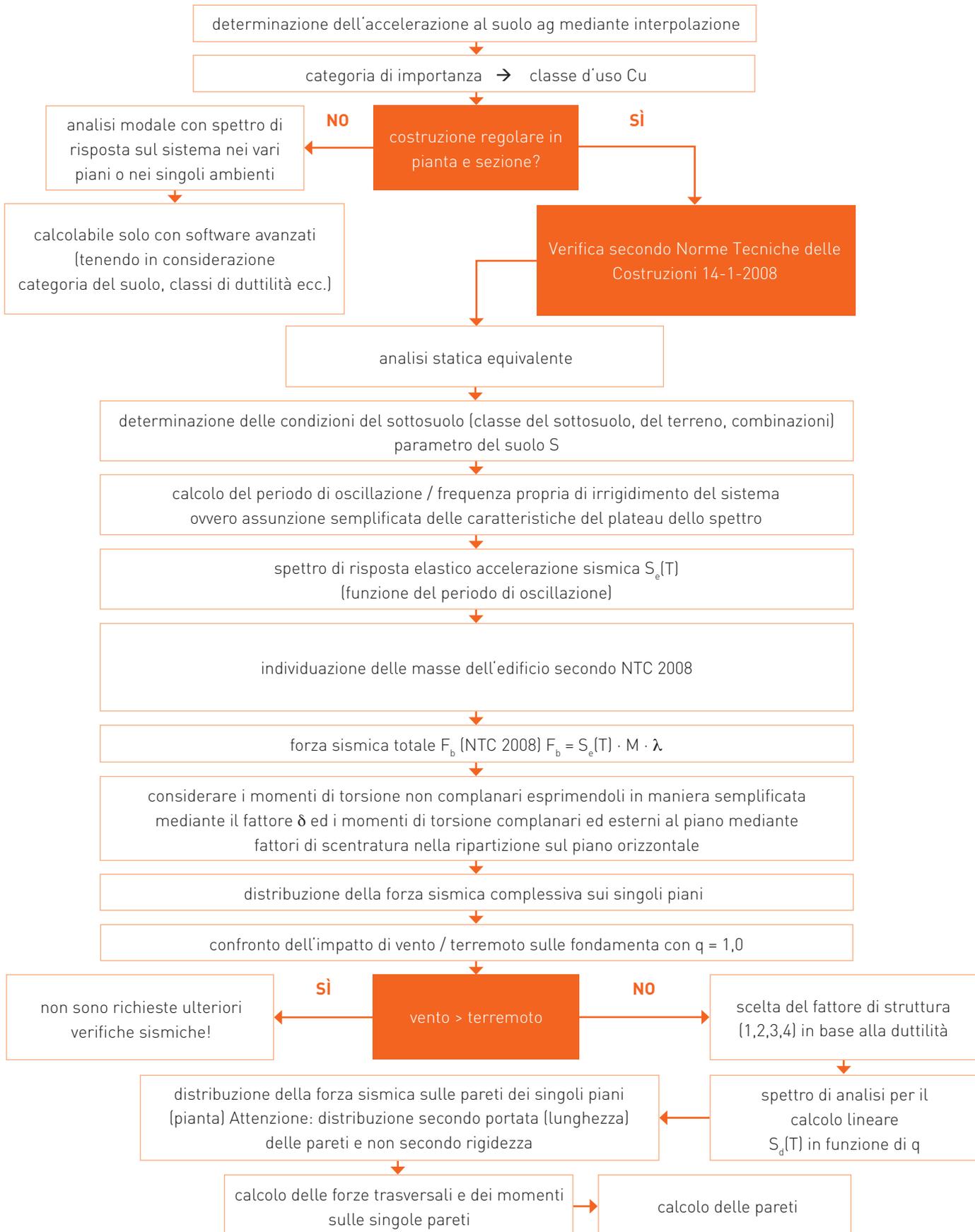
Luogo / Anno	magnitudo	intensità
D Albstadt (1978)	5,7	VII-VIII
J Kobe (1995)	6,8	X-XI
MNE Petrovac (1979)	6,9	VIII-IX



Test allo Shake Table. Le graffe fuoriescono dopo esser state sottoposte a Petrovac.

# Diagramma di flusso

Per il corretto dimensionamento di edifici in zone a rischio sismico.



# Spiegazione del diagramma

Nel diagramma di flusso a pag. 10 è illustrato il modo di procedere per effettuare l'analisi corretta degli edifici in zone sismiche.

I singoli passaggi sono evidenziati in maniera comprensibile, riferendosi direttamente alle sezioni indicate nella NTC 2008.

In Germania se si volesse effettuare un calcolo equivalente a quello riportato nel diagramma, le norme vigenti che si dovrebbero tenere in considerazione sono la DIN 1052:2004-08 e la DIN 1055-100. In Italia, più semplicemente, si sono raccolte tutte le disposizioni in un testo unico.

Fermacell intende offrire un esempio pratico di calcolo considerando un edificio a 3 piani realizzato in legno con pannelli intelaiati irrigiditi da lastre in gessofibra FERMACELL (edificio a normale affollamento / Classe d'Uso Cu=1,0) nella zona sismica 2.



**Un ringraziamento particolare per i contributi alla brochure va alla Società di Ingegneria a r.l. di Aquisgrana (Ingenieurgesellschaft mbH, Aachen) guidata dal Dipl.-Ing. Burkhard Walter, e allo Studio Ergodomus di Pergine -TN, nella persona dell' Ing. Franco Piva.**

## Crediti

Questa brochure sulla sismica è stata realizzata in collaborazione con:

- Dipl.-Ing. Burkhard Walter, Ingenieurgesellschaft mbH, Aquisgrana
- Istituto per la verifica dei materiali MPA Stoccarda, Otto-Graf-Institut FMPA Università di Stoccarda
- Fondi per la vendita del legno, fondi per la promozione delle vendite dell'economia forestale tedesca e di lavorazione del legno, Bonn
- GFZ Centro geologico di ricerca Potsdam, fondazione di diritto privato
- Istituto statale di scienze geologiche e materie prime (BGR), Hannover
- Ing. Franco Piva, Studio Ergodomus di Pergine Valsugana -TN

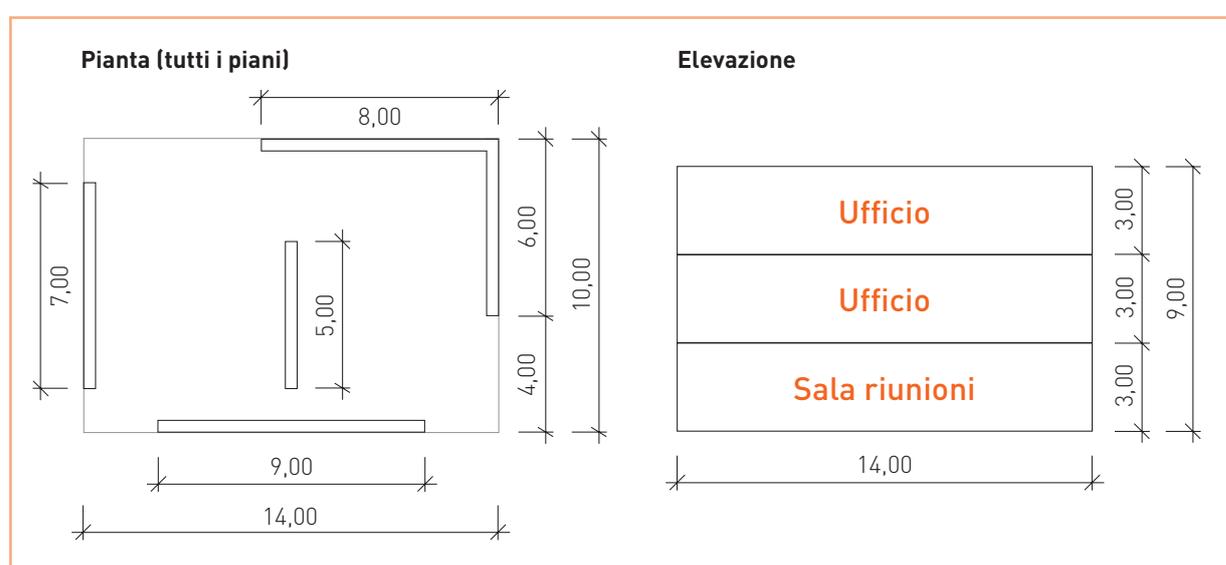
# Esempio di calcolo: edificio a 3 piani realizzato in legno con pannelli intelaiati

## Tipo di edificio e posizione

### Descrizione dell'edificio

Si tratta di un edificio di normale affollamento a 3 piani costruito con pareti in legno costituite da pannelli intelaiati. Tale edificio si trova a Firenze nella zona sismica 2 (secondo la zonizzazione del 2005), con coordinate 43,7872 N - 11,2497 E, categoria topografica T1, categoria di sottosuolo C. L'irrigidimento dell'edificio avviene mediante pareti di taglio, rivestite da ambo i lati da lastre in gessofibra FERMACELL da 15 mm (sec. Z-9.1-434).

### Schema



Tipo di costruzione: pareti costituite da pannelli intelaiati, 3 piani

### Classificazione sismica - Località: Firenze [Lat:43,7872 N - Long: 11,2497 E]

Accelerazione del suolo normalizzata rispetto a  $g$ , nel caso SLV (stato limite di salvaguardia vita) con probabilità di superamento al 10% TR= 475 anni.

$a_g = 1,286 \text{ m/s}^2$   
 $a_{g,*} = 0,131 \text{ m/s}^2$  interpolazione Tab.1 All. B NTC 2008

Utilizzo: edificio di normale affollamento - Classe d'Uso II - Vita nominale > 50 anni

Classe d'uso  $C_U = 1,0$

$V_R = V_N \cdot C_U = 50$   
 $\cdot 1,0 = 50$  NTC '08 2.4.2 - 2.4.3

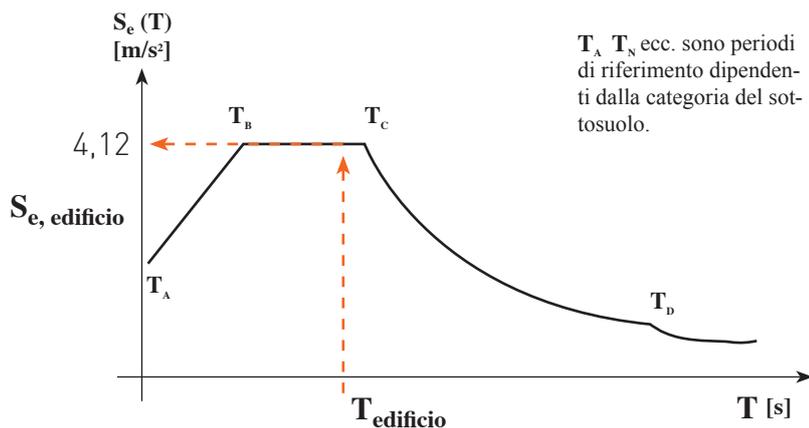
Categoria di sottosuolo C  $S_S = 1,33$  NTC '08 - TAB. 3.2.II - TAB. 3.2.V  
 $S = S_S \cdot S_T = 1,33 \cdot 1,0 = 1,33$

Categoria Topografica T1  $S_T = 1,0$  NTC '08 - TAB. 3.2.IV - TAB. 3.2.VI

### Fattori

Fattore correttivo di smorzamento  $\eta = 1,0$  NTC '08 - 3.2.3.2.1

Fattore di amplificazione  $F_0 = 2,409$  interpolazione Tab.1 All. B NTC 2008



per  $T_B \leq T \leq T_C$   $S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$  NTC 2008 § 3.2.3.2.1

utilizzando i valori indicati in precedenza si ottiene:

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$= 1,286 \cdot 1,33 \cdot 1,00 \cdot 2,409$$

$$= 4,12 \text{ m/s}^2$$

### Spettro di risposta elastico

L'accelerazione sismica dipende dal periodo proprio di oscillazione degli elementi costruttivi di irrigidimento. L'edificio possiede un'elevata rigidità orizzontale. Perciò a favore di sicurezza viene calcolata l'accelerazione sismica per il **plateau orizzontale** più esteso possibile (massima accelerazione possibile).

**Avvertenza: per un calcolo più preciso del periodo di oscillazione procedere con calcolo dinamico**

### Spettro di analisi per il calcolo lineare

$$S_d(T) = S_e(T)/q$$

(dal periodo di oscillazione T- NTC 2008 § 3.2.3.5)

Secondo la DIN 4149 § 10.1 (2), tutte le costruzioni in legno rientrerebbero almeno nella classe di duttilità 1 e, a seconda della capacità di dissipazione dei sistemi di irrigidimento, si potrebbe arrivare anche in classe 2 o 3 (rispettivamente  $q = 2,5$  o  $4,0$ ). Pertanto, in maniera conservativa, l'edificio in esame è stato classificato nella classe di duttilità minima 1. Questo comporta che le forze determinate dal calcolo sismico possono essere diminuite di un fattore di struttura specifico costruttivo e funzione del tipo di costruzione pari a  $q = 1,5$  (DIN 4149 § 10.2 (4)).

In questo modo si ottiene l'accelerazione sismica per il plateau orizzontale ridotta dal fattore di struttura

$$S_d(T) = S_e(T)/q$$

$$= 4,12/1,5$$

$$= 2,75 \text{ m/s}^2$$

### Determinazione delle masse

La determinazione delle masse avviene secondo quanto previsto dalla NTC 2008 § 2.5.3 per la situazione di calcolo di un evento sismico, tenendo in considerazione i coefficienti di combinazione  $\psi_{2i}$  [NTC 2008 TAB 2.5.1]

$$M = (\sum G_{kj} \oplus \sum \Psi_{2i} \times Q_{ki})$$

$\varphi = 1,0$  per carichi dinamici al piano più elevato  
 $\varphi =$  per carichi dinamici agli altri piani

#### Peso proprio

Copertura del tetto (manto di copertura, pacchetti isolanti e tavole parallele, controsoffitto)	$g_{k,DG} = 1,00 \text{ kN/m}^2$
Solai interpiano (massetto + pavimento, coibentazione, assito e travi, controsoffitto)	$g_{k,1} = 2,50 \text{ kN/m}^2$
Pareti per ciascun piano	$G_{k,pareti} = 100 \text{ kN}$

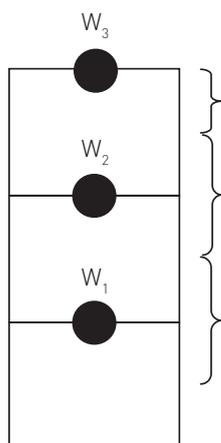
#### Carichi da neve

Zona di carico da neve III, tetto piano fattore di forma $\mu_1 = 0,8$ $q_{s_k} = 0,51 \cdot [1 + (\frac{720}{481})^2] = 1,65$ $q_s = \mu_1 \cdot q_{s_k} = 0,8 \cdot 1,65 = 1,32 \text{ kN/m}^2$ con $\psi_2 = 0,0$ per la neve a quota $h < 1000 \text{ m slm}$ secondo NTC 2008, Tab 2.5.1 $0,0 \cdot 1,32 = 0,00 \text{ kN/m}^2$ in caso di $h > 1000 \text{ m slm}$ $\psi_2 = 0,2$	$s_k^* = 0,00 \text{ kN/m}^2$
--	-------------------------------

#### Carichi accidentali

Categoria A (NTC 2008 Tab 3.1. II)	$q_k = 2,00 \text{ kN/m}^2$
Maggiorazione parete divisoria (NTC 2008 § 3.1.3.1)	$g_2 = 0,80 \text{ kN/m}^2$
con $\psi_2 = 0,3$ per uffici	$q_{k,2}^* = 0,3 \cdot 2,00 = 0,60 \text{ kN/m}^2$

### Masse sui vari piani



$$W_3 = [A_{ST} \cdot (g_{k,ST} + s_k^*) + 0,5 \cdot G_{k,pareti}]$$

$$= [14 \cdot 10 \cdot (1,00 + 0,0) + 0,5 \cdot 100]$$

$$= 190 \text{ kN}$$

$$W_2 = [A_{piano} \cdot (g_{k,1} + q_{k2}^*) + 2 \cdot G_{k,pareti} / 2]$$

$$= [14 \cdot 10 \cdot (2,50 + 0,4 + 0,60) + 2 \cdot 100 / 2]$$

$$= 590 \text{ kN}$$

$$W_1 = [A_{piano} \cdot (g_{k,1} + q_{k1}^*) + 2 \cdot G_{k,pareti} / 2]$$

$$= [14 \cdot 10 \cdot (2,50 + 0,40 + 0,60) + 2 \cdot G_{k,pareti} / 2]$$

$$= 590 \text{ kN}$$

### Massa totale

$$W = W_1 + W_2 + W_3$$

$$= 190 + 590 \cdot 2$$

$$= 1370,00 \text{ kN}$$

### Forza sismica totale

$$F_h = S_d(T_1) \cdot W \cdot \lambda / g$$

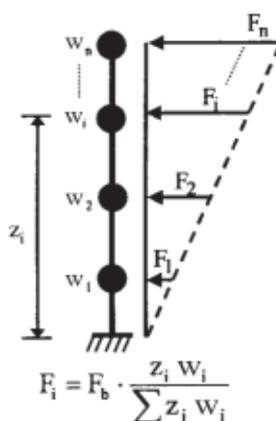
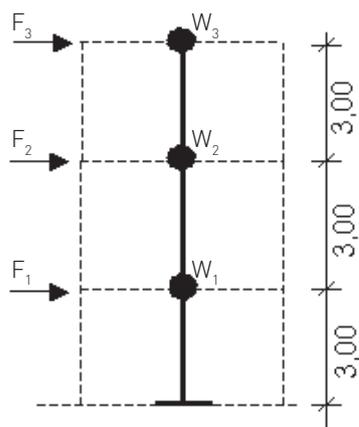
$$= 5,35 \cdot 1370,00 \cdot 0,85 / 9,81$$

$$= 326,07 \text{ kN}$$

con  $\lambda = 0,85$  sec. NTC 08 § 7.3.3.2  
per edifici con più di due piani e  
 $T_1 < 2T_C$  forza sismica totale alla  
base dell'edificio

### Distribuzione sui singoli piani

Semplificazione lineare in altezza (DIN 4149 § 6.6.6.3 (3))



$$F_i = F_h \cdot \frac{z_i \cdot w_i}{\sum z_j \cdot w_j}$$

$$\sum z_i \cdot w_i = 9,0 \times 190 + 6,0 \times 590 + 3,0 \times 590$$

$$= 7020,00 \text{ kNm}$$

$$F_3 = 326,07 \times \frac{9,0 \times 190}{7020}$$

$$= 79,43 \text{ kN}$$

$$F_2 = 326,07 \times \frac{6,0 \times 590}{7020}$$

$$= 164,43 \text{ kN}$$

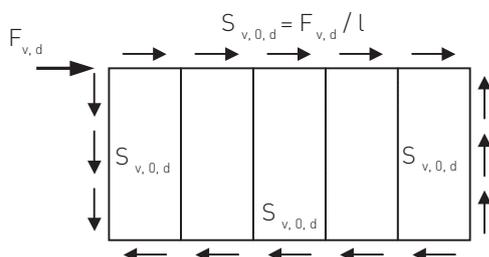
$$F_1 = 326,07 \times \frac{3,0 \times 590}{7020}$$

$$= 82,21 \text{ kN}$$

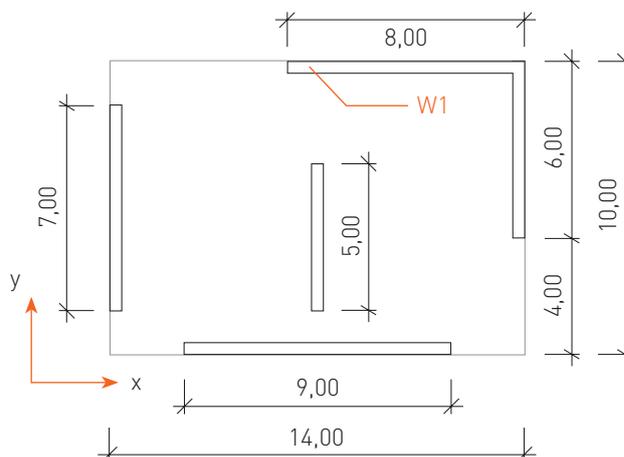
### Distribuzione sulle singole pareti

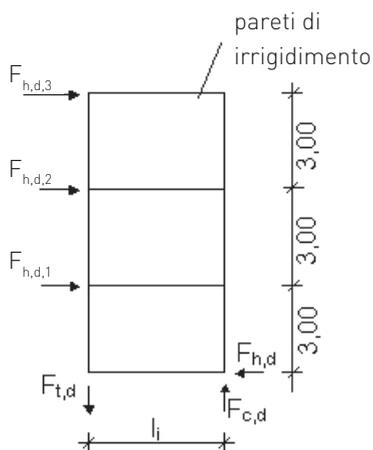
Distribuzione pro quota dei carichi orizzontali sulle singole pareti in pianta secondo la portata (lunghezza) e non secondo la rigidezza.

### Schema di principio: flusso di taglio



### Pianta (tutti i piani)





**Esempio per parete pos. W1** considerando il momento di torsione esterno al piano sec. NTC 08 § 7.3.3.2 (semplificato)

Fattore di torsione:

$$\delta \approx 1,0 + 0,6 \times \frac{5}{10} = 1,3$$

$$F_{h,d,3} = \delta \times F_3 \times \frac{l_i}{l_{x,TOT}} = 1,3 \times 79,43 \times \frac{8}{17}$$

$$= 1,3 \times 79,43 \times \frac{8}{17} = 48,59 \text{ kN}$$

$$F_{h,d,2} = 100,59 \text{ kN}$$

$$F_{h,d,1} = 50,3 \text{ kN}$$

■ Determinazione delle forze trasversali e dei momenti

■ Calcolo per la parete sec. DIN 1052:2004 § 8.7 e § 10.6

### Calcolo per parete pos. W1 (esempio)

flusso di taglio (parete a piano terra)

$$S_{v,0,d} = \frac{(F_{h,d,3} + F_{h,d,2} + F_{h,d,1})}{l_i}$$

$$S_{v,0,d} = \frac{(48,59 + 100,59 + 50,3)}{8}$$

$$= 24,93 \text{ kN/m}$$

**Scelta:** rivestimento in lastre Fermacell su ambo i lati di spessore 15 mm  
graffe 1,83 · 56 mm, interasse elementi collegamento  $a_v = 50 \text{ mm}$

**Valore di calcolo della resistenza al taglio riferita alla lunghezza: (k<sub>mod</sub> = 1,0)**

$$f_{v,0,d} = \min \begin{cases} 2 \cdot k_{v1} \cdot R_d / a_v & \text{(cedimento degli elementi di collegamento)} \\ 2 \cdot k_{v1} \cdot k_{v2} \cdot f_{v,d} \cdot t & \text{(danno al rivestimento dovuto a sforzi di taglio)} \\ 2 \cdot k_{v1} \cdot k_{v2} \cdot f_{v,d} \cdot 35 \cdot t^2 / a_r & \text{(inclinazione del rivestimento dovuto a sforzi di taglio)} \end{cases}$$

$$f_{v,0,d} = \min \begin{cases} 2 \cdot 1,0 \cdot 677,55 / 50 & = 27,1 \text{ N/mm} \\ 2 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 2,69 \cdot 15 & = 40,4 \text{ N/mm} \\ 2 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 2,69 \cdot 35 \cdot 15^2 / 625 & = 33,9 \text{ N/mm} \end{cases}$$

Gli elementi di collegamento sono quindi determinanti!

Verifica:

$$\frac{S_{v,0,d}}{f_{v,0,d}} = \frac{24,93}{27,1} = 0,92 \leq 1,0$$

Forza di trazione sulla soletta di fondazione:

$$F_{t,d} = (9,0 \cdot 48,59 + 6,0 \cdot 100,59 + 3,0 \cdot 50,3) \cdot 1 / 8 = 148,97 \text{ kN}$$

I carichi verticali non vengono presi in considerazione in questo esempio!

La verifica del fissaggio della parete nella soletta di fondazione ed ulteriori verifiche necessarie come ad esempio l'ancoraggio della parete con la fondazione, eventuali inclinazione e compressione con rigonfiamento non vengono tenute in conto in questo esempio.

Eventuali zavorre che potrebbero ridurre la forza di trazione non vengono considerate.

# fermacell

**FERMACELL S.r.l.**

Ufficio Commerciale Italia  
Via Vespucci, 47  
24050 - Grassobbio (Bg)

Tel. 035.4522448  
Fax 035.3843941  
[www.fermacell.it](http://www.fermacell.it)

Con riserva di modifiche tecniche senza preavviso. Edizione 11/2009.  
FERMACELL è un marchio registrato del gruppo Xella.

[www.fermacell.it](http://www.fermacell.it)