

Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri "Floriani" di Riva del Garda (TN)

**SAN MICHELE ALL'ADIGE**  
**22 Ottobre 2008**



Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri "Floriani" di Riva del Garda (TN)

**OBBIETTIVI**

DETERMINARE PER L'EDIFICIO OGGETTO DI ANALISI DUE VALORI DI ACCELERAZIONE AL SUOLO  
"SOPPORTABILI" DALLA STRUTTURA":

•PGA-DS (ACCELERAZIONE AL SUOLO PER LO STATO LIMITE DI DANNO SEVERO)

*Probabilità di superamento non maggiore del 10 % in 50 anni*

(LA STRUTTURA PRESENTA DANNI IMPORTANTI CON SIGNIFICATIVE RIDUZIONI DI RESISTENZA E RIGIDEZZA LATERALI E DEFORMAZIONI RESIDUE. LA RIPARAZIONE DELL'EDIFICIO RISULTA IN GENERE ECONOMICAMENTE NON CONVENIENTE).

•PGA-DL (ACCELERAZIONE AL SUOLO PER LO STATO LIMITE DI DANNO LIMITATO)

*Probabilità di superamento non maggiore del 50 % in 50 anni*

(DANNI ALLA STRUTTURA LIMITATI SENZA SIGNIFICATIVE ESCURSIONI IN CAMPO PLASTICO. ELEMENTI NON STRUTTURALI PRESENTANO FESSURAZIONI DIFFUSE RIPARABILI CON UN MODESTO IMPEGNO ECONOMICO)

**PERCORSO**

## FASE 1

- ANALISI STORICO-DESCRITTIVA
- RILIEVO GEOMETRICO
- DETTAGLI COSTRUTTIVI
- PROVE SUI MATERIALI

## FASE 2

- MODELLAZIONE STRUTTURALE
- METODO DI ANALISI
- VALUTAZIONE RISULTATI

Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri "Floriani" di Riva del Garda (TN)

**ANALISI STORICA EDIFICIO**



- L'edificio è un ex caserma di costruzione austro – ungarica realizzata con muratura portante in pietra, solai in legno ed a volterrane e copertura in legno
- L'edificio è stato utilizzato fino alla metà degli anni settanta come caserma.
- Nel 1975 viene approvato il progetto di trasformazione delle ex caserme Damiano Chiesa di Riva del Garda a nuova sede dell'Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri.
- Nel 1998 viene approvato un progetto teso all'adeguamento dell'esistente alle norme vigenti nel campo della prevenzione incendi negli edifici scolastici (decreto 26.08.1992) e del superamento delle barriere architettoniche (D.P.R. 24.06.1996) e viene realizzato il rinforzo strutturale dei solai

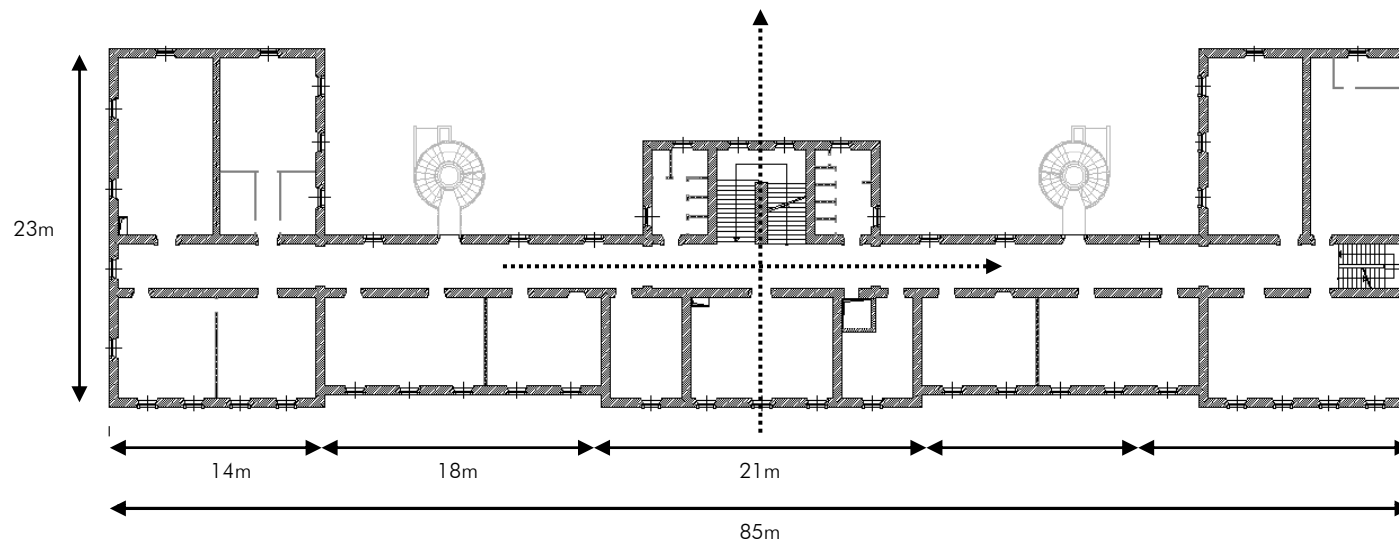


Legatura dei solai alle murature perimetrali

Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri "Floriani" di Riva del Garda (TN)

**CARATTERISTICHE GEOMETRICHE**

- L'edificio si caratterizza morfologicamente per la presenza di un corpo centrale che attraverso due ali si collega a due corpi laterali.
- L'immobile si sviluppa su quattro piani fuori terra più sottotetto non abitabile
- La struttura presenta una distribuzione in pianta che si ripropone con regolarità sui diversi livelli e con setti di spessore omogeneo piano per piano.
- In particolare la muratura presente dal piano fondazioni fino all'imposta del primo solaio ha spessore "finito" pari a 75 cm, quella presente sui due piani successivi presentano spessore di 58 cm e infine la muratura presente sull'ultimo piano dell'edificio e fino alla copertura ha uno spessore finito pari a 50 cm.
- I solai di piano sono stati oggetti di interventi di consolidamento in periodi diversi (il solaio di copertura è in questo periodo oggetto di un intervento di consolidamento), e sono stati considerati come piani rigidi per la distribuzione delle azioni sismiche orizzontali.





Decreto 21 Ottobre 2003

Disposizione attuative dell'art. 2 commi 2,3 e 4, dell'Ord. 3274 del 20 Marzo 2003

### I LIVELLI DI ACQUISIZIONE DATI E VERIFICA

#### LIVELLO L1:

- A. Livello di conoscenza limitato LC1
- B. Determinazione della categoria di suolo sulla base di studi esistenti o delle carte geologiche disponibili
- C. Edifici definiti "regolari" cui NON siano attribuite categorie di suolo S1 o S2
- D. NON realizzati in prossimità di creste o dirupi
- E. E' consentita l'analisi statica lineare

#### LIVELLO L2:

- A. Livello di conoscenza approfondito (LC2 o LC3)
- B. Determinazione della categoria di suolo tramite prove in sito
- C. In generale è richiesta l'analisi statica non lineare

Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri "Floriani" di Riva del Garda (TN)

**CONSIDERAZIONI PRELIMINARI**

L'edificio scolastico  
**NON**  
può essere considerato regolare  
perché **NON** presenta in pianta una configurazione compatta



Livello acquisizione dati e verifica richiesto L2

- **Regolarità in pianta**
- La struttura dell'edificio presenta una sostanziale doppia simmetria ortogonale nei confronti sia delle rigidezze che delle masse.
- La forma in pianta è di tipo "compatto", ossia priva di ali che si estendano notevolmente a partire dal nucleo centrale (come ad es. forme ad H, I, L, X, ecc.). Le dimensioni di eventuali rientranze lungo il perimetro dell'edificio non superano il 25% della lunghezza del lato corrispondente.
- I solai sono sufficientemente rigidi rispetto alle strutture verticali, in modo da fungere da diaframmi indeformabili nel loro piano.
- Sotto l'azione di un sistema di forze orizzontali, proporzionali alle masse dei piani, lo spostamento massimo a ciascun piano non supera di più del 20% lo spostamento medio di quel piano.
- **Regolarità in elevazione**
- Tutti gli elementi verticali che presentano resistenza significativa all'azione sismica (telai, pareti e nuclei), si estendono senza interruzione dalla fondazione fino alla sommità della parte di edificio interessata.
- Rigidezza e massa si mantengono costanti o si riducono gradualmente procedendo dal basso verso l'alto.
- Negli edifici a telaio, il rapporto tra la resistenza di colonne e pareti ad un certo piano effettivamente conseguita e la resistenza richiesta dal calcolo si mantiene approssimativamente costante per tutti i piani.
- Un comportamento non regolare può essere indotto dalla presenza di pannelli, in muratura o di altro materiale, inseriti tra le maglie dei telai in modo non simmetrico in pianta e/o in elevazione.



**CRITERI DI VERIFICA**

O.P.C.M 3431 § 11.5.1

La capacità degli elementi viene valutata utilizzando i valori medi delle proprietà dei materiali, come ottenuti dalle prove in sito e da eventuali informazioni aggiuntive, divisi per il fattore di confidenza in relazione al livello di conoscenza raggiunto.

O.P.C.M 3431 § 11.5.3

La tabella 11.5.1 sotto riportata cataloga i livelli di conoscenza e i valori del fattore di confidenza per edifici in muratura in funzione dell'informazione disponibile e conseguente metodi di analisi ammessi.

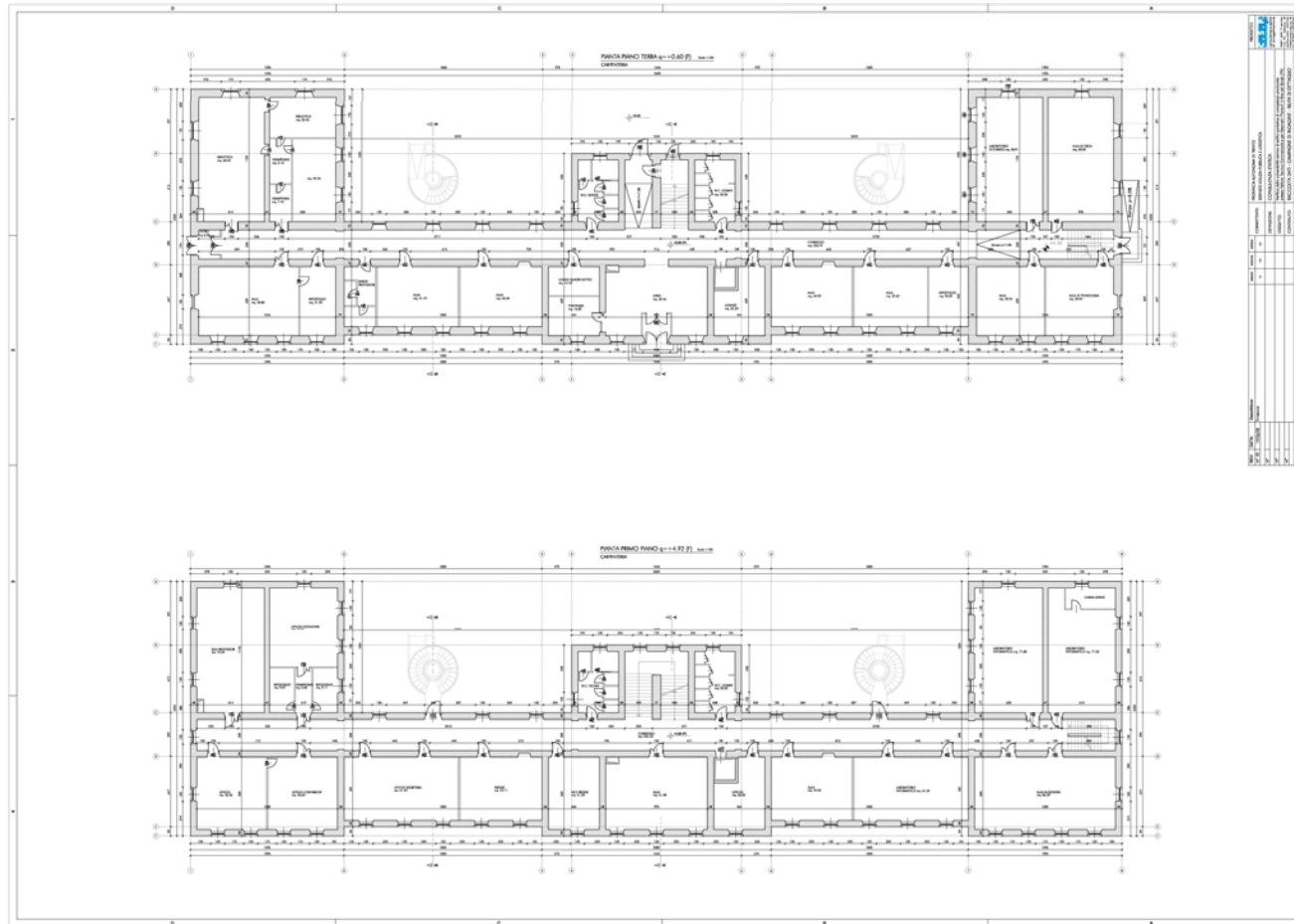
Livello di Conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Rilievo strutturale	Limitate verifiche in-situ	Limitate indagini in-situ	Tutti	1.35
LC2		Estese ed esaustive verifiche in-situ	Estese indagini in-situ	Tutti	1.20
LC3			Esaustive indagini in-situ	Tutti	1.00

*il livello di conoscenza LC2* si intende raggiunto quando è stato realizzato il rilievo strutturale dell'edificio, sono state effettuate verifiche in situ estese ed esaustive sui dettagli costruttivi ed indagini in situ estese sulle proprietà dei materiali.

LIVELLI DI CONOSCENZA

O.P.C.M 3431 § 11.5.2.1

**IL RILIEVO GEOMETRICO**

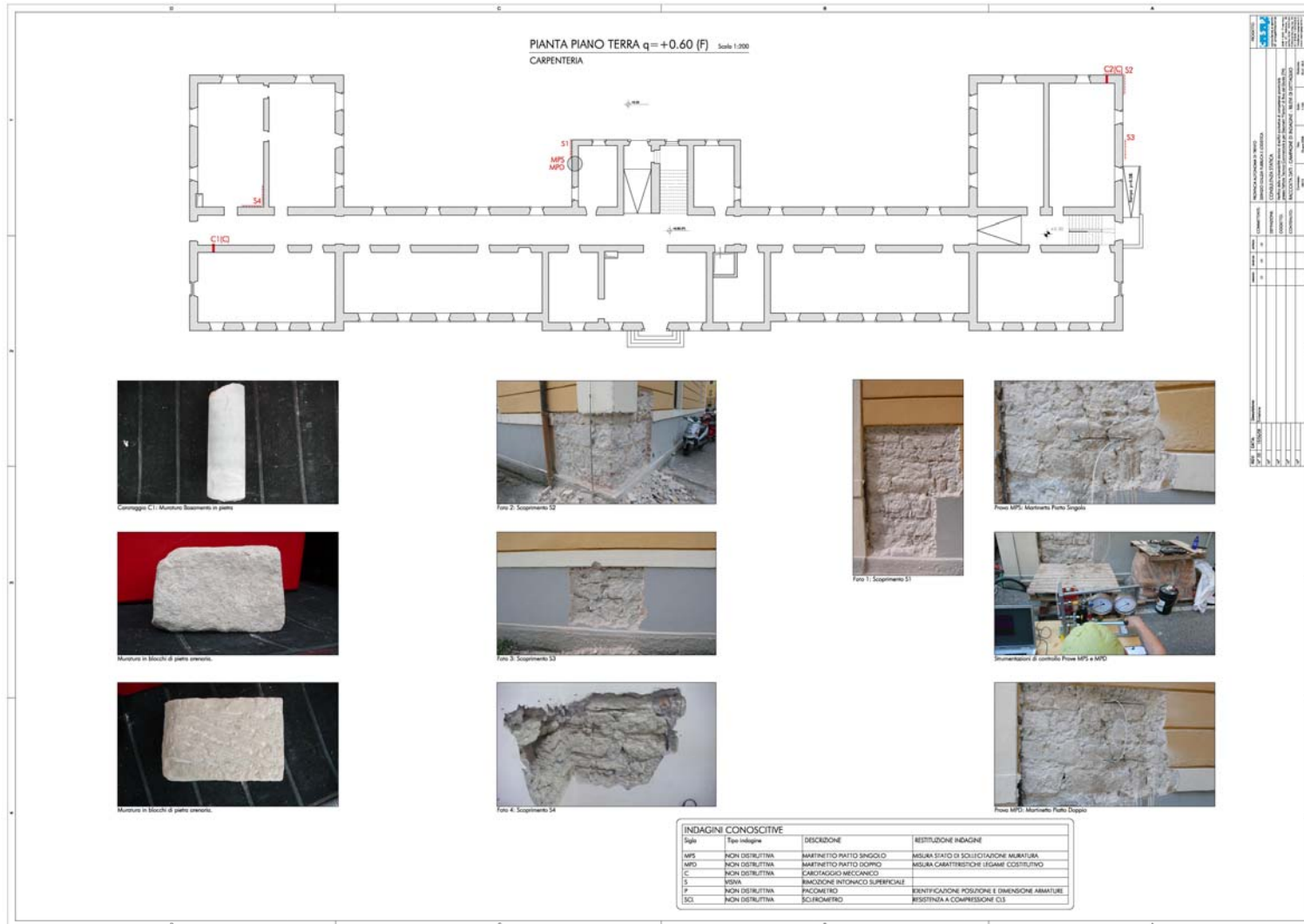


- Conoscenza geometria strutturale attraverso operazioni di rilievo
- Rilievo piano per piano di tutti gli elementi in muratura (nicchie, scale, cavità ...)
- I risultati del rilievo sono stati sintetizzati in elaborati grafici utilizzati nella fase 2 per la realizzazione del modello tridimensionale.

Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri "Floriani" di Riva del Garda (TN)

O.P.C.M 3431 § 11.5.2.2

DETTAGLI COSTRUTTIVI



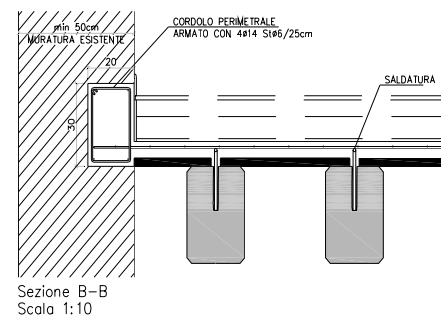
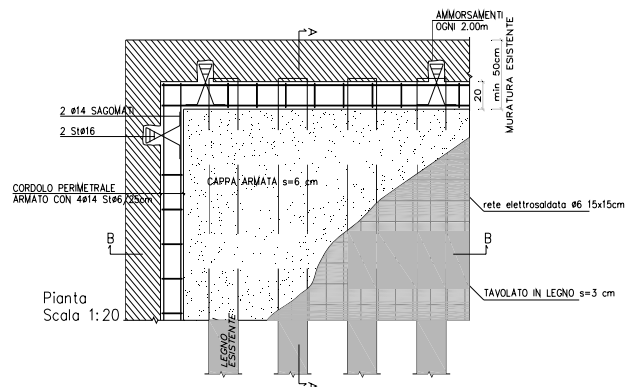
O.P.C.M 3431 § 11.5.2.2

Qualità del collegamento tra pareti verticali



Qualità del collegamento tra orizzontamento e pareti ed eventuale presenza di cordoli di piano o altri dispositivi di collegamento

Esistenza di architravi strutturalmente efficienti al di sopra delle aperture



Documentazione progettuale e di collaudo statico relativo agli interventi di adeguamento funzionale dell'edificio (1988)

Tipologia della muratura e sue caratteristiche costruttive



Scoprimonto esterno

La malta si presenta in discrete condizioni.  
I blocchi di pietra tenera (arenaria) si presentano come un materiale con scarse qualità prestazionali tanto da poter essere scalfito con un piccolo punteruolo



Scoprimonto interno

Gli scoprimonti interni hanno evidenziato la presenza di blocchi di forma irregolare



Blocco muratura



Scoprimonto esterno

Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri "Floriani" di Riva del Garda (TN)

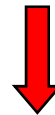
**DETTAGLI COSTRUTTIVI - 3**

L'analisi dei dettagli costruttivi dell'edificio è stata confermata dalla documentazione fotografica risalente all'anno 1975 (primo intervento di risanamento della struttura).



**DETTAGLI COSTRUTTIVI - 4**

Le indagini eseguite in sito hanno permesso di classificare il grado di conoscenza dei dettagli costruttivi come:



VERIFICHE IN SITO ESTESE ED ESAUSTIVE

*sono basate su rilievi di tipo visivo, effettuati ricorrendo, di regola, a saggi nella muratura che consentano di esaminare le caratteristiche sia in superficie che nello spessore murario, e di ammorsamento tra muri ortogonali e dei solai nelle pareti*



O.P.C.M 3431 § 11.5.2.3

Prova con Martinetto Piatto Singolo



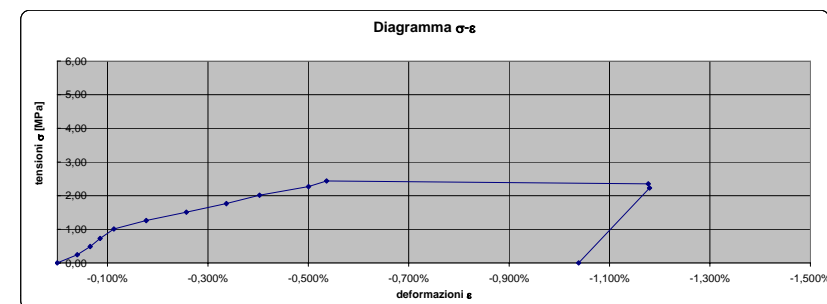
E' stato evidenziato uno stato tensionale sul setto murario pari a 0.459 MPa (4.59 bar). Risultato in linea con le previsioni teoriche di sollecitazione sulla muratura.

Prova con Martinetto Piatto Doppio



E' stata misurata una resistenza ultima a compressione pari a 2.44 MPa e una deformazione ultima superiore al 1.1%. Il tratto iniziale del diagramma ha evidenziato per il materiale un comportamento elastico con modulo tangente pari a circa 900 MPa. Nel range di deformazioni compreso tra circa 0.11% e 0.53% il grafico evidenzia un secondo tratto incoerente con modulo tangente pari a circa 350 MPa.

ESAME VISIVO DELLA SUPERFICIE MURARIA A SEGUITO DELLA RIMOZIONE DI UNA ZONA DI INTONACO



**PROPRIETA' DEI MATERIALI - 2**

Le indagini eseguite in sito hanno permesso di classificare il grado di conoscenza delle proprietà dei materiali come:



**INDAGINI IN SITO ESTESE**

*sono basate su esami di tipo visivo della superficie muraria effettuate in maniera estesa e sistematica con saggi superficiali ed interni. Prove con martinetto piatto doppio sono richieste per verificare la corrispondenza della muratura alle tipologie definite nella tabella 11.D.1 dell'allegato 11.D.*

Tipologia di muratura	$f_m$ (N/cm <sup>2</sup> ) min-max	$\tau_0$ (N/cm <sup>2</sup> ) min-max	E (N/mm <sup>2</sup> ) min-max	G (N/mm <sup>2</sup> ) min-max	w (kN/m <sup>3</sup> ) min-max
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	60 90	2,0 3,2	690 1050	115 175	19
Muratura a conci sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	110 155	3,5 5,1	1020 1440	170 240	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	150 200	5,6 7,4	1500 1980	250 330	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	80 120	2,8 4,2	900 1260	150 210	16
Muratura a blocchi lapidei squadriati	300 400	7,8 9,8	2340 2820	390 470	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	180 280	6,0 9,2	1800 2400	300 400	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI)	380 500	24 32	2800 3600	560 720	15
Muratura in blocchi laterizi forati (perc. foratura < 45%)	460 600	30,0 40,0	3400 4400	680 880	12
Muratura in blocchi laterizi forati, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2580 3300	430 550	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	2200 2800	440 560	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni	300 440	18,0 24,0	2700 3500	540 700	14

Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri "Floriani" di Riva del Garda (TN)

LIVELLI DI CONOSCENZA

- ✓ RILIEVO STRUTTURALE
- ✓ ESTESE ED ESAUSTIVE VERIFICHE IN SITO
- ✓ ESTESE INDAGINI IN SITO



Livello di Conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1	Rilievo strutturale	Limitate verifiche in-situ	Limitate indagini in-situ	Tutti	1.35
LC2		Estese ed esaustive verifiche in-situ	Estese indagini in-situ	Tutti	1.20
LC3			Esaustive indagini in-situ	Tutti	1.00



- LIVELLO DI CONOSCENZA RAGGIUNTO LC2
- FATTORE DI CONFIDENZA PER LE PROPRIETA' DEI MATERIALI PARI A 1,20



La normativa prevede di assumere come parametri di resistenza i valori ottenuti dalla media degli intervalli riportati in tabella 11.D.1 dell'Allegato 11.D e come modulo elastico la media dei valori riportati nella tabella suddetta.

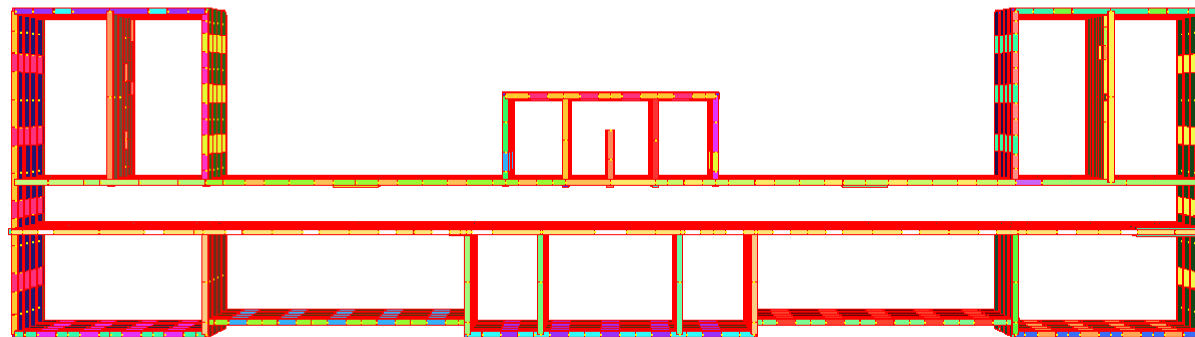
Tipologia di muratura	$f_m$ (N/cm <sup>2</sup> ) min-max	$\tau_0$ (N/cm <sup>2</sup> ) min-max	E (N/mm <sup>2</sup> ) min-max	G (N/mm <sup>2</sup> ) min-max	w (kN/m <sup>3</sup> ) min-max
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	100	3,5	1080	180	16

Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri "Floriani" di Riva del Garda (TN)

**MODELLAZIONE STRUTTURALE**

Il modello strutturale dell'edificio scolastico è stato realizzato partendo dai dati rilevati durante la prima fase del lavoro.

- Elementi beam per maschi murari
- Elementi tipo beam per le travi cordolo (architravi porte e finestre)
- Elementi tipo rigid-link per simulare il comportamento rigido dei nodi tra maschio murario e trave cordolo
- Elementi tipo rigid-link nel piano orizzontale per caratterizzare il comportamento a piano rigido dei solai



## GEOMETRIA

n° elementi tipo beam: 2084

di cui

421 elementi per modellare i maschi murari

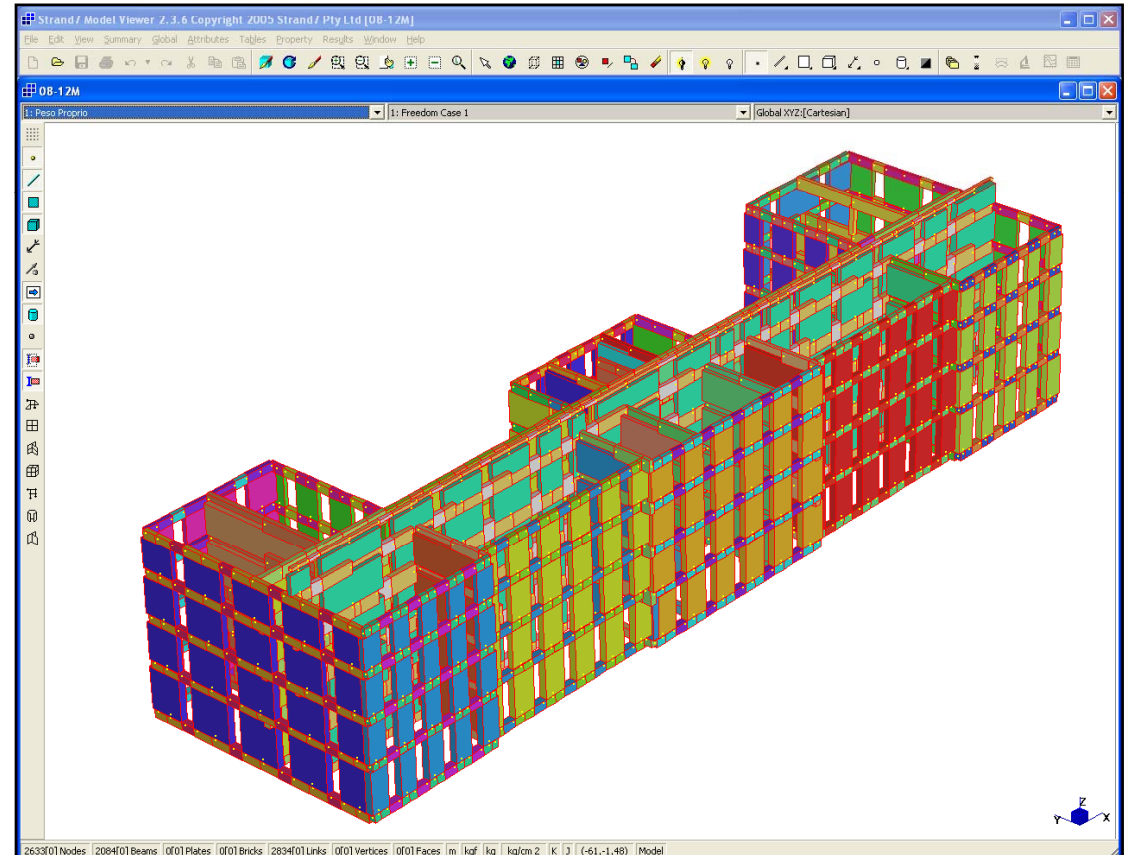
Suddivisi in 153 classi diverse di proprietà

n° elementi tipo rigid link: 2834

di cui

559 simulare il comportamento a piano rigido dei solai

2275 per modellare la connessione rigida tra le travi di parete e i maschi murari

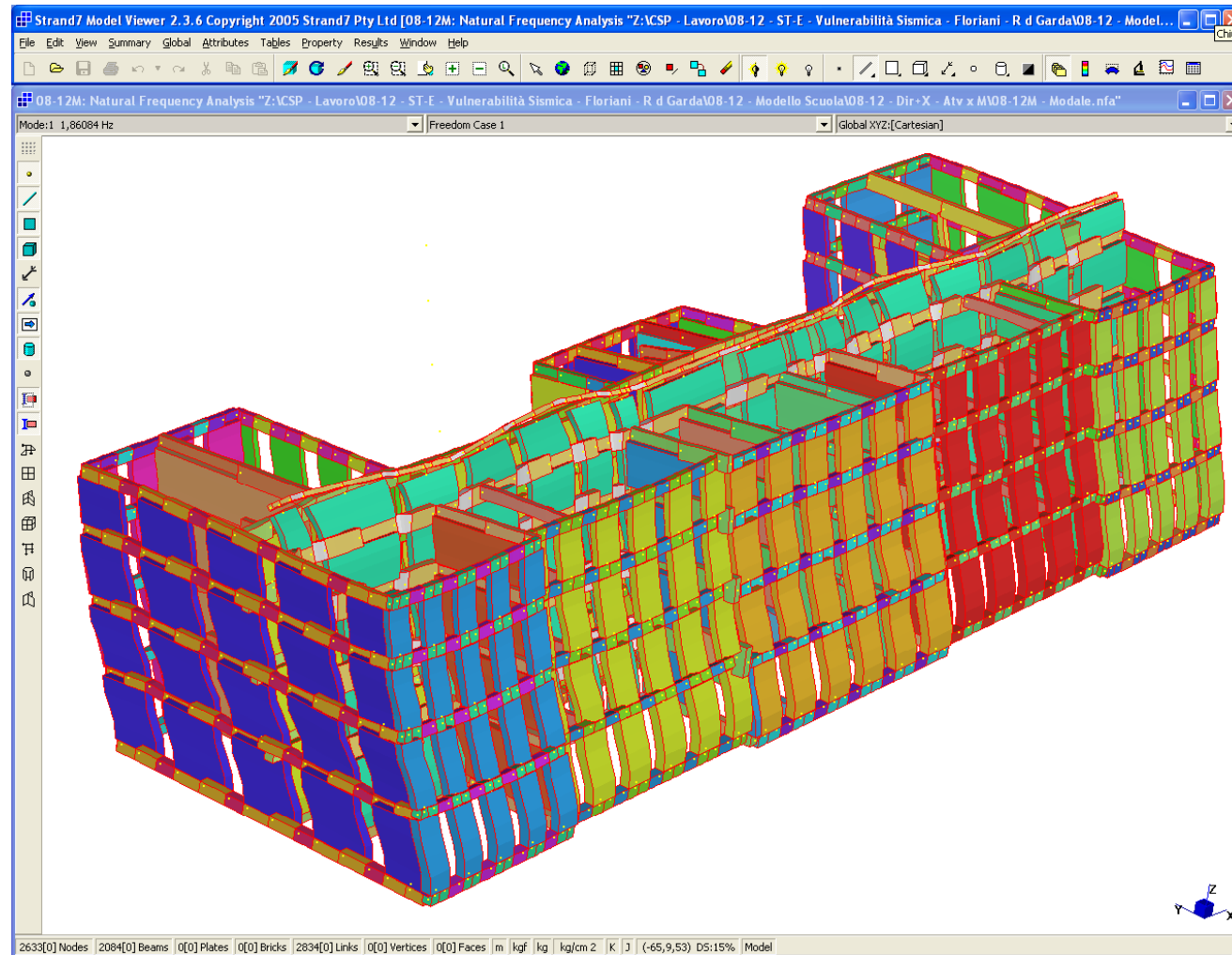


**PROCESSO DI ANALISI**

- APPLICAZIONE CARICHI GRAVITAZIONALI
- DETERMINAZIONE DELLA SOLUZIONE STATICA
- ANALISI DINAMICA MODALE DELLA STRUTTURA
- INDIVIDUAZIONE DEI MODI DI VIBRARE PRINCIPALI NELLE DUE DIREZIONI
- APPLICAZIONE DELLE AZIONI ORIZZONTALI SECONDO NORMATIVA
- START-UP PROCEDIMENTO ITERATIVO DI ANALISI TIPO PUSH-OVER
- ESTRAPOLAZIONE CURVA DI CAPACITA' DELLA STRUTTURA
- RIDUZIONE CURVA DI CAPACITA' AD UN OSCILLATORE SEMPLICE
- DEFINIZIONE DELLA FORMA BILINEARE EQUIVALENTE
- CALCOLO DELLO SPETTRO DI RISPOSTA
- SOVRAPPOSIZIONE CON SPETTRO ELASTICO PER STATI LIMITE CONSIDERATI
- DETERMINAZIONE VALORI PGA-DL E PGA-DS

**MODI PROPRI DI VIBRARE - 1**

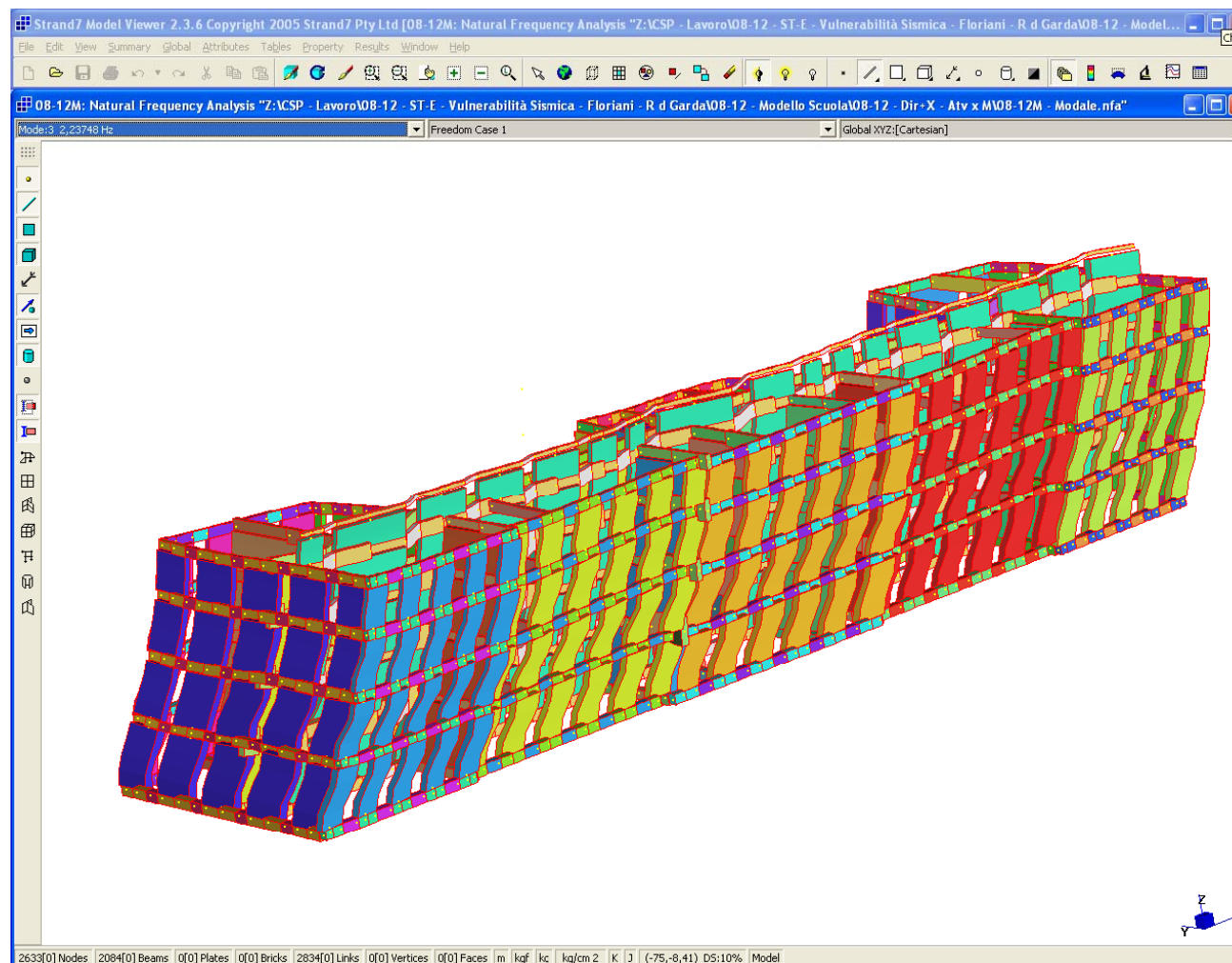
*DIREZIONE TRASVERSALE (Y)*



*Modo di vibrare 1: 1.861E+00 Hz*

**MODI PROPRI DI VIBRARE - 2**

*DIREZIONE LONGITUDINALE (X)*



*Modo di vibrare 3: 2.237E+00 Hz*



O.P.C.M 3431 § 4.5.4.2

Sono state applicate all'edificio nelle due direzioni principali X e Y **due diverse distribuzioni di forze orizzontali**:

- una distribuzione di forze proporzionale alle masse
- una distribuzione di forze proporzionali al prodotto delle masse per la deformata corrispondente al primo modo di vibrazione



L'analisi deve essere eseguita per entrambe le distribuzioni di forze considerando separatamente le due direzioni principali dell'edificio e per ciascuna di esse il verso positivo e negativo.



**8 analisi TIPO PUSH-OVER**

**PROCEDURA ITERATIVA -1**

La procedura risolutiva si articola secondo i passi seguenti:

1. Soluzione elastica lineare ai carichi gravitazionali ( $E_0$ )
2. Soluzione lineare per una prefissata distribuzione di forze orizzontali (valore unitario) ( $F_{hi}$ )
3. Sovrapposizione della due soluzioni elastiche  $E_i = E_{(i-1)} + \alpha_i \times F_{hi}$
4. Il moltiplicatore della soluzione alle forze orizzontali viene determinato come il valore minimo che porta a plasticizzazione il primo maschio murario (il calcolo del moltiplicatore è un problema non lineare in quanto le condizioni limite per i maschi murari dipendono dalla tensione normale sull'elemento che varia al variare del moltiplicatore stesso)

$$V_f = \frac{M_u}{h_0} = \frac{l^2 t \sigma_0}{2 h_0} \left( 1 - \frac{\sigma_0}{0,85 f_d} \right) \quad \text{Taglio limite per presso-flessione}$$

$$V_t = l \cdot t \frac{f_{td}}{\beta} \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{f_d}} \quad \text{Taglio limite per trazione}$$

l: larghezza del maschio murario

t: spessore del maschio murario

$\sigma_0 = N / (l t)$  : tensione media sull'intera sezione

$\beta$ : coefficiente correttivo  $1 < \beta = h/l < 1,5$

$f_d = f_m / FC$

$f_t = 1,50 \tau_0$

$f_{td} = 1,50 \tau_0 / FC$

**PROCEDURA ITERATIVA - 2**

5. Il singolo passo si conclude con l'individuazione del maschio murario che è giunto a plasticizzazione per il valore determinato del moltiplicatore dei carichi orizzontali.
6. Il modello strutturale viene aggiornato svincolando le estremità del maschio murario.
7. Il procedimento iterativo riprende dal punto 2. con la versione aggiornata del modello di calcolo. La procedura termina nel momento in cui il sistema si trasforma in un meccanismo.

Ad ogni passo successivo al primo è stata attivata una procedura di controllo degli spostamenti orizzontali per i maschi murari che hanno superato il limite elastico (0,40% h per raggiunto limite elastico a taglio e 0,60% h per pressoflessione)

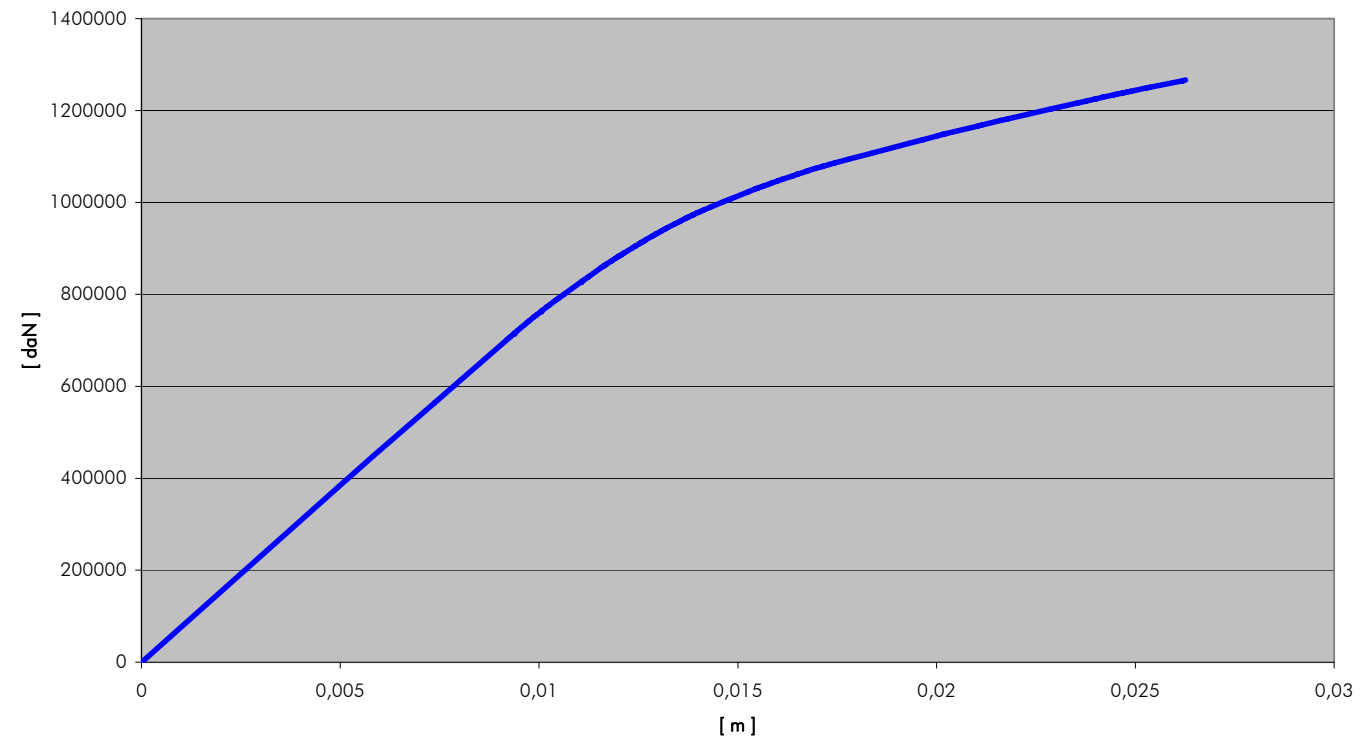
## CURVA DI CAPACITA' DELLA STRUTTURA - 1

### DIREZIONE LONGITUDINALE

Forze orizzontali proporzionale al prodotto delle masse per il primo modo di vibrare

- VIENE DEFINITO IL PUNTO DI CONTROLLO: BARICENTRO DELL'ULTIMO PIANO DELL'EDIFICIO (O.P.C.M. 3431 § 4.5.4.1)
- DETERMINAZIONE DI UN LEGAME FORZA-SPOSTAMENTO TRA LA RISULTANTE DELLE FORZE APPLICATE  $F_b$  ("taglio alla base") E LO SPOSTAMENTO  $d_c$  DEL PUNTO DI CONTROLLO

Legame TAGLIO ALLA BASE - SPOSTAMENTO PUNTO DI CONTROLLO

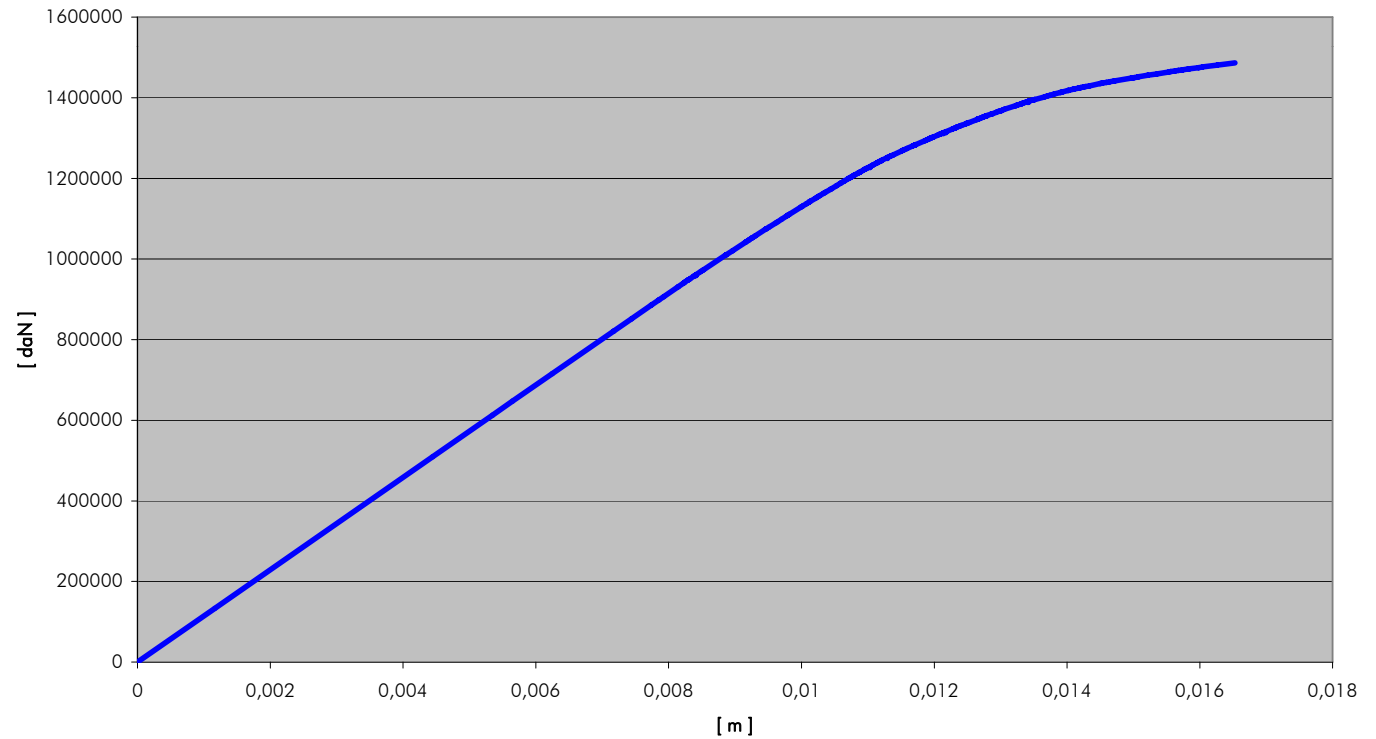


# CURVA DI CAPACITA' DELLA STRUTTURA - 2

## DIREZIONE TRASVERSALE

Forze orizzontali proporzionale al prodotto delle masse per il primo modo di vibrare

Legame TAGLIO ALLA BASE - SPOSTAMENTO PUNTO DI CONTROLLO



O.P.C.M 3431 § 4.5.4.3

$\Phi$  è il vettore rappresentativo del primo modo di vibrazione della struttura per la direzione considerata, normalizzato al valore unitario della componente relativa al punto di controllo

$\Gamma$  è il coefficiente di partecipazione 
$$\Gamma = \frac{\sum m_i \Phi_i}{\sum m_i \Phi_i^2}$$

$m^*$  è la massa equivalente dell'intero sistema 
$$m^* = \sum m_i \cdot \Phi_i$$

La forza  $F^*$  e lo spostamento  $d^*$  del sistema equivalente sono dati dalle seguenti formule:

$$F^* = F_b / \Gamma \qquad d^* = d_c / \Gamma$$

Nelle due direzioni proposte il valore di  $G$  è risultato pari a:

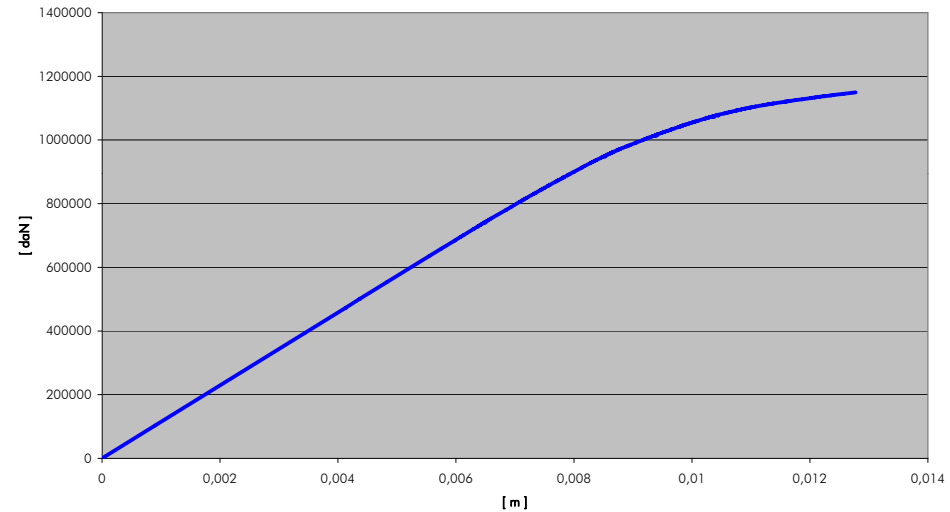
- Direzione Longitudinale:  $\Gamma = 1.294$
- Direzione Trasversale:  $\Gamma = 1.278$

**RIDUZIONE CURVA DI CAPACITA' DELLA  
STRUTTURA - 2**

**DIREZIONE  
LONGITUDINALE**

Forze orizzontali proporzionale  
al prodotto delle masse per il  
primo modo di vibrare

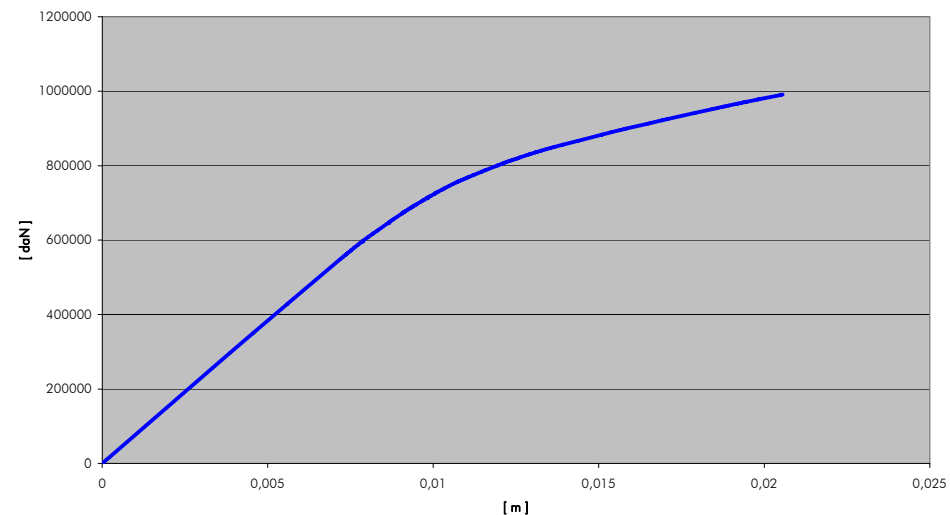
CURVA DI CAPACITA' DEL SISTEMA EQUIVALENTE



**DIREZIONE  
TRASVERSALE**

Forze orizzontali proporzionale  
al prodotto delle masse per il  
primo modo di vibrare

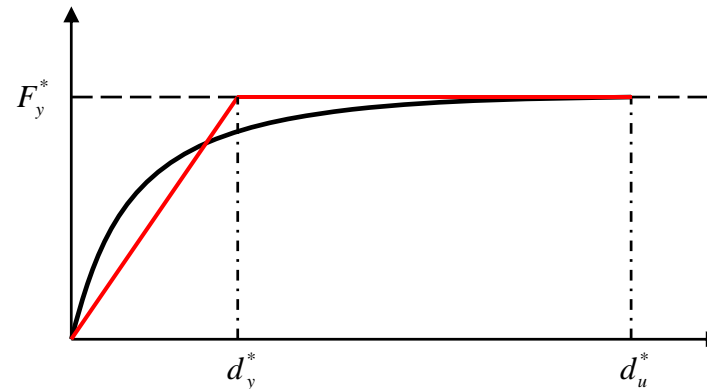
CURVA DI CAPACITA' DEL SISTEMA EQUIVALENTE



**DEFINIZIONE DELLA FORMA BILINEARE EQUIVALENTE - 1**

O.P.C.M 3431 § 4.5.4.3

La forma bilineare equivalente viene definita in base al criterio di uguaglianza delle aree (corrispondenza energetica)



$$F_y^* = F_{bu} / \Gamma$$

Resistenza massima dell'edificio

$$d_y^* = 2 \cdot \frac{F_y^* \cdot d_u^* - A^*}{F_y^*}$$

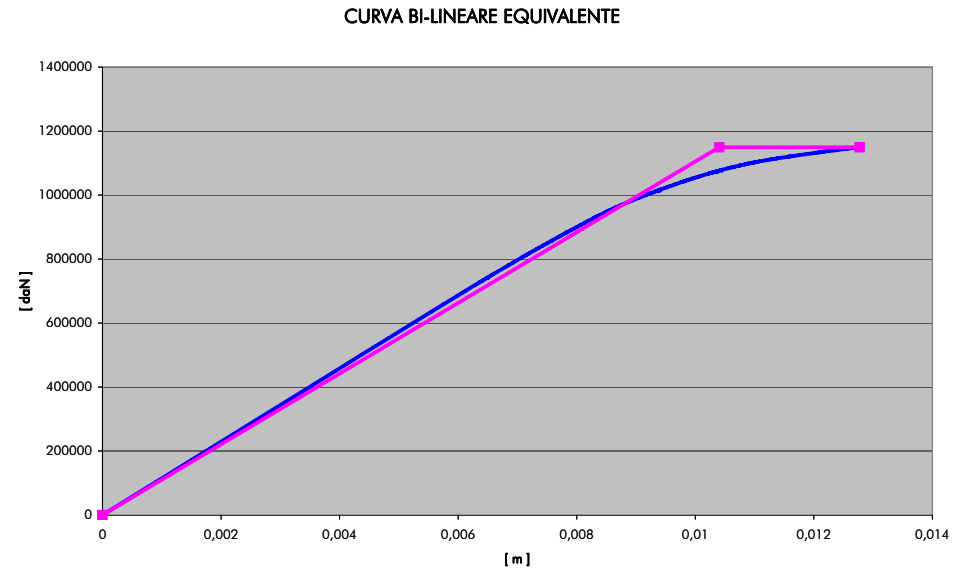
Spostamento al limite elastico



**DEFINIZIONE DELLA FORMA BILINEARE EQUIVALENTE - 2**

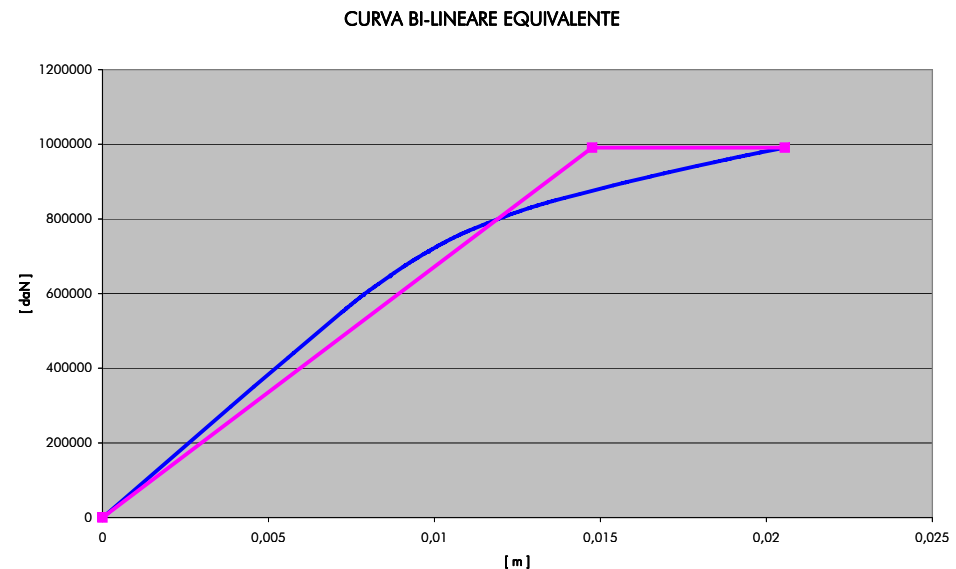
**DIREZIONE  
LONGITUDINALE**

Forze orizzontali proporzionale  
al prodotto delle masse per il  
primo modo di vibrare



**DIREZIONE  
TRASVERSALE**

Forze orizzontali proporzionale  
al prodotto delle masse per il  
primo modo di vibrare



Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri "Floriani" di Riva del Garda (TN)

ACCELERAZIONI ATTESE

STATO LIMITE DANNO LIEVE

Tipo di analisi SLD  P<sub>VR</sub> 63 %  
Stato Limite di Danno

Tipo di costruzione 2  V<sub>N</sub> 50 anni  
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale

Classe d'uso III  C<sub>U</sub> 1,50  
Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Periodo di riferimento V<sub>R</sub> 75 anni

Tempo di ritorno T<sub>R</sub> 75,4 anni

Coordinate del sito LON 10,8414 deg  
LAT 45,8940 deg

Punti di riferimento del sito	1	2	3	4
ID	10508	10730	10509	10731
LON	10,8360	10,838	10,907	10,91
LAT	45,9060	45,856	45,907	45,857
Distanza	0,013159	0,038152	0,066876	0,077942
a <sub>b</sub>	0,518	0,587	0,520	0,592
F <sub>0</sub>	2,53	2,47	2,53	2,47
T <sub>c</sub>	0,25	0,26	0,26	0,25

Sito

a <sub>b</sub>	0,539	
F <sub>0</sub>	2,51	F <sub>v</sub> 0,80
T <sub>c</sub>	0,25	

Categoria di sottosuolo B  S<sub>S</sub> 1,2000  
C<sub>C</sub> 1,4468

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<sub>s,30</sub> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT<sub>30</sub> > 50 nei terreni a grana grossa e cu<sub>30</sub> > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Categoria topografica T1  S<sub>T</sub> 1,0000  
Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ? 15°

S = S<sub>S</sub> \* S<sub>T</sub> = 1,2000

T<sub>B</sub> = T<sub>C</sub> / 3 = 0,1225

T<sub>C</sub> = C<sub>C</sub> \* T<sub>c</sub> = 0,3676

T<sub>D</sub> = 4,00 \* a<sub>g</sub> / g + 1,60 = 1,8199

STATO LIMITE DANNO SEVERO

Tipo di analisi SLV  P<sub>VR</sub> 10 %  
Stato Limite di Salvaguardia della Vita

Tipo di costruzione 2  V<sub>N</sub> 50 anni  
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale

Classe d'uso III  C<sub>U</sub> 1,50  
Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Periodo di riferimento V<sub>R</sub> 75 anni

Tempo di ritorno T<sub>R</sub> 711,8 anni

Coordinate del sito LON 10,8414 deg  
LAT 45,8940 deg

Punti di riferimento del sito	1	2	3	4
ID	10508	10730	10509	10731
LON	10,8360	10,838	10,907	10,91
LAT	45,9060	45,856	45,907	45,857
Distanza	0,013159	0,038152	0,066876	0,077942
a <sub>b</sub>	1,373	1,563	1,380	1,570
F <sub>0</sub>	2,48	2,46	2,48	2,46
T <sub>c</sub>	0,28	0,28	0,28	0,28

Sito

a <sub>b</sub>	1,432	
F <sub>0</sub>	2,47	F <sub>v</sub> 1,28
T <sub>c</sub>	0,28	

Categoria di sottosuolo B  S<sub>S</sub> 1,2000  
C<sub>C</sub> 1,4189

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<sub>s,30</sub> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT<sub>30</sub> > 50 nei terreni a grana grossa e cu<sub>30</sub> > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Categoria topografica T1  S<sub>T</sub> 1,0000  
Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ? 15°

S = S<sub>S</sub> \* S<sub>T</sub> = 1,2000

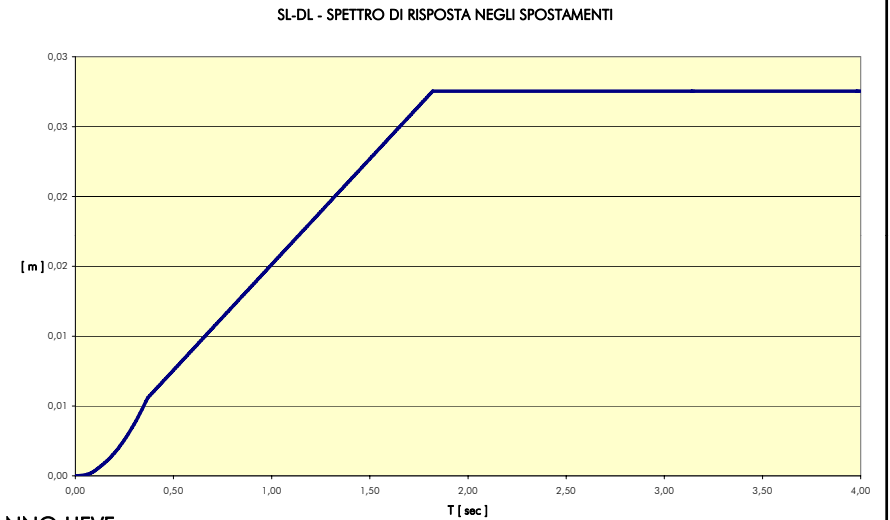
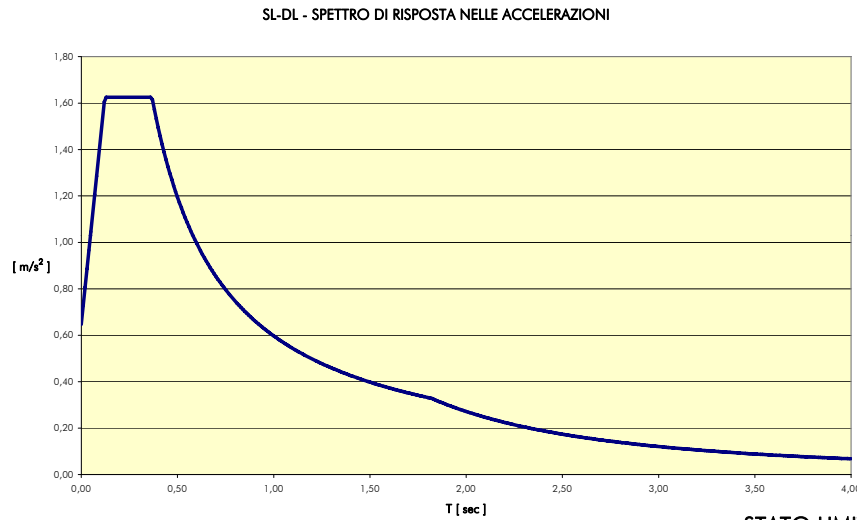
T<sub>B</sub> = T<sub>C</sub> / 3 = 0,1324

T<sub>C</sub> = C<sub>C</sub> \* T<sub>c</sub> = 0,3973

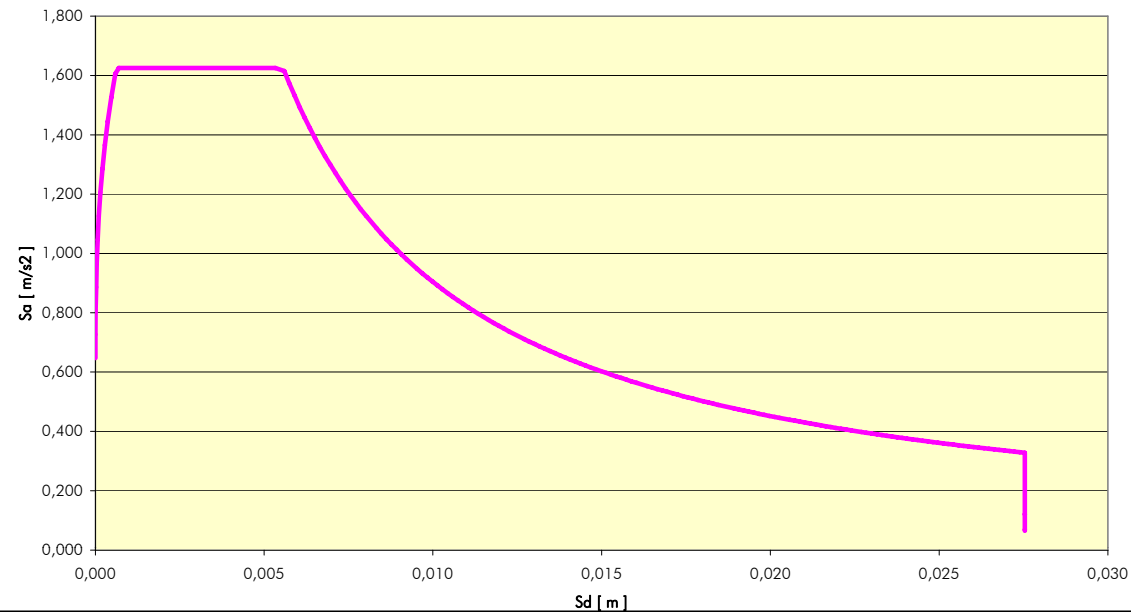
T<sub>D</sub> = 4,00 \* a<sub>g</sub> / g + 1,60 = 2,1840

Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri "Floriani" di Riva del Garda (TN)

**CALCOLO DELLO SPETTRO DI RISPOSTA - 1**



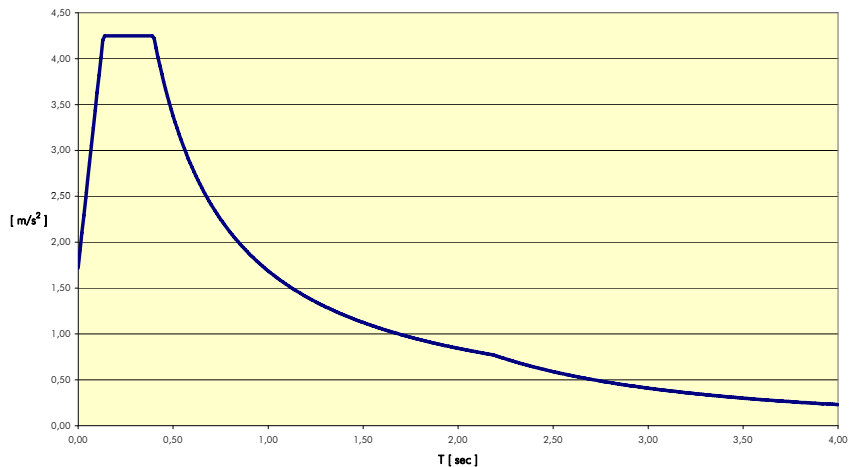
STATO LIMITE DI DANNO LIEVE



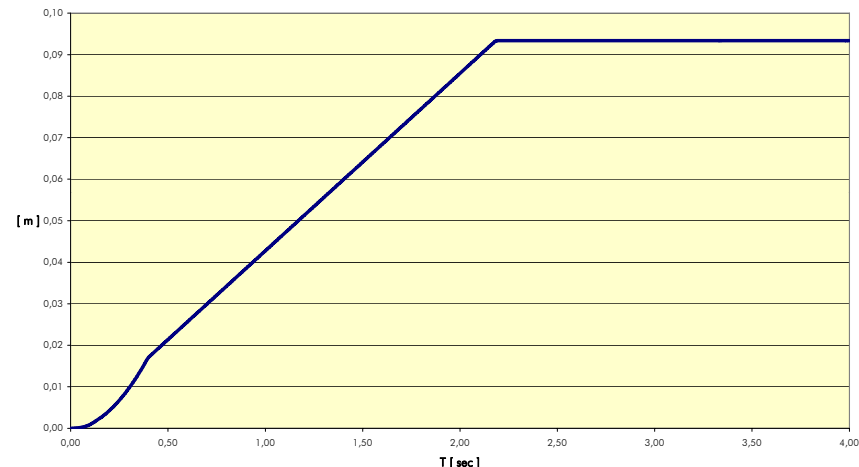
Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri "Floriani" di Riva del Garda (TN)

**CALCOLO DELLO SPETTRO DI RISPOSTA - 2**

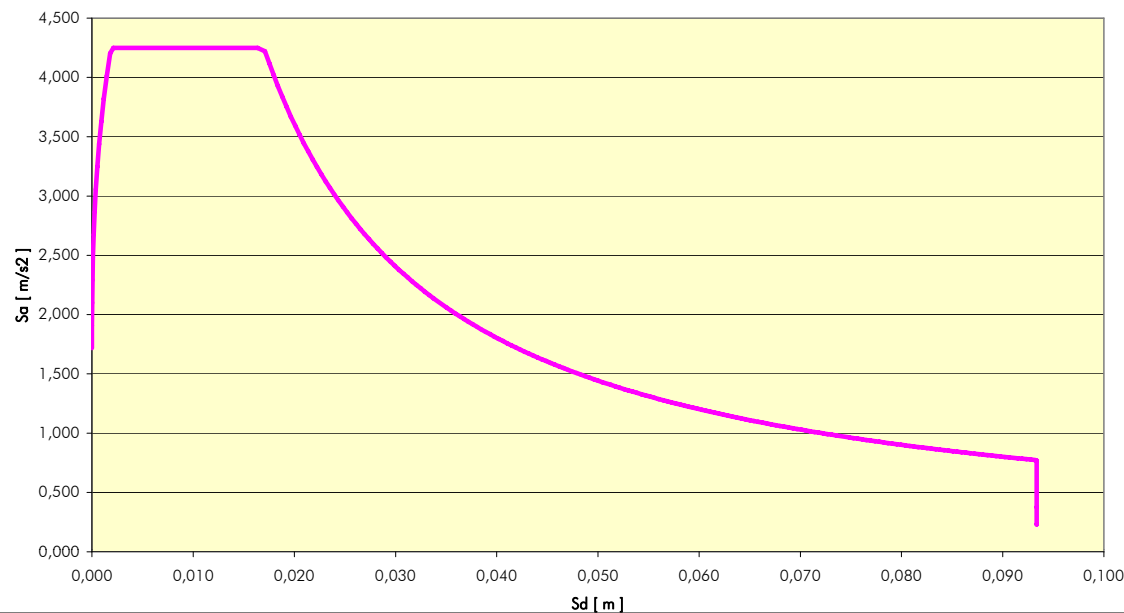
SL-DS - SPETTRO DI RISPOSTA NELLE ACCELERAZIONI



SL-DL - SPETTRO DI RISPOSTA NEGLI SPOSTAMENTI

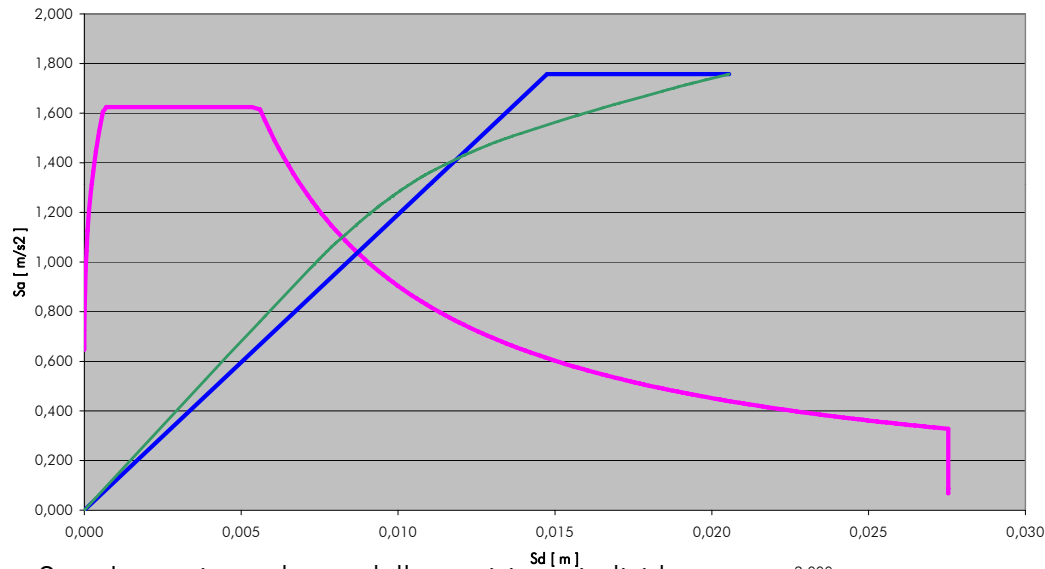


STATO LIMITE DI DANNO SEVERO



**SOVRAPPOSIZIONE CON SPETTRO ELASTICO  
PER STATI LIMITE CONSIDERATI - 1**

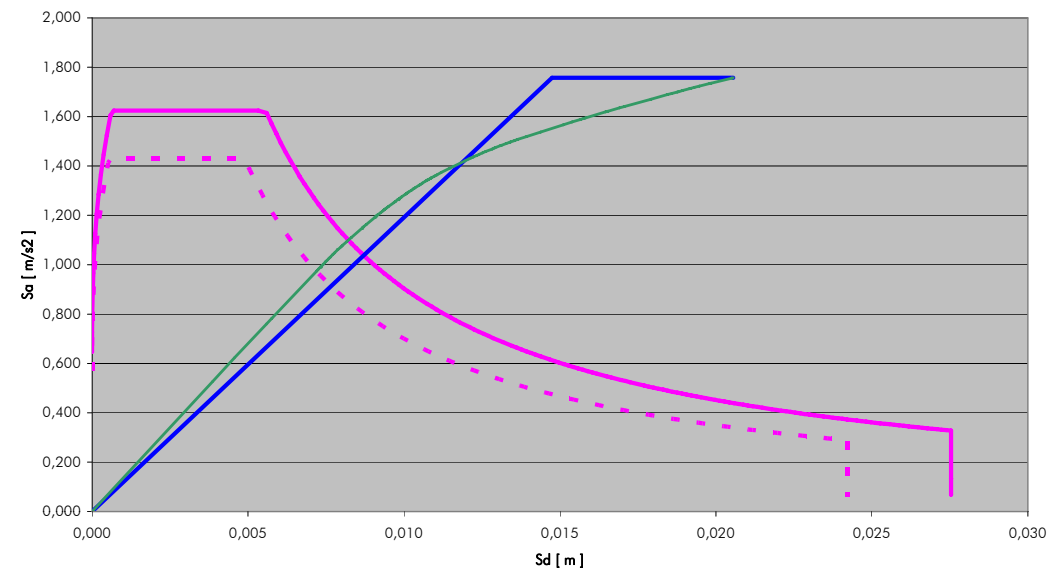
STATO LIMITE DI DANNO LIEVE



1. Per sovrapporre la forma bi-lineare sul diagramma dello spettro di risposta le ordinate ( $F^*$ ) vengono ridotte della quantità ( $m^*$ ). La grandezza ottenuta dimensionalmente diventa una accelerazione.
2. Si determina il punto di intersezione tra la curva di capacità del sistema bi-lineare e lo spettro di risposta.

3. In corrispondenza della posizione individuata corrisponde uno stato di sollecitazione sulla struttura reale. Viene eseguita la verifica degli elementi strutturali (verifiche a pressoflessione trasversale).
4. Se le verifiche non sono soddisfatte si procede a ritroso nella storia di carico fino ad esito favorevole.
5. Viene ridotta l'accelerazione e di conseguenza il relativo diagramma dello spettro di risposta.

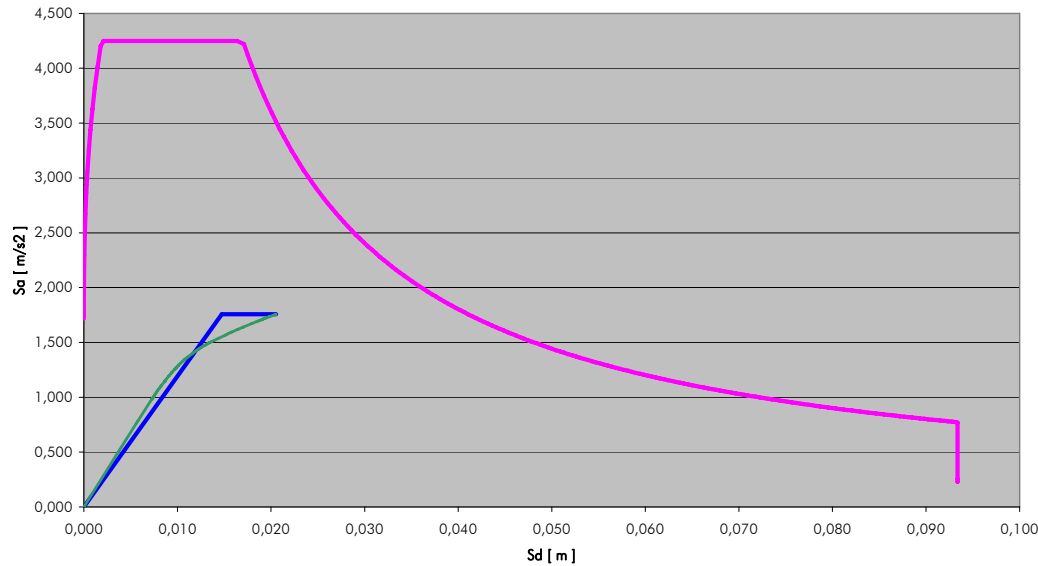
STATO LIMITE DI DANNO LIEVE



Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri "Floriani" di Riva del Garda (TN)

**SOVRAPPOSIZIONE CON SPETTRO ELASTICO  
PER STATI LIMITE CONSIDERATI - 2**

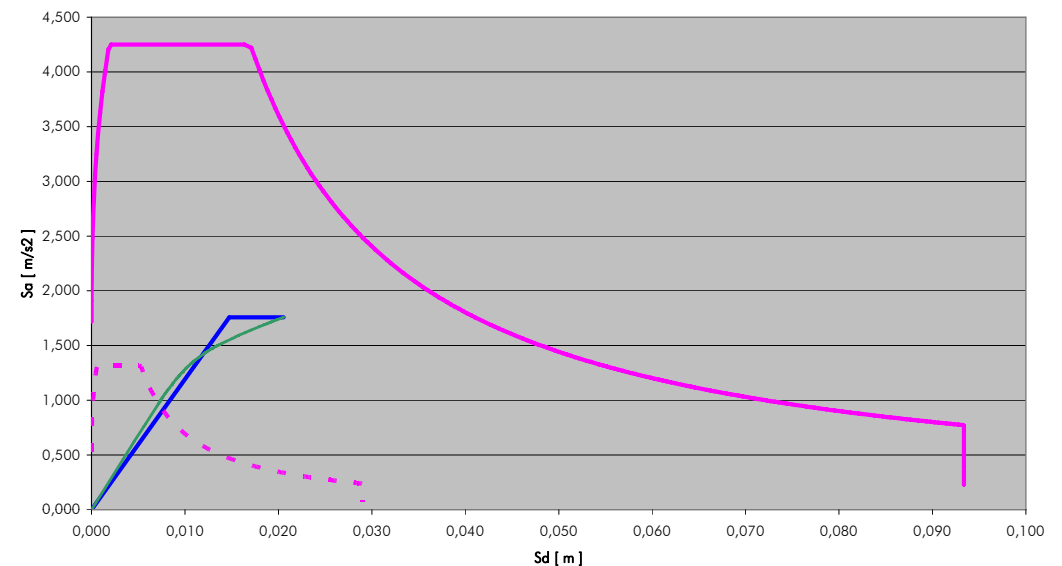
STATO LIMITE DI DANNO SEVERO



Le analisi descritte sono state condotte per tutte le possibili condizioni:

- Entrambe le direzioni principali dell'edificio
- Per entrambe le distribuzioni di forze orizzontali che la norma prevede di applicare alla struttura

STATO LIMITE DI DANNO SEVERO



Istituto Tecnico Commerciale e per Geometri "Floriani" di Riva del Garda (TN)

**QUADRO RIASSUNTIVO**

I risultati delle analisi svolte vengono riportati in forma tabellare evidenziando per il tipo di analisi svolta e per lo stato limite considerato il corrispondente valore di accelerazione al suolo "soportabile" dalla struttura in esame.

EDIFICIO SCOLASTICO			
TIPOLOGIA E DIREZIONE ANALISI	STATO LIMITE CONSIDERATO	Spostamento [m]	Accelerazione [m/s <sup>2</sup> ]
<b>Analisi Direzione X</b> <small>(forze proporzionali alle masse)</small>	SL-DL	0,006	Accelerazione Attesa
	SL-DS	0,008	0,716
<b>Analisi Direzione X</b> <small>(sistema di forze proporzionale al prodotto delle masse per la deformata corrispondente al primo modo di vibrazione.)</small>	SL-DL	0,007	Accelerazione Attesa
	SL-DS	0,009	0,687
<b>Analisi Direzione Y</b> <small>(forze proporzionali alle masse)</small>	SL-DL	0,006	0,453
	SL-DS	0,006	0,415
<b>Analisi Direzione Y</b> <small>(sistema di forze proporzionale al prodotto delle masse per la deformata corrispondente al primo modo di vibrazione.)</small>	SL-DL	0,007	0,474
	SL-DS	0,008	0,444

I VALORI DI PGA-DL E PGA-DS PER LA STRUTTRA SONO I VALORI MINIMI RISULTANTI DALLE DIVERSE ANALISI

•PGADL = 0,453 m/s<sup>2</sup>

•PGADS = 0,415m/s<sup>2</sup>

# GRAZIE PER L'ATTENZIONE

---

Dott. Ing. **Marco Gelmini**

Servizio Edilizia Pubblica e Logistica P.A.T.

Dott. Ing. **Lorenzo Cestari**

Dott. Ing. **Claudio Cristoforetti**

C.S.P. Engineering s.r.l.