



Corso di aggiornamento professionale  
**PRATO ANTISISMA - PROTEZIONE SISMICA DEGLI  
EDIFICI A DESTINAZIONE PRODUTTIVA DEL  
DISTRETTO PRATESE**

*Palazzo dell'Industria – Via Valentini n.14 59100  
Prato*



## **Gli elementi non strutturali nei capannoni industriali – Scaffalature**

**Maurizio Orlando**

*Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale  
Università degli Studi di Firenze*



**[www.dicea.unifi.it/maurizio.orlando](http://www.dicea.unifi.it/maurizio.orlando)**

## **SOMMARIO**

1. INTRODUZIONE

2. TIPOLOGIE

3. INQUADRAMENTO NORMATIVO E RIFERIMENTI NORMATIVI

4. ANALISI STATICA

5. ANALISI SISMICA

6. ESEMPI DI PROGETTO (*ING. GIOVANNI LAVACCHINI*)

CRONOCA RECENTE: TERREMOTO EMILIA ROMAGNA MAGGIO 2012

CERAMICA SANT'AGOSTINO, Sant'Agostino (FE)



CRONOCA RECENTE: TERREMOTO  
EMILIA ROMAGNA MAGGIO 2012

CASEIFICIO TULLIA, Rolo (RE)



## CRONOCA RECENTE: TERREMOTO EMILIA ROMAGNA MAGGIO 2012

GAMBRO (multinazionale svedese)

BELLCO (gruppo Sorin)

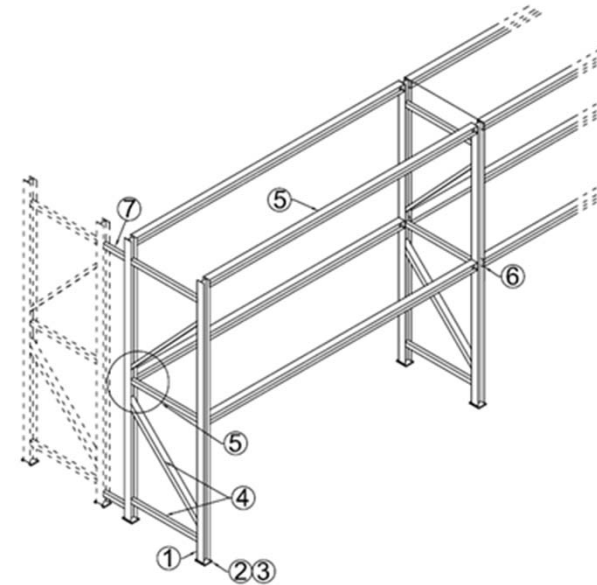
Danni alle scaffalature con conseguente inagibilità dei depositi di materiale biomedico distribuito in tutto il mondo



## TIPOLOGIE

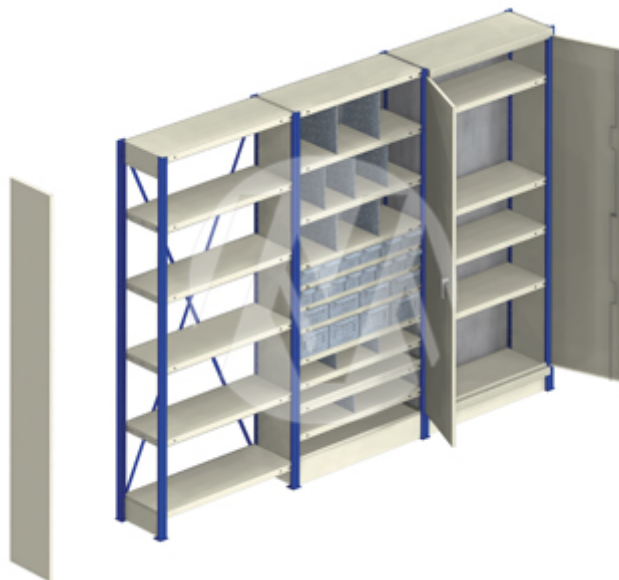
### Scaffalature porta pallet

accesso diretto ed unitario ad ogni pallet; soluzione ottimale per i magazzini in cui è necessario stoccare prodotti palettizzati con grande varietà di referenze;  
distribuzione e altezza delle scaffalature funzione delle caratteristiche dei carrelli o mezzi di sollevamento, e delle dimensioni del magazzino



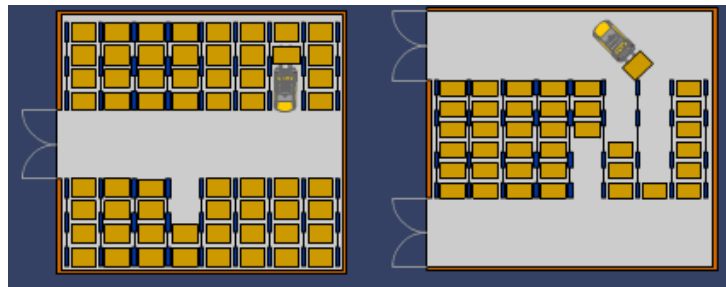
## TIPOLOGIE

Scaffalature leggere a ripiani con/senza soppalchi

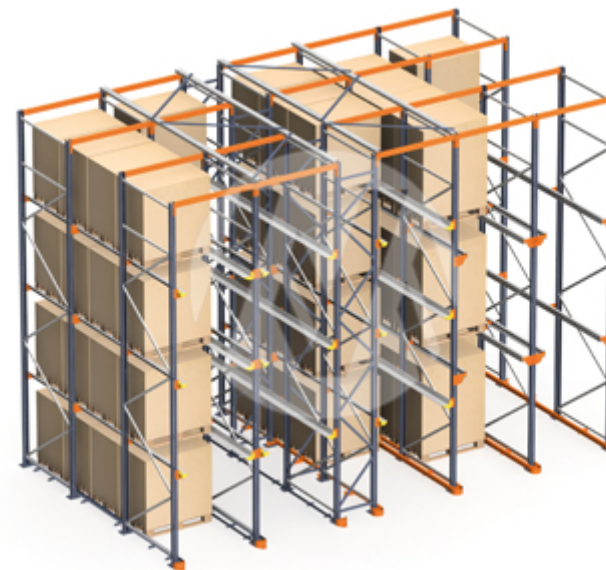


## TIPOLOGIE

### Scaffalature Drive-in / drive-through



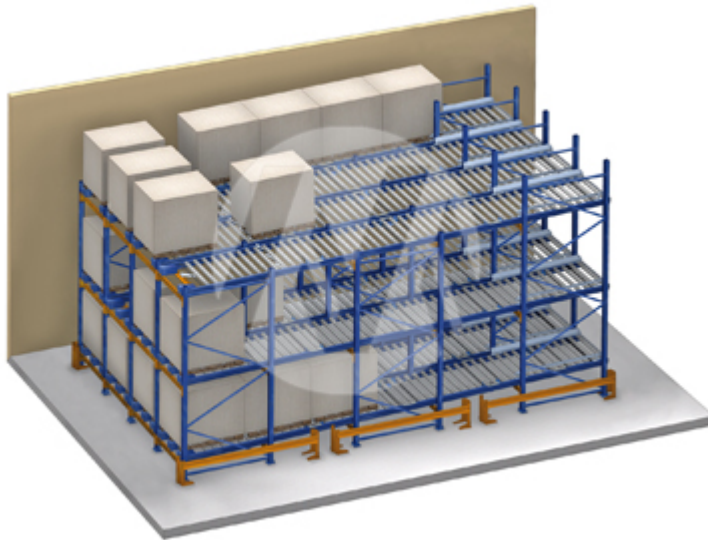
- stoccaggio di grandi volumi di merci pesanti e per articoli possibilmente omogenei
  - sfruttamento compatto dello spazio disponibile a grandi altezze preservando al contempo la merce stoccata
  - particolarmente vantaggioso dal punto di vista dello sfruttamento della superficie.
  - pallets della stessa referenza in numero relativamente elevato
- sfruttamento superficiale con portapallets pari al 40%
- sfruttamento superficiale con DRIVE - IN è pari al 75-80%



## TIPOLOGIE

### Scaffali a gravità o assimilabili

- scaffalature con rotaie leggermente in pendenza che permettono lo scivolamento dei pallet, grazie alla forza di gravità, a velocità controllata, fino all'estremo opposto
- indicato per magazzini di prodotti deperibili
- perfetta rotazione dei pallet (sistema FIFO).
- risparmio di spazio e tempo nella manipolazione dei pallet.
- rigoroso controllo degli stock



## TIPOLOGIE

### Scaffalature Cantilever

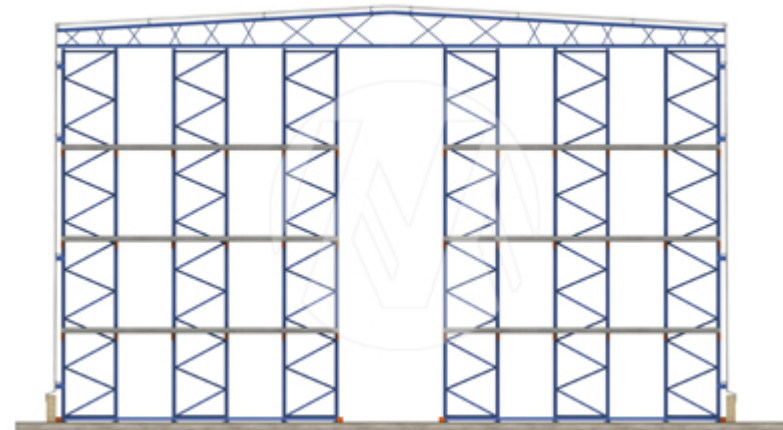
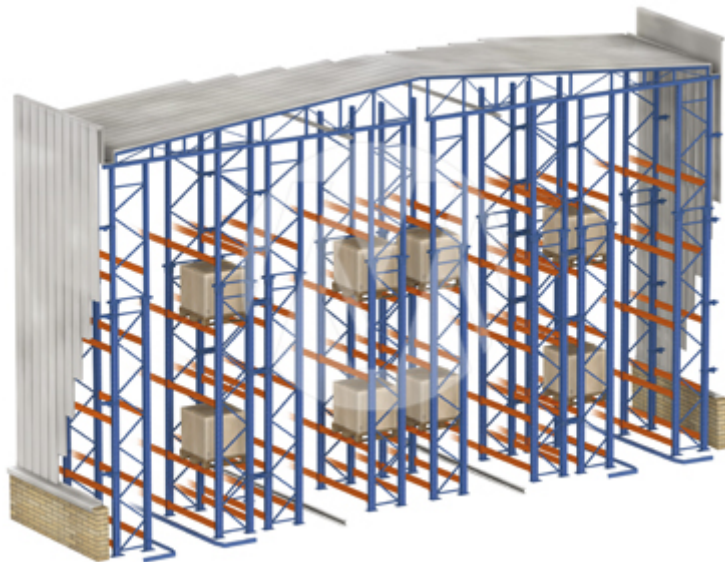
soluzione ideale per stoccaggio orizzontale di prodotti lunghi in genere



## TIPOLOGIE

### Magazzini autoportanti

- le scaffalature formano una struttura a cui vengono fissate la copertura e le pareti laterali
- i magazzini sono completamente automatizzati e possono raggiungere altezze di 40 m
- tempi di esecuzione molto ridotti
- stoccaggio di grandi quantità di prodotti omogenei ad alta rotazione



## **Classificazione delle scaffalature (ACAI)**

**Classe 1** – scaffalature autoportanti e soppalchi, entrambi considerabili come veri e propri edifici o parte di essi, e come tali rientranti nel campo di applicazione della L. n. 1086/1971

**Classe 2** – le più diffuse, definibili per differenza come quelle che non ricadono nelle classi 1 e 3 ed assimilabili ad opere accessorie facenti parte di impianti industriali, di magazzini o di altre strutture destinate allo stoccaggio, ospitate in edifici staticamente autonomi, caratterizzate da forte ripetitività e riconducibili a schemi standard di progetto e di verifica (non rientrano nel campo di applicazione della legge n. 1086/1971, ma delle Norme Tecniche delle Costruzioni)

**Classe 3** – scaffalature di piccole dimensioni e di limitata importanza statica, assimilabili a mobili o altri elementi di arredo e pertanto non soggette a nessuna norma tecnica specifica, per le quali vige tuttavia la responsabilità di immettere sul mercato solo «prodotti sicuri»; la loro conformazione strutturale è individuata in un catalogo o in un manuale di montaggio ed uso immutabili e hanno altezza massima 3 m, carico max 10 kN/m, carico max per ripiano 2,5 kN

## INQUADRAMENTO NORMATIVO

Le scaffalature industriali sono strutture metalliche particolari sia dal punto di vista costruttivo che dei carichi, e **solo in parte riconducibili a edifici realizzati con sistemi costruttivi tradizionali**.

**Le scaffalature in zona sismica**, di qualsiasi tipologia e dimensione (con la sola esclusione delle scaffalature di classe 3 ovvero quelle di altezza inferiore a 3 m assimilabili ad elementi di arredo), **devono essere sempre concepite con criteri antisismici**.

L'obbligatorietà discende dalla legislazione vigente in Italia:

**a) sulla sicurezza dei luoghi di lavoro** (in particolare il D.lgs. 81/2008 o Testo Unico)

**b) sulla progettazione delle strutture** (in particolare il D.M. 14/01/2008)

## INQUADRAMENTO NORMATIVO

### **a) Sicurezza dei luoghi di lavoro**

Pur considerando prevalente la responsabilità del datore di lavoro, esiste sempre anche la responsabilità del fornitore, il quale ha l'obbligo di immettere nel mercato prodotti sicuri in relazione al loro impiego, alle prestazioni richieste e ai rischi connessi alla loro installazione.

Tra questi rischi NON può non considerarsi la sismicità del LUOGO dove la scaffalatura sarà costruita.

Nel caso delle scaffalature, il riferimento di legge che meglio descrive la responsabilità del fornitore è l'Art. 23 del suddetto D.lgs. 81:

### ***Obblighi dei fabbricanti e dei fornitori***

*1. Sono vietati la fabbricazione, la vendita, il noleggio e la concessione in uso di attrezzature di lavoro, dispositivi di protezione individuali ed impianti non rispondenti alle disposizioni legislative e regolamentari vigenti in materia di salute e sicurezza sul lavoro.*

## INQUADRAMENTO NORMATIVO

Nella valutazione di “rischio sismico” si devono considerare i seguenti aspetti:

**a)** se la struttura della **scaffalatura** è **progettata per resistere al sisma**, durante un terremoto si possono comunque presentare i seguenti rischi, da eliminare o mitigare:

- rischio di caduta delle merci dai pallet
- rischio di scivolamento dei pallet, tale da provocarne la caduta all'interno dello scaffale con conseguente danneggiamento ed eventuale crollo della struttura
- rischio di scivolamento dei pallet, tale da provocarne la caduta fuori dalle scaffalature nei corridoi di passaggio con possibili danni alle persone

**b)** se la struttura della scaffalatura **NON** è progettata per resistere al sisma, si aggiunge il rischio rappresentato da:

- possibilità di cedimento strutturale, ovvero crollo parziale o globale della scaffalatura con danneggiamento delle merci e possibili danni alle persone che stazionano nelle aree circostanti

## INQUADRAMENTO NORMATIVO

### **b) Progettazione delle strutture**

Per quanto riguarda il punto b), il Ministero del Lavoro, nella lettera circolare n. 21346 del 13/09/1995, ha definito “sicuro” un prodotto progettato secondo la seguente gerarchia di norme tecniche:

- 1) normativa comunitaria cogente, se esistente
- 2) leggi e norme tecniche nazionali cogenti, se esistenti
- 3) norme di rango superiore emanate a livello europeo, come le norme EN, se esistenti
- 4) norme emanate a livello nazionale, come le norme UNI, se esistenti
- 5) norme volontarie di “buona tecnica”, emanate da Enti e/o Associazioni di Produttori a livello europeo o italiano, se esistenti

Nel settore delle scaffalature metalliche le norme applicabili al caso specifico sono le seguenti:

- 1) D.M. 14/01/2008
- 2) Norme EN, tra le quali la EN 15512
- 3) UNI-TS 11379:2010
- 4) Norme FEM 10.2. ... ([FEM - Federation Europeenne de la Manutention](#))

Queste norme contengono le istruzioni indispensabili per la corretta progettazione in zona sismica.

## RIFERIMENTI NORMATIVI

Tutti gli obblighi prima descritti valgono a prescindere dall'ambito di applicazione della Legge 1086 e della Legge 64, la cui "ampiezza" è soggetta a continui aggiornamenti e/o interpretazioni.

Certamente le scaffalature di classe 1, secondo la definizione storica dell'ACAI, ricadono nel suddetto ambito di applicazione e pertanto dovranno non solo essere progettate come più sopra ricordato, ma dovranno anche prevedere la "denuncia" delle opere al Genio Civile o all'Ufficio Opere di Interesse Locale (a seconda delle Regioni) con la conseguente nomina delle figure professionali che la legge richiede: Progettista, Direttore dei Lavori e Collaudatore.

Il campo d'applicazione della legge 1086 (e conseguentemente della legge 64) sarà prevedibilmente ampliato, come è implicito nei contenuti dell'ultimo D.M.

## INQUADRAMENTO NORMATIVO

Tale norma, infatti, accogliendo i criteri progettuali degli Eurocodici, non contiene più soltanto le prescrizioni riguardanti essenzialmente gli “edifici” in c.a. e/o acciaio, come in passato, ma ha ampliato notevolmente i suoi contenuti, occupandosi di molti altri materiali e di “strutture” in generale, comprendendo di conseguenza qualsiasi genere di struttura di acciaio (Eurocodice 3) e quindi anche le scaffalature.

Prova ne è il testo del DM 2008, che al cap. 2.1 “Principi fondamentali” sancisce:

...I componenti, sistemi e prodotti, edili o impiantistici, non facenti parte del complesso strutturale, ma che svolgono funzione statica autonoma, devono essere installati e progettati nel rispetto dei livelli di sicurezza e delle prestazioni di seguito prescritti...

Tutto ciò premesso, il produttore di scaffalature NON può esimersi dal considerare il rischio sismico, perché ciò gli è richiesto direttamente dal datore di lavoro (o acquirente della scaffalatura) o perché egli stesso, in zona sismica, non può che commercializzare un prodotto sicuro, cioè rispondente alle norme tecniche applicabili più sopra richiamate.

## RIFERIMENTI NORMATIVI

### Scaffalature porta pallet

progetto per carichi verticali



**UNI EN 15512**

zonazione sismica  
caratteristiche del terreno  
intensità del terremoto



legislazione cogente in  
Italia (**DM 14/1/2008**)

criteri di progettazione antisismica



**UNI/TS 11379**

criteri per la determinazione dei parametri di  
progetto sperimentali procedimenti di verifica



**UNI EN 15512**

## RIFERIMENTI NORMATIVI

### Altre tipologie di scaffalature

zonazione sismica  
caratteristiche del terreno  
intensità del terremoto



legislazione cogente in  
Italia (**DM 14/1/2008**)

criteri di progettazione antisismica



per estensione/analogia dalla UNI/TS 11379 per i porta pallet (ciò può essere fatto, ad esempio, per scaffali drive-in, drive-through, scaffali a gravità, push back, scaffali “satellite systems”)

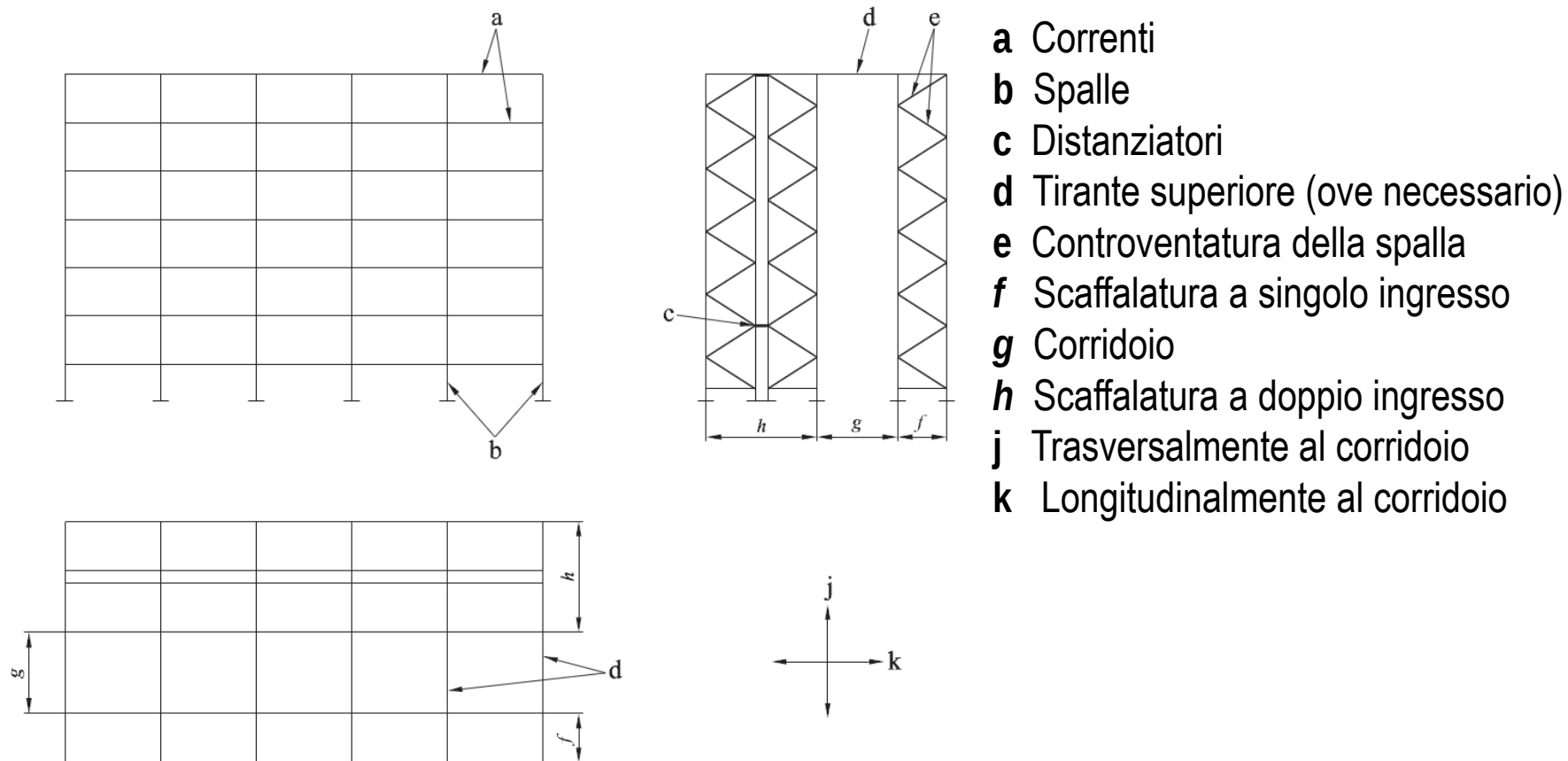
ove il punto precedente non risulti applicabile in toto o parzialmente, si deve fare riferimento, con scelte cautelative, ai criteri generali per la progettazione di strutture in acciaio contenute nello stesso DM 14/1/2008 (questo è il caso, ad esempio, delle scaffalature cantilever e di alcune tipologie di scaffali leggeri)

criteri per la determinazione dei parametri di progetto sperimentali procedimenti di verifica



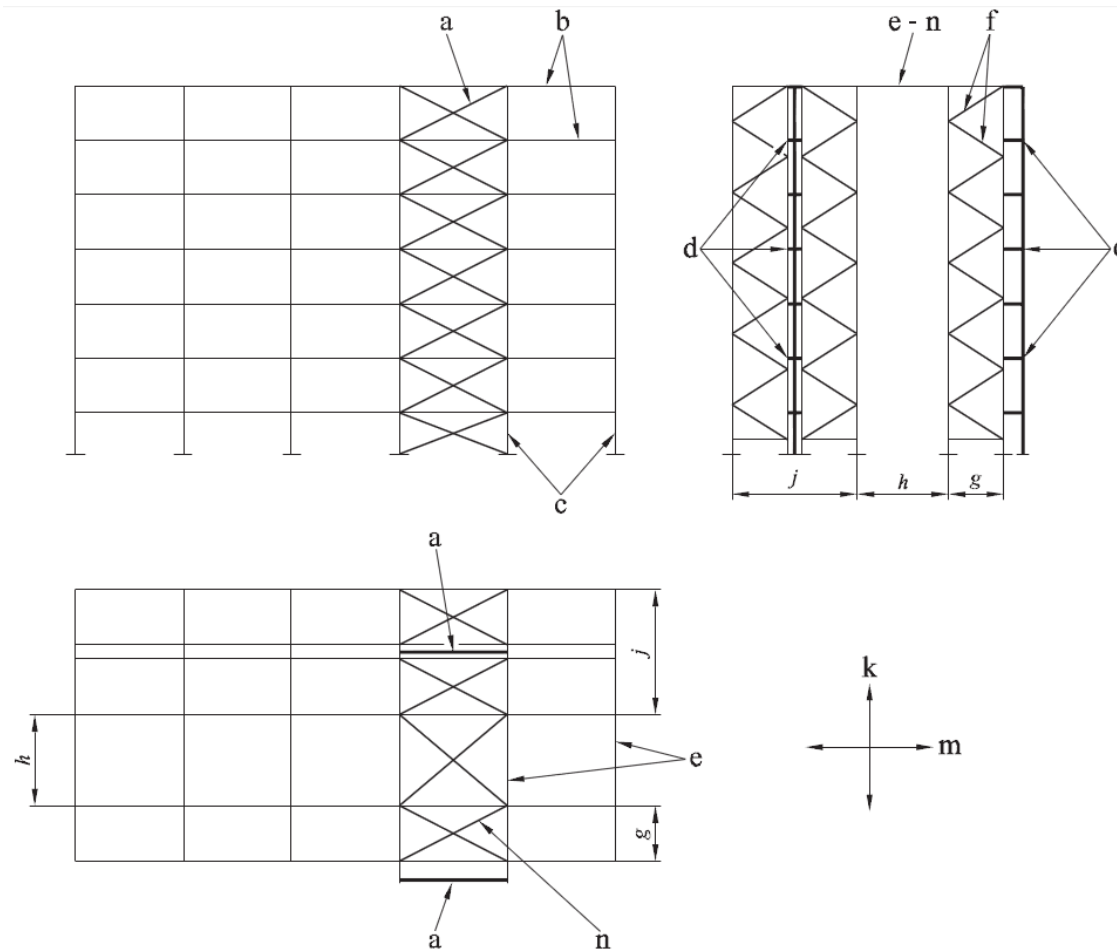
**Norme FEM**, ove non esistono Norme FEM specifiche, si adottano i criteri generali di progettazione delle strutture in acciaio

## GEOMETRIA ED ELEMENTI DI UNA SCAFFALATURA PORTAPALLET



scaffalatura non controventata

## GEOMETRIA ED ELEMENTI DI UNA SCAFFALATURA PORTAPALLET



scaffalatura controventata

- a** Controventatura verticale
- b** Correnti
- c** Spalle
- d** Staffe di controventatura
- e** Tiranti superiori (se necessari)
- f** Controventatura della spalla
- g** Scaffalatura a singolo ingresso
- h** Corridoio
- j** Scaffalatura a doppio ingresso
- k** Trasversalmente al corridoio
- m** Longitudinalmente al corridoio
- n** Controventatura in piano

## GEOMETRIA ED ELEMENTI DI UNA SCAFFALATURA PORTAPALLET

3.18

**spalla:** Due sezioni di montanti (spesso perforati) collegati tra loro mediante un sistema di elementi controventati.

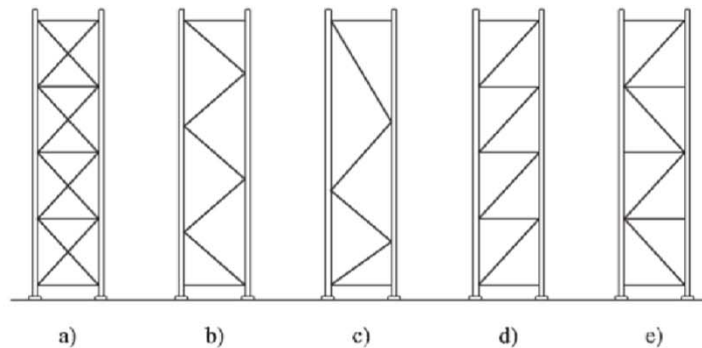
Nota Tipici esempi sono illustrati in figura 1.

figura 1

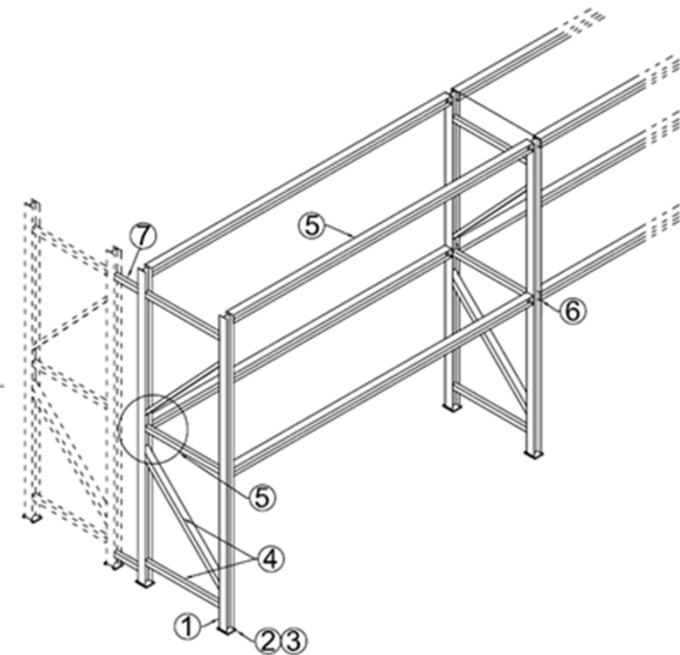
### Forme tipiche di spalla

Legenda

- a) Spalla controventata "a trazione"
- b) Spalla controventata "a D" (regolare)
- c) Spalla controventata "a D" (irregolare)
- d) Spalla controventata "a Z"
- e) Spalla controventata "a K"



UNI 15512



## ANALISI STATICA

**DM 14/01/2008 – NTC 2008**

**Circolare 2/02/2008**

**UNI EN 15512:** Scaffalature porta pallets, principi per la progettazione strutturale

**UNI EN 15620:** Scaffalature porta pallets, tolleranze, deformazioni, e interspazi

**UNI EN 1993:** Progettazione delle strutture in acciaio

## ANALISI STATICA

### CARICHI

***Peso proprio della struttura***

***Peso proprio dei pallets*** (fornito dall'utilizzatore)

***Forze equivalenti da imperfezione degli elementi della struttura:*** sistema di forze statiche equivalenti che tengono opportunamente conto delle imperfezioni geometriche del telaio (UNI EN 15512)

***Carico di posizionamento:*** carico derivante dalle operazioni di deposito e prelievo di una unità di carico all'interno o all'esterno del sistema, adottando le regole di buona pratica

Per i magazzini autoportanti occorre considerare anche (DM 14.01.2008):

***Carico della neve:*** determinato come da normativa vigente sul territorio

***Carico del vento:*** determinato come da normativa vigente sul territorio

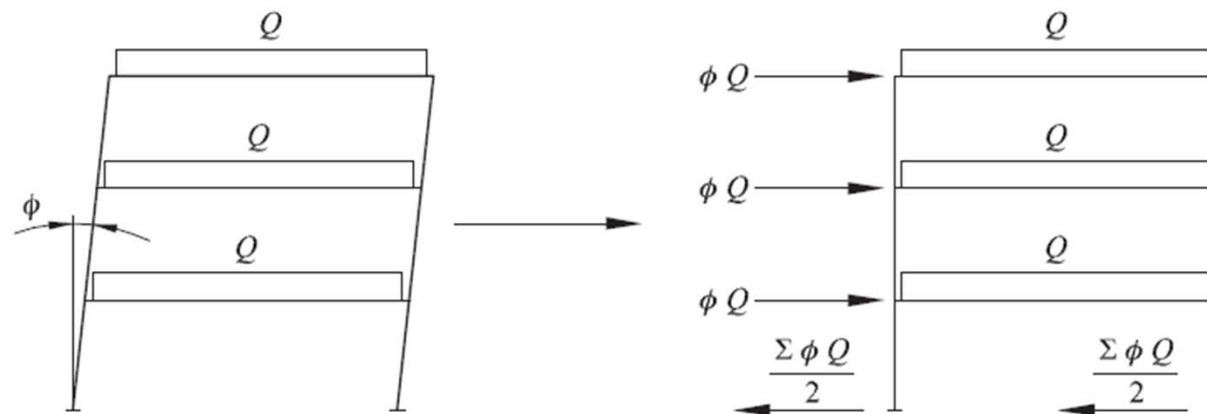
### COMBINAZIONI DEI CARICHI

Le combinazioni di calcolo in campo statico sono quelle riportate nella UNI 15512

## ANALISI STATICA

### Calcolo delle imperfezioni del telaio

Gli effetti delle imperfezioni del telaio devono essere inclusi nell'analisi globale considerando un'imperfezione di oscillazione iniziale o un sistema chiuso di forze orizzontali equivalenti



dove:

$Q$  è il valore del carico sul singolo livello

$\phi$  è il valore dell'oscillazione del telaio

## ANALISI STATICA

Il paragrafo 5.3.2 della UNI EN 15512 fornisce:

$$\phi = \phi_s + \phi_l$$

dove con  $\phi_s$  e  $\phi_l$  sono, rispettivamente, il fuori piombo massimo specificato diviso per l'altezza (8.5.7.2 UNI EN 15512) e la cedevolezza iniziale del collegamento corrente-montante (determinazione sperimentale)

### 8.5.7.2 UNI EN 15512 - Determinazione di $\phi_s$

*Il fuori piombo massimo di un qualsiasi montante in qualsiasi direzione deve essere altezza/350 misurato nella condizione di scaffalatura scarica immediatamente dopo il montaggio.*

*Se il progettista specifica una imperfezione di fuori piombo iniziale il processo di montaggio deve essere tenuto sotto controllo per garantire la realizzazione pratica dei presupposti di progetto.*

## ANALISI STATICA

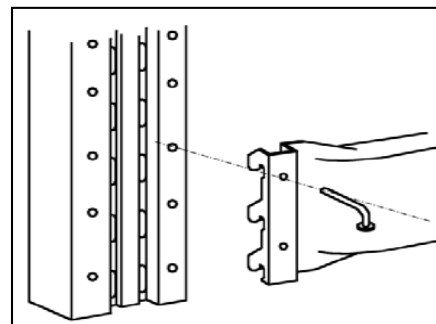
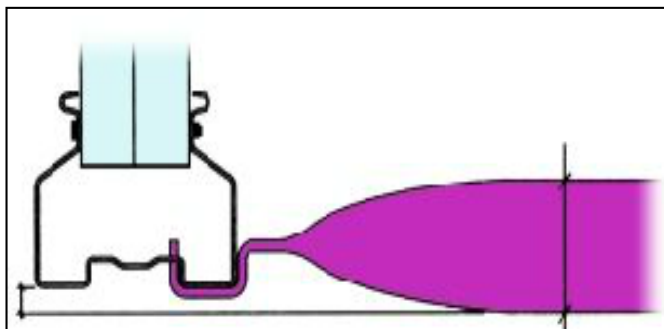
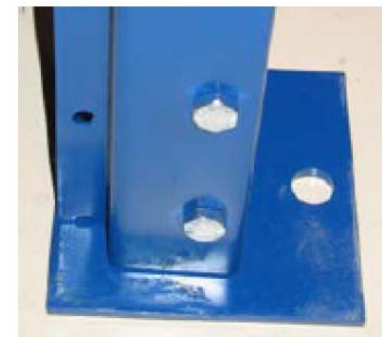
### **Profili**

I profili utilizzati correntemente per le scaffalature porta-pallet sono profili di acciaio in parete sottile formati a freddo.

Trattasi di profili appartenenti alle classe 4 e pertanto per i quali le verifiche di resistenza e di stabilità devono essere effettuate considerando le caratteristiche geometriche della sezione efficace.

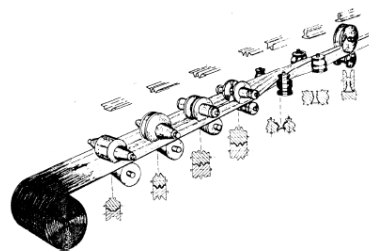
### **Giunzioni**

Richiedono la valutazione sperimentale della loro rigidezza e resistenza; il valore della rigidezza viene utilizzata nei modelli di calcolo agli elementi finiti, per descrivere in modo corretto la risposta strutturale della scaffalatura

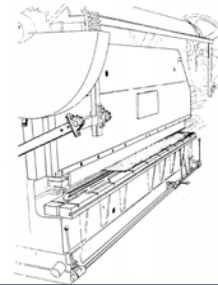


## COMPORTAMENTO STRUTTURALE PROFILI IN PARETE SOTTILE FORMATI A FREDDO

EFFETTI DELLA  
LAVORAZIONE A  
FREDDO



RULLATURA



PRESSATURA

TENSIONI RESIDUE

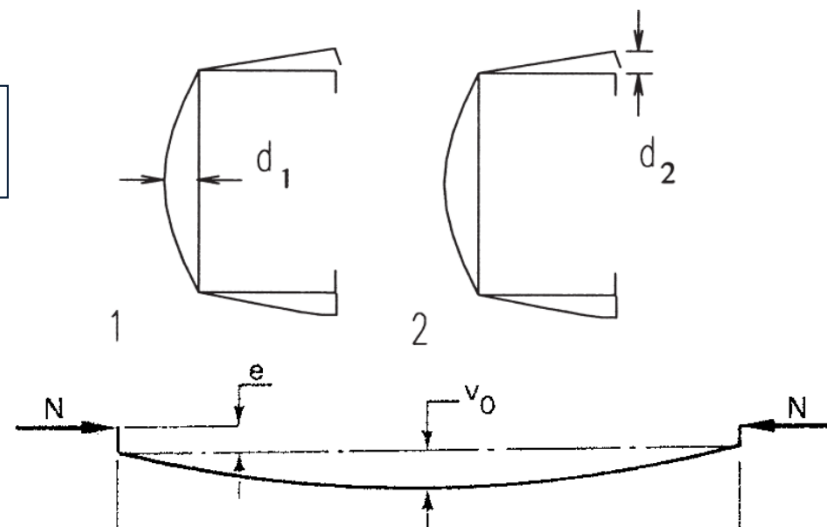
INNALZAMENTO LIMITE  
ELASTICO

RIDUZIONE DELLO  
SPESSORE

IMPERFEZIONI  
DI TIPO  
GEOMETRICO

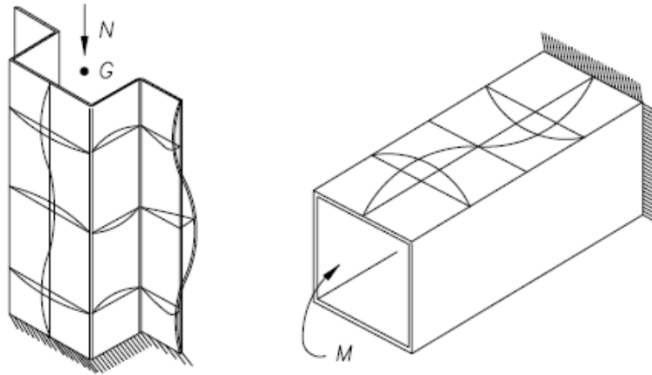
SEZIONE  
TRASVERSALE

ASSE DEL  
PROFILO

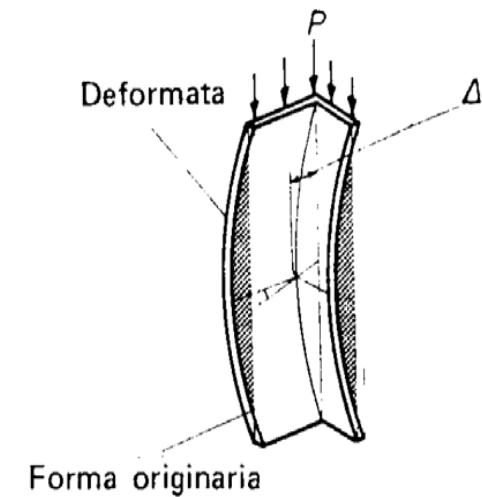


dalle tesi di Laurea di Francesco Socci e Francesco Scavello

INSTABILITA'  
LOCALE DELLE  
PARTI COMPRESSE

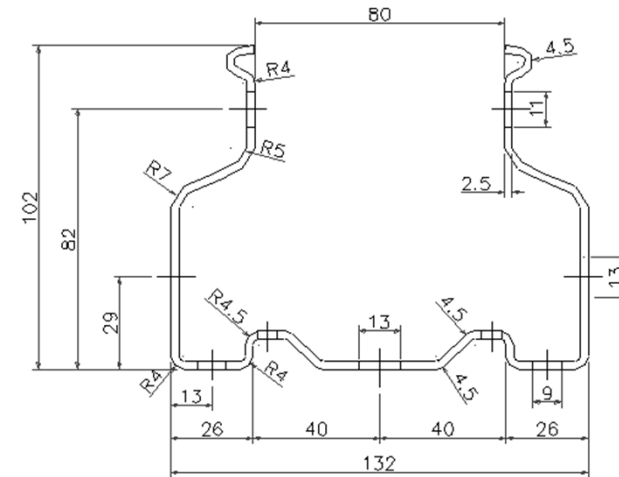
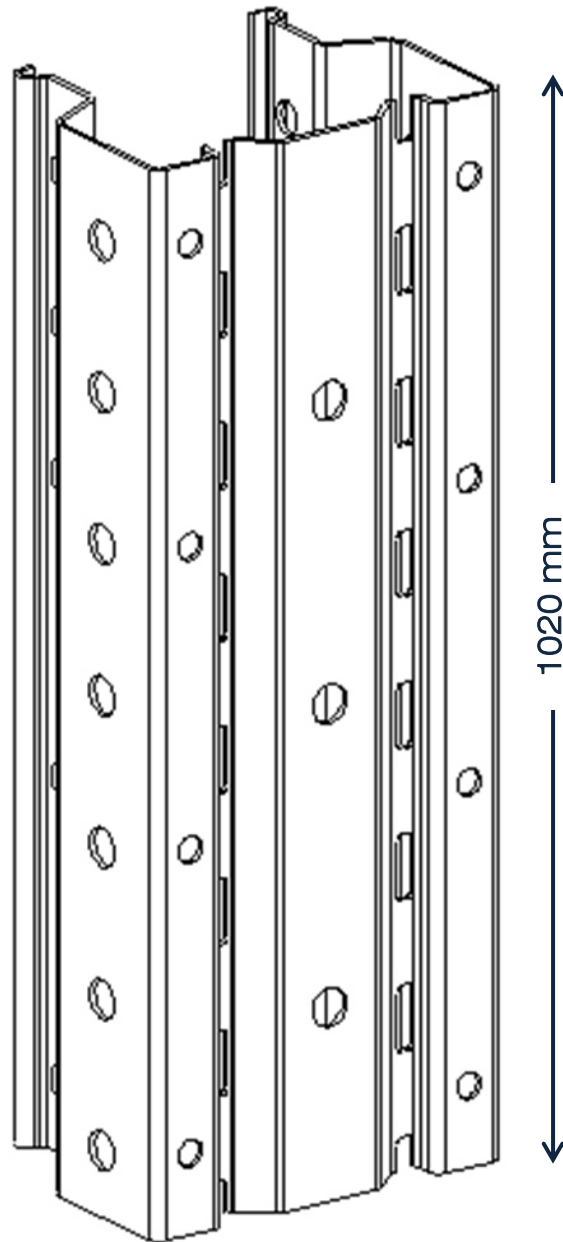


SOVRAPPOSIZIONE  
TRA I MODI DI  
INSTABILITA'



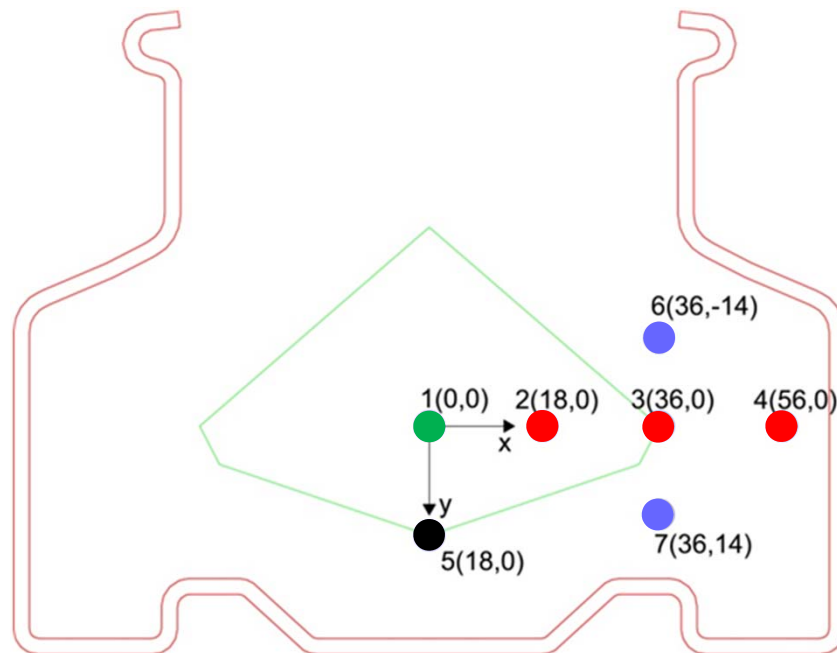
RIDOTTA RIGIDEZZA  
TORSIONALE





| <b>Caratteristiche meccaniche S 350GD</b> |                 |                          |
|-------------------------------------------|-----------------|--------------------------|
| Modulo elastico                           | E               | 210000 N/mm <sup>2</sup> |
| Coeff. Di Poisson                         | $\nu$           | 0.3                      |
| Modulo di elasticità tangenziale          | G               | 80769 N/mm <sup>2</sup>  |
| Peso Specifico                            | P <sub>s</sub>  | 78.5 KN/m <sup>3</sup>   |
| Tensione caratteristica di snervamento    | f <sub>yk</sub> | 350 N/mm <sup>2</sup>    |
| Tensione caratteristica a rottura         | f <sub>u</sub>  | 420 N/mm <sup>2</sup>    |

| <b>Caratteristiche geometriche serie 130/250</b> |             |                         |
|--------------------------------------------------|-------------|-------------------------|
| Area Lorda della sezione                         | $A_{Lor}$   | 982 mm <sup>2</sup>     |
| Area eff. della sezione                          | $A_{eff}$   | 837 mm <sup>2</sup>     |
| Area netta                                       | $A_{net}$   | 816 mm <sup>2</sup>     |
| Momento d'inerzia                                | $J_{y,lor}$ | 1120111 mm <sup>4</sup> |
|                                                  | $J_{z,lor}$ | 2362919 mm <sup>4</sup> |
| Modulo di resistenza                             | $W_{y,Lor}$ | 34200 mm <sup>3</sup>   |
|                                                  | $W_{z,Lor}$ | 71603 mm <sup>3</sup>   |
| Modulo di resistenza netti                       | $W_{y,net}$ | 28851 mm <sup>3</sup>   |
|                                                  | $W_{z,net}$ | 56742 mm <sup>3</sup>   |
| Coeff. di sicurezza sulla sezione                | $\gamma_M$  | 1                       |



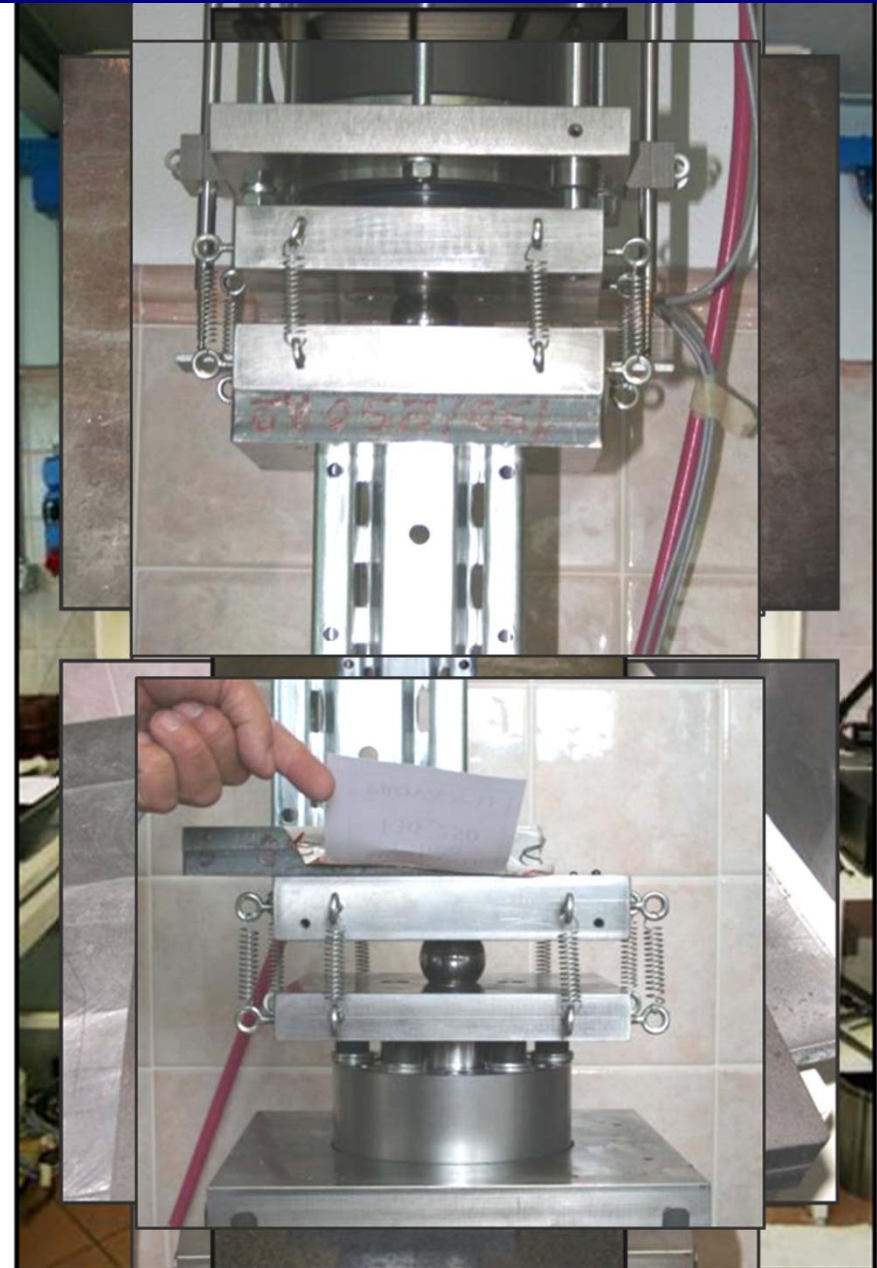
PROVA IN CONTROLLO  
DI CARICO

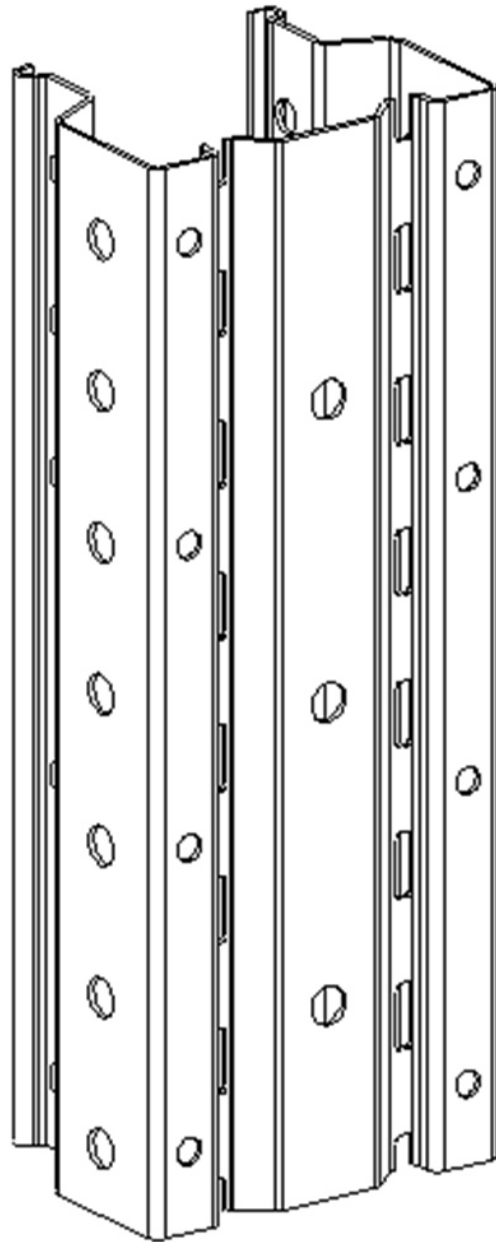


CURVA CARICO-  
SPOSTAMENTO



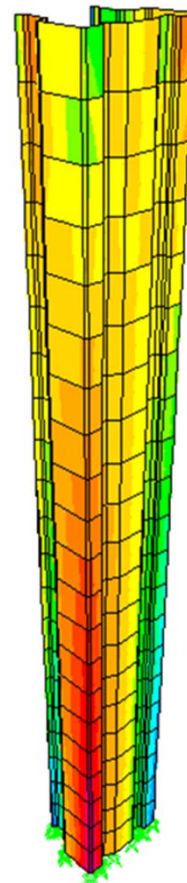
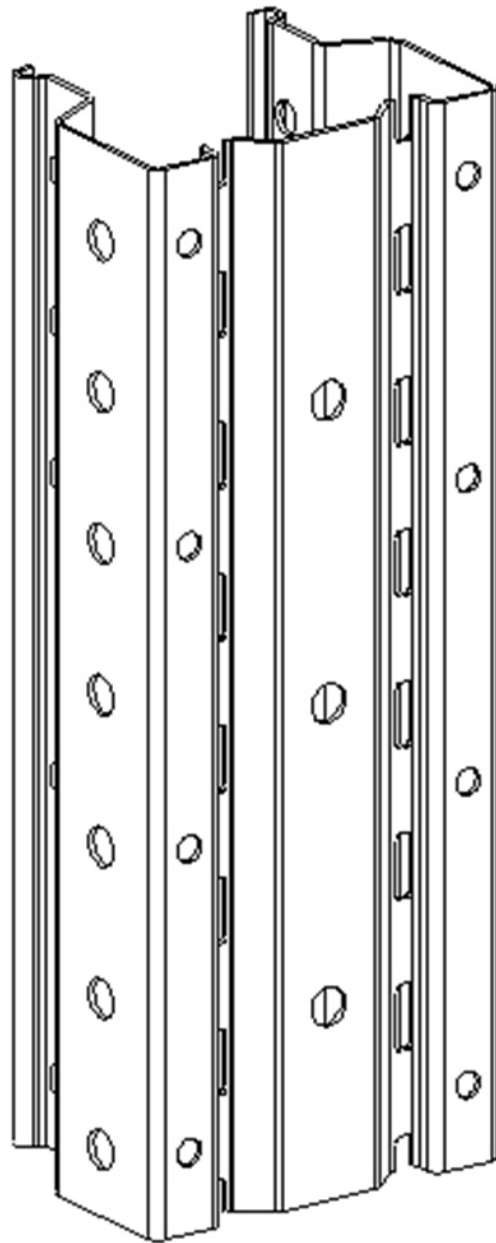
LETTURA CARICO DI  
COLLASSO



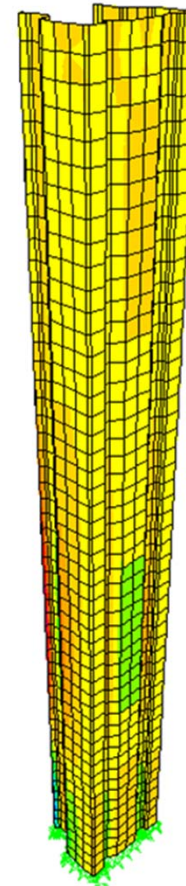


## 1. SCELTA DELLA DISCRETIZZAZIONE

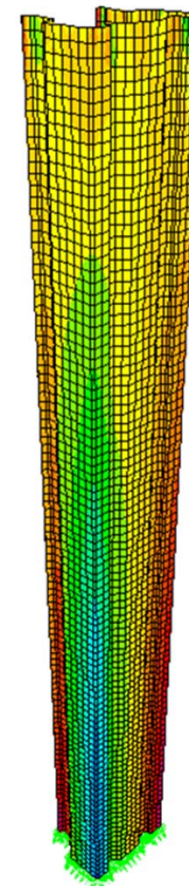
RETICOLI COSTANTI LUNGO L'ALTEZZA DI DIVERSA DIMENSIONE



50X50 mm



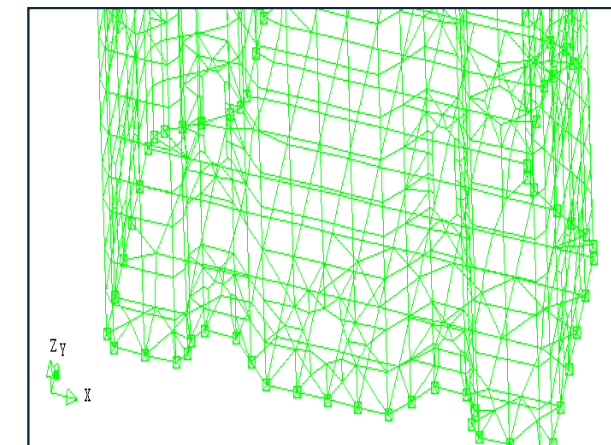
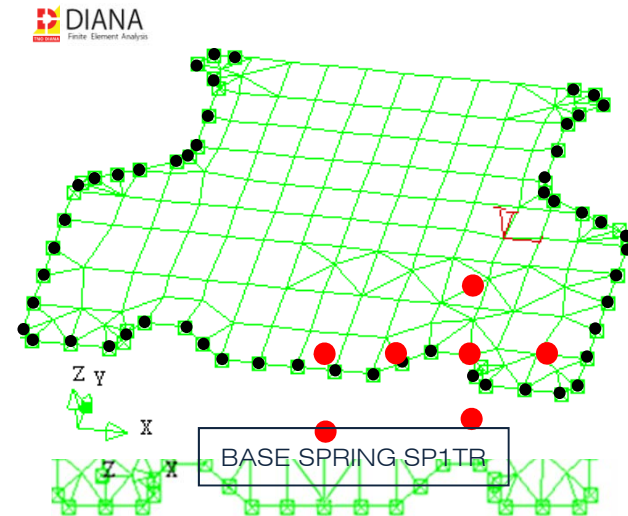
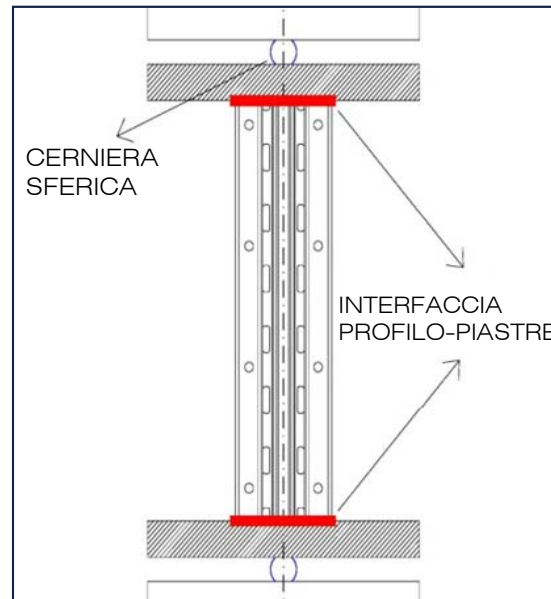
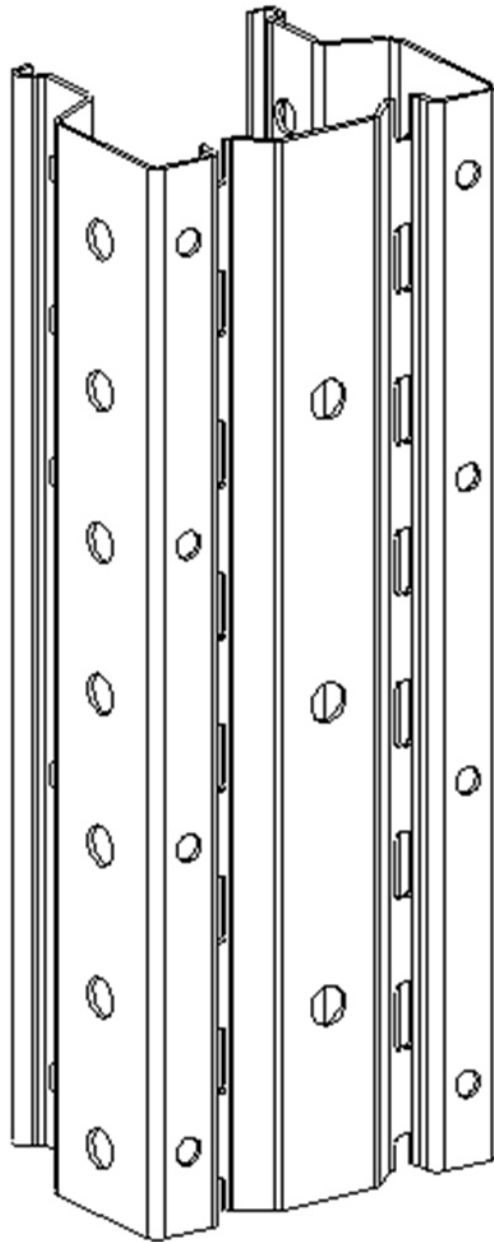
20x20 mm

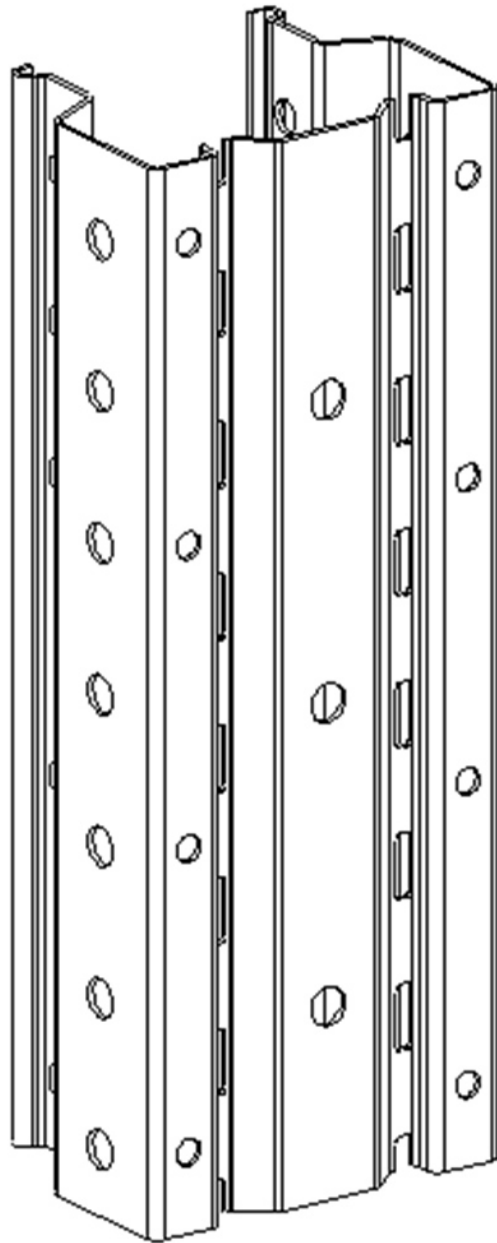


10x10mm

## 2. CONDIZIONI AL CONTORNO

### PIASTRE DI ESTREMITA'

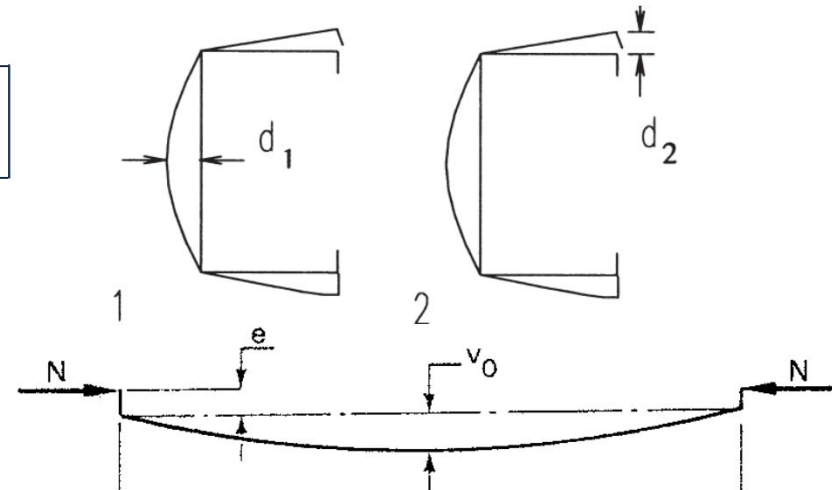




### 3. IMPERFEZIONI

SEZIONE  
TRASVERSALE

ASSE DEL  
PROFILO



NUMEROSE PUBBLICAZIONI IN MATERIA

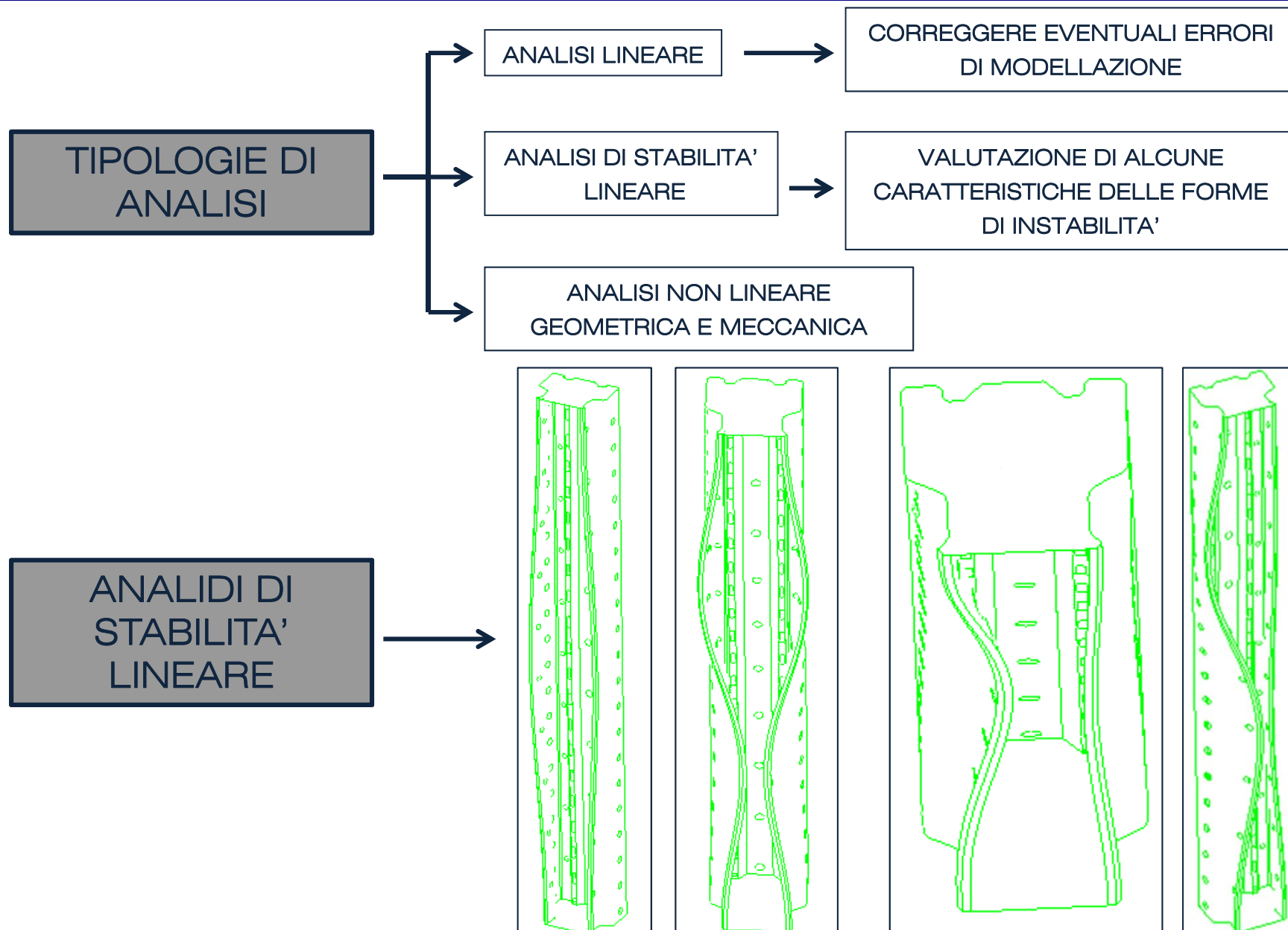


INTRODUZIONE ECCENTRICITA' INIZIALE  
PARI AL 20% DELLO SPESSORE

CASO IN  
ESAME

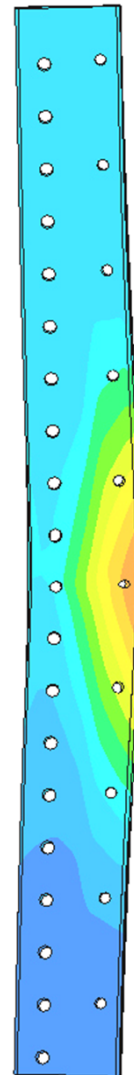
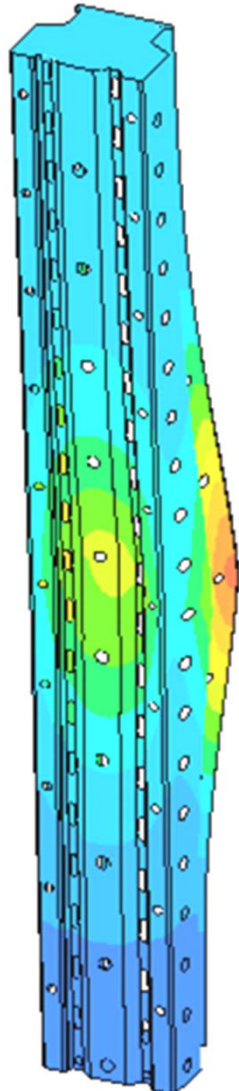


RISULTATI ANALISI NON LINEARI INVARIATI  
CON O SENZA L'APPLICAZIONE  
DELL'ECCENTRICITA'

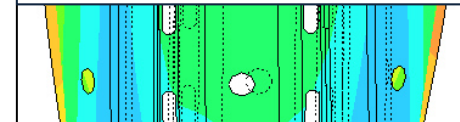


## ANALISI NON LINEARE GEOMETRICA E MECCANICA

$e = 0$

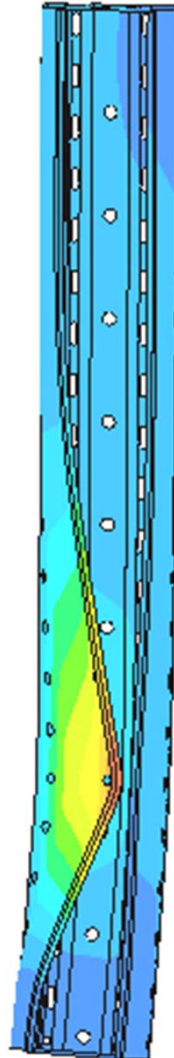
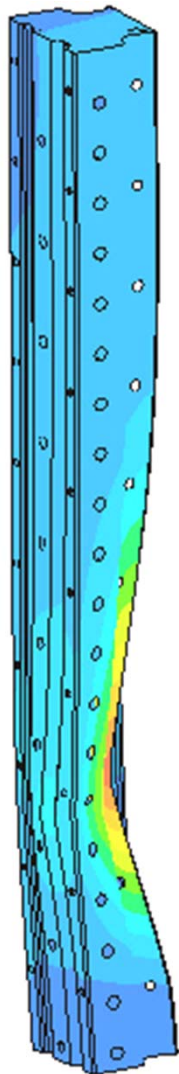


DISTORSIONAL BUCKLING

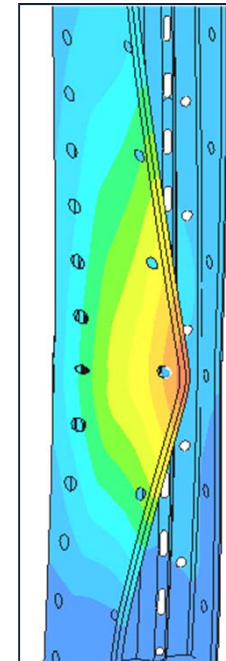


## ANALISI NON LINEARE GEOMETRICA E MECCANICA

18

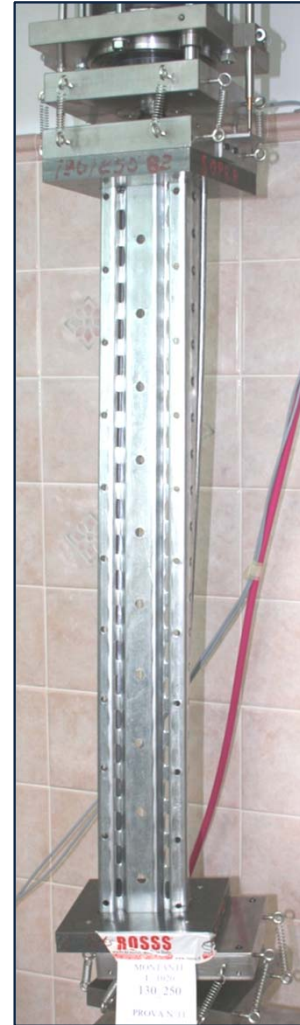
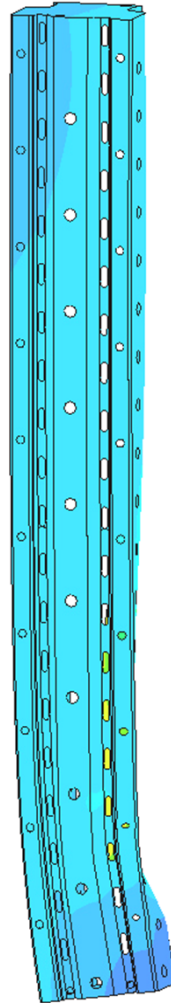
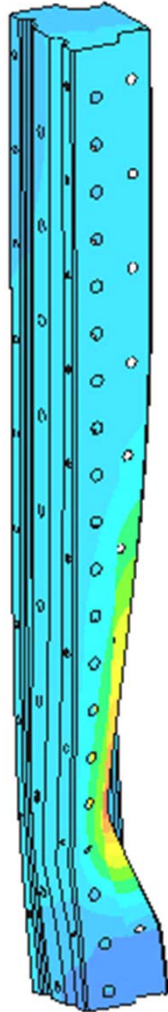


DISTORSIONAL BUCKLING

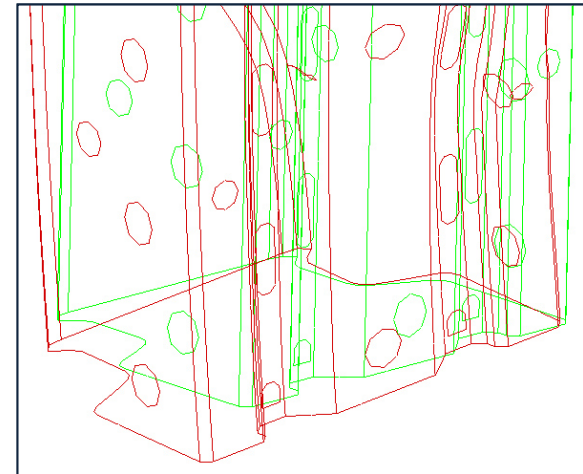


## ANALISI NON LINEARE GEOMETRICA E MECCANICA

e = 36 - 56

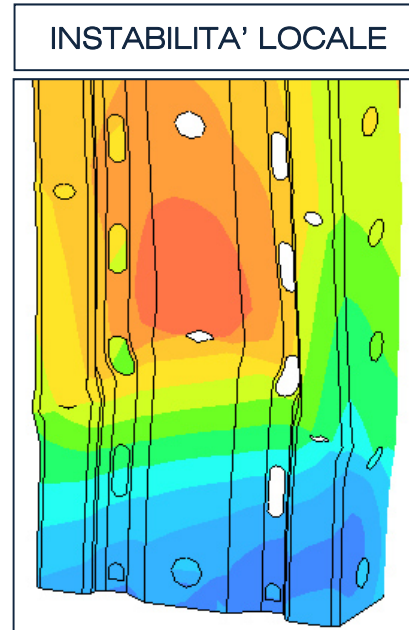
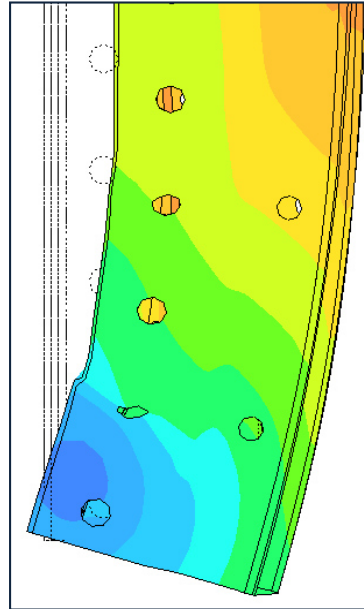
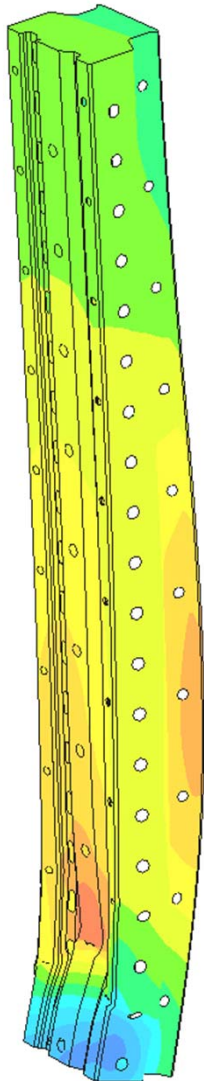


INSTABILITA'  
FLESSO TORSIONALE



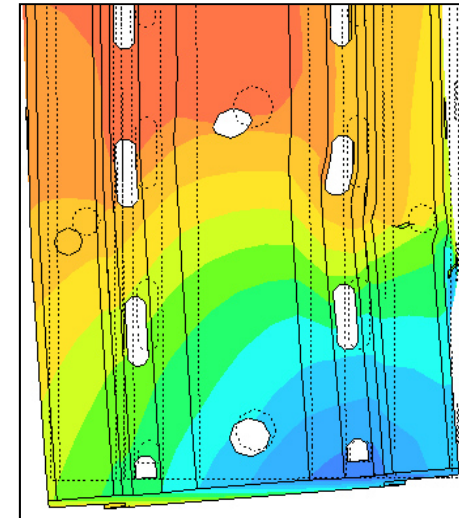
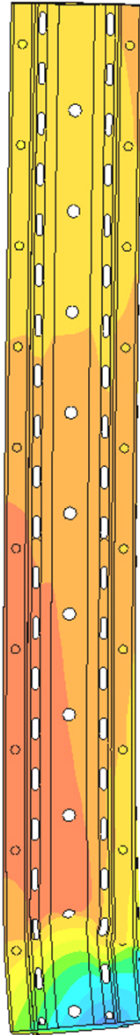
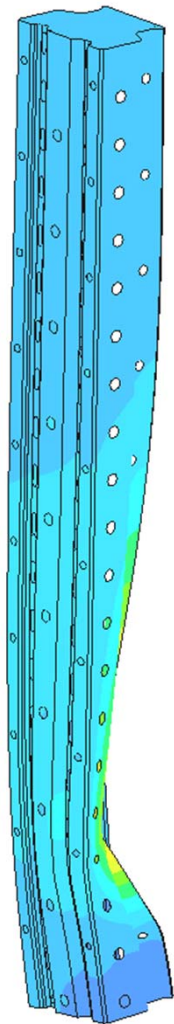
# ANALISI NON LINEARE GEOMETRICA E MECCANICA

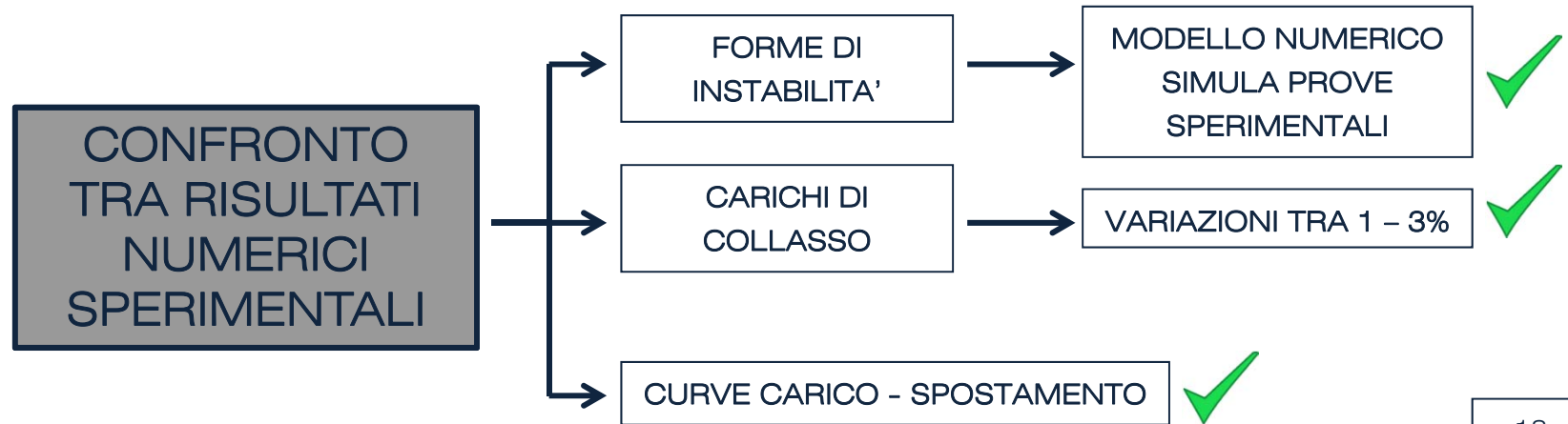
e = 18 asse di simmetria



# ANALISI NON LINEARE GEOMETRICA E MECCANICA

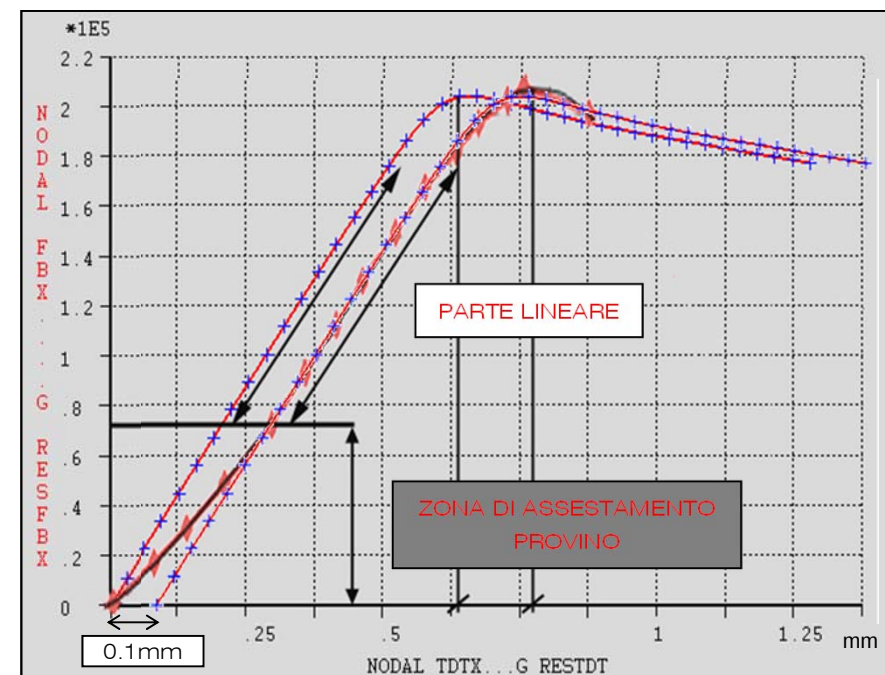
e = pres.flex. deviata





e18

| eccentricità | carico di collasso sperimentale (Kq) | carico di collasso numerico (Kq) | $\Delta$ sper/num |
|--------------|--------------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| e=0          | 27655                                | 28440                            | 2,8%              |
| e=18         | 21089                                | 20795                            | 2,2%              |
| e=36         | 18502                                | 18246                            | 2,0%              |
| e=56         | 13189                                | 13353                            | 1,8%              |
| e=18a.s      | 22234                                | 21610                            | 2,8%              |
| e=36/14      | 17452                                | 17737                            | 2,4%              |
| e=36/-14     | 16541                                | 16921                            | 2,2%              |



PROVE SPERIMENTALI

## UNI EN 15512

## VERIFICA A FLESSIONE E COMPRESSIONE ASSIALE

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} A_{eff} f_y / \gamma_M} + \frac{k_{LT} M_{y,Sd}}{\chi_{LT} W_{eff,y} f_y / \gamma_M} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{W_{eff,z} f_y / \gamma_M} \leq 1$$

Il valore del  $\chi_{min}$  viene calcolato come valore minimo tra il  $\chi_{db}$ ,  $\chi_{ft}$ ,  $\chi_t$ ,  $\chi_y$ ,  $\chi_z$ .

$\chi_y$ ,  $\chi_z$  sono i parametri di instabilità euleriana (essendo il profilo compresso è soggetto come tutte le aste a instabilità euleriana)

$\chi_{db}$  è il parametri di instabilità distorsionale

$\chi_{FT}$  è il parametro di instabilità flesso-torsionale

$\chi_t$  è il parametro di instabilità torsionale

$\chi_{LT}$  è il coefficiente di riduzione per l'instabilità latero-torsionale

**Area efficace:** è stato considerato il valore efficace della sezione ottenuto tramite prove di Stub Column precedentemente eseguite sul provino.

## UNI EN 1993 metodo B

## VERIFICA A FLESSIONE E COMPRESSIONE ASSIALE

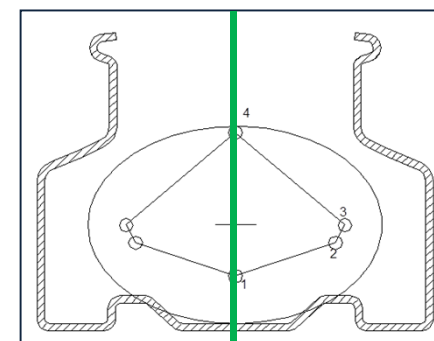
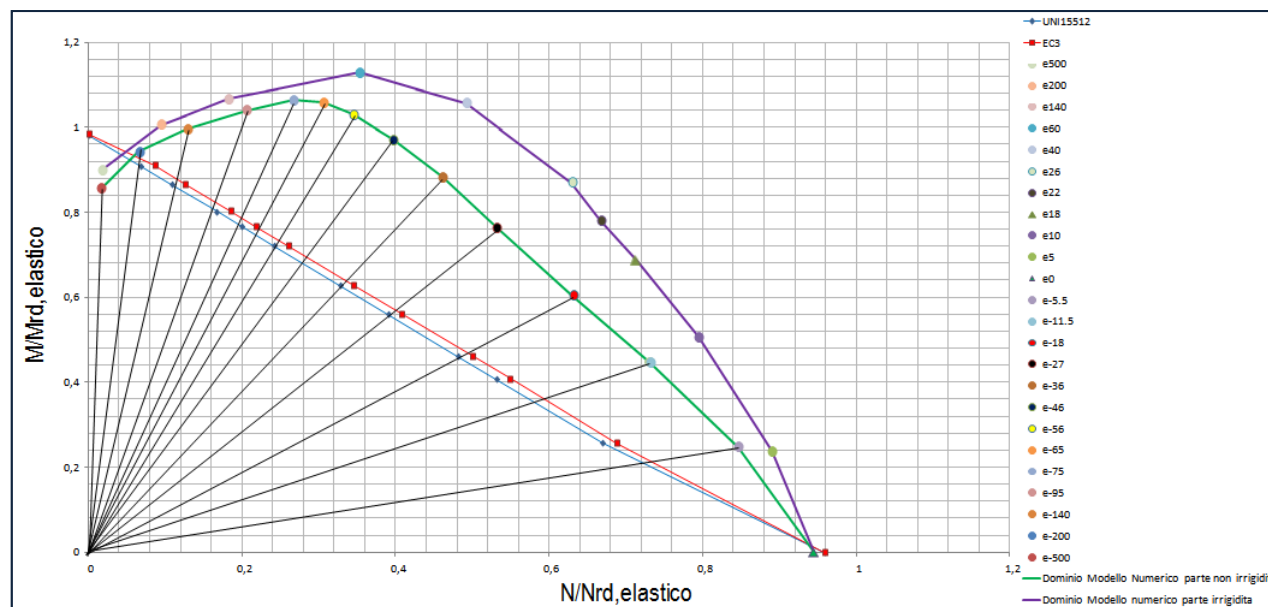
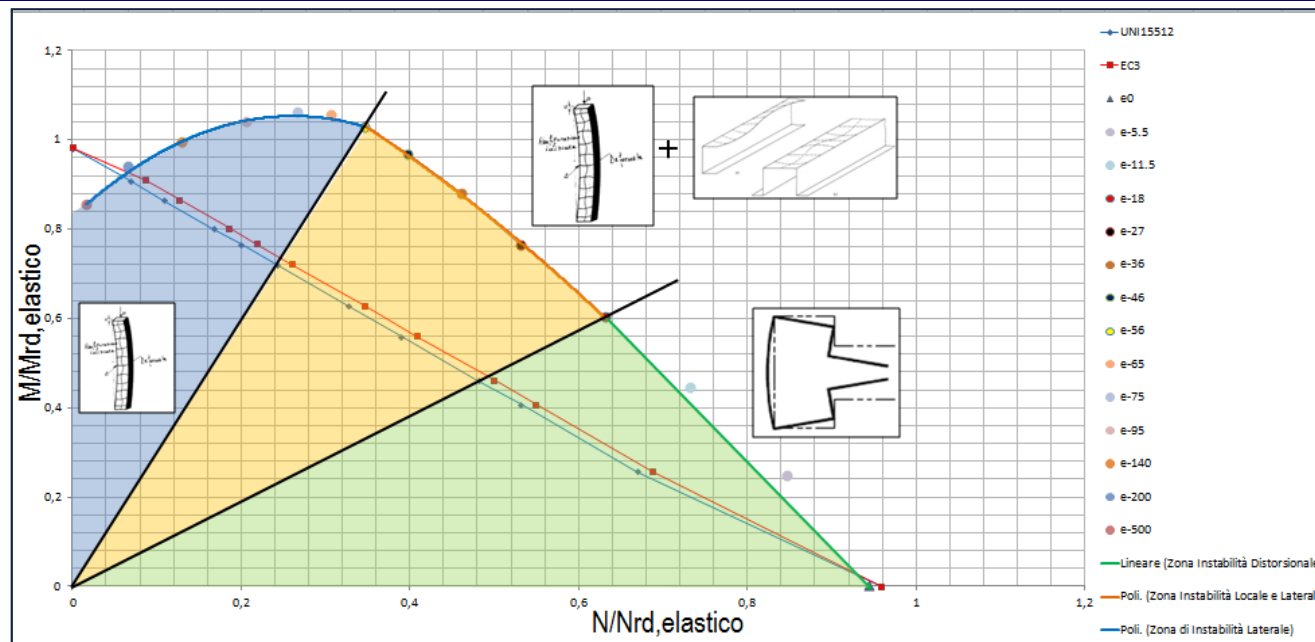
$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A_{eff} \cdot f_{yk}} + k_{yy} \cdot \frac{(M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}) \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{LT} \cdot W_{eff,y} \cdot f_{yk}} + k_{yz} \cdot \frac{(M_{z,Ed} + \Delta M_{y,Ed}) \cdot \gamma_{M1}}{W_{eff,z} \cdot f_{yk}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A_{eff} \cdot f_{yk}} + k_{zy} \cdot \frac{(M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}) \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{LT} \cdot W_{eff,y} \cdot f_{yk}} + k_{zz} \cdot \frac{(M_{z,Ed} + \Delta M_{y,Ed}) \cdot \gamma_{M1}}{W_{eff,z} \cdot f_{yk}} \leq 1$$

In realtà l'area da introdurre all'interno di questa formula è decurtata di un parametro chiamato  $\chi_d$ ,

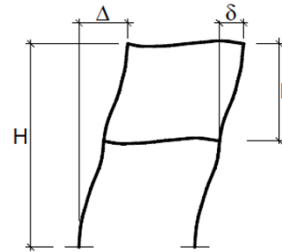
$\chi_y$ ,  $\chi_z$  sono i parametri di instabilità euleriana (essendo il profilo compresso è soggetto come tutte le aste a instabilità euleriana)

$\chi_{LT}$  è il coefficiente di riduzione per l'instabilità latero-torsionale



VERIFICHE  
SPOSTAMENTI  
SLE

NTC2008



| Tipologia dell'edificio                        | Limiti superiori per gli spostamenti orizzontali |                    |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------|
|                                                | $\frac{\delta}{h}$                               | $\frac{\Delta}{H}$ |
| Edifici industriali monopiano senza carroponte | $\frac{1}{150}$                                  | /                  |
| Altri edifici monopiano                        | $\frac{1}{300}$                                  | /                  |
| Edifici multipiano                             | $\frac{1}{300}$                                  | $\frac{1}{500}$    |

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

COMBINAZ.  
RARA

SPOSTAMENTO MASSIMO LONG. IN SOMMITA'

42.62mm  $\Delta/H=0.00191 = 1/523$  ✓

SPOSTAMENTO MASSIMO TRASV. IN SOMMITA'

41.43mm  $\Delta/H=0.00186 = 1/537$  ✓

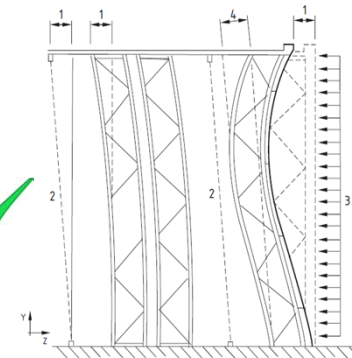
UNI EN 15620

VERIFICA PIU' RESTRITTIVA  
PRESENZA TRASLOELEVATORE

COMBINAZ.  
FREQUENTE

SPOSTAMENTO MASSIMO IN SOMMITA'

15,19mm ✓



UNI EN15512

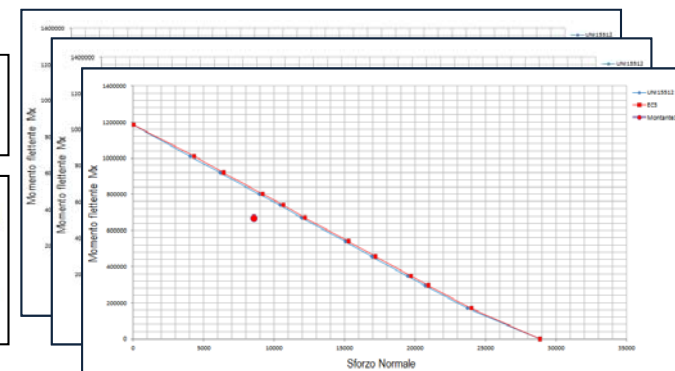
VERIFICHE SLU  
MONTANTI DI  
SPALLA

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} A_{eff} f_y / \gamma_M} + \frac{k_{LT} M_{y,Sd}}{\chi_{LT} W_{eff,y} f_y / \gamma_M} + \frac{k_z M_{z,Sd}}{W_{eff,z} f_y / \gamma_M} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_y \cdot A_{eff} \cdot f_{yk}} + k_{yy} \cdot \frac{(M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}) \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{LT} \cdot W_{eff,y} \cdot f_{yk}} + k_{yz} \cdot \frac{(M_{z,Ed} + \Delta M_{y,Ed}) \cdot \gamma_{M1}}{W_{eff,z} \cdot f_{yk}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_z \cdot A_{eff} \cdot f_{yk}} + k_{zy} \cdot \frac{(M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}) \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{LT} \cdot W_{eff,y} \cdot f_{yk}} + k_{zz} \cdot \frac{(M_{z,Ed} + \Delta M_{y,Ed}) \cdot \gamma_{M1}}{W_{eff,z} \cdot f_{yk}} \leq 1$$

UNI EN 1993



## ANALISI SISMICA

I metodi di analisi e verifica sismica delle scaffalature potranno tenere conto della natura e composizione delle unità di carico, e della loro interazione dinamica con la struttura portante: infatti, **le unità di carico**, che rappresentano la quasi totalità della massa del sistema, **sono a loro volta sistemi strutturali indipendenti**, con propri flessibilità e smorzamento, **non collegati rigidamente alla struttura dello scaffale**.

L'accelerazione del sisma produce in generale lo scivolamento delle unità di carico sui supporti, quando la forza d'inerzia supera la resistenza al movimento prodotta dall'attrito; è stato dimostrato che questo fenomeno avviene anche per sismi di bassa intensità, a causa dell'amplificazione strutturale.

Ne consegue una risposta dinamica diversa rispetto a quella di una sistema con masse rigidamente collegate alla struttura, e **ciò è tenuto in conto nella UNI/TS 11379 attraverso la definizione di uno spettro di progetto “modificato” a partire da quello definito dalla Normativa per le costruzioni**.

## ANALISI SISMICA

I requisiti di sicurezza specificati per tutte le tipologie di scaffalature sono:

- 1) **Prevenzione del collasso** (resistenza all'azione sismica senza che vi siano collassi locali o globali, conservazione dell'integrità strutturale e di una capacità resistente residua dopo un evento sismico, requisito soddisfatto con la verifica allo SLV)
- 2) **Limitazione del danno** (non vi sono prescrizioni particolari rispetto alla limitazione del danno)
- 3) **Movimento delle unità di carico** (rischio di caduta delle stesse che può produrre il collasso locale o globale della scaffalatura; questo rischio va identificato dal progettista dello scaffale utilizzando i criteri riportati nella UNI/TS 11379 e mitigato mettendo in opera presidi atti a prevenire danni alle strutture)
- 4) **Rischio di martellamento** (giunti sismici adeguati per evitare il martellamento tra scaffalature adiacenti non collegate e tra scaffalature ed elementi del fabbricato)

## ANALISI SISMICA

La classe d'uso (o il fattore d'importanza) è determinata in accordo con la UNI/TS 11379.

prospetto 4.3

### Coefficienti $C_u$ per le scaffalature

| Classe d'impiego                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Descrizione                                                                                  | Coefficiente $C_u$ |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| I                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Magazzini con operazioni completamente automatiche<br>Magazzino a scarsa occupazione (1) (2) | 0,7                |
| II                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Condizioni di magazzino normali, incluse aree di prelievo (picking) (2)                      | 1,0                |
| III                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Aree al dettaglio con accesso del pubblico                                                   | 1,5                |
| IV                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Prodotti pericolosi                                                                          | 2,0                |
| <p>(1) Condizioni del magazzino.<br/>In condizioni normali, solo personale autorizzato ed informato può accedere all'area di stoccaggio.<br/>Allo scopo di definire le classi di importanza, l'area di stoccaggio è definita come l'area inclusa nel perimetro degli scaffali più due volte la massima altezza dal pavimento al livello più alto dello scaffale o delle merci stivate, qualunque sia la maggiore.<br/>In magazzini a scarsa occupazione non si ha permanenza costante di persone nell'area di stoccaggio, ma l'accesso è consentito per sola manutenzione.<br/>Se le operazioni di carico e scarico non sono eseguite in modo automatico, la condizione d'impiego del magazzino deve essere specificata contrattualmente.</p> <p>(2) La Vita Nominale ridotta (corrispondente a 35 anni anziché 50) può essere considerata solo nei seguenti casi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- scaffalature non posizionate su un piano di un edificio;</li> <li>- scaffalature non utilizzate per aree al dettaglio o per prodotti pericolosi.</li> </ul> |                                                                                              |                    |

## ANALISI SISMICA

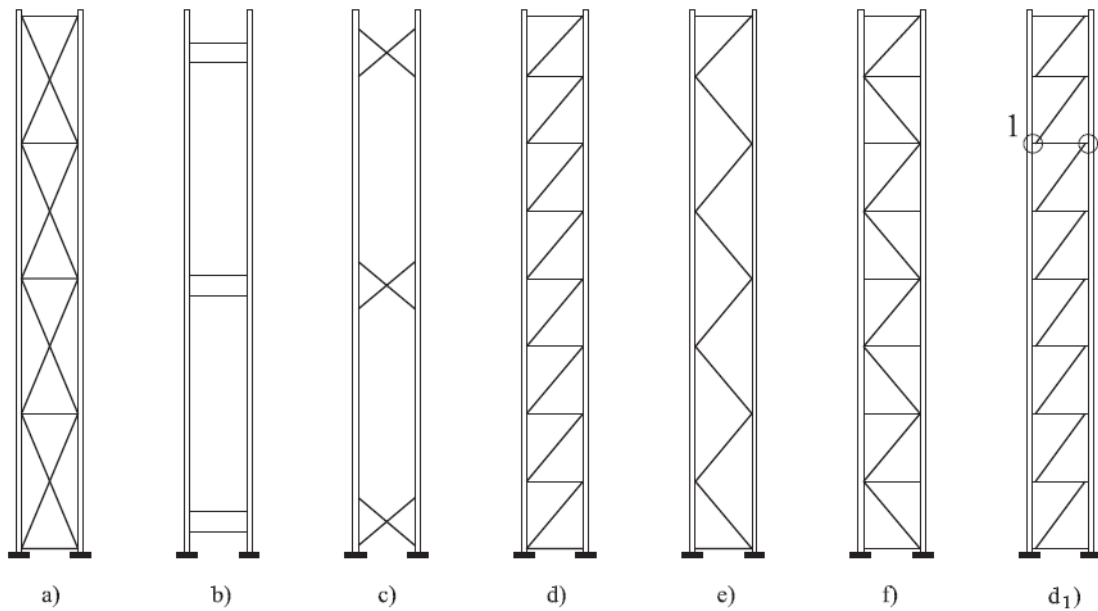
### 5.5.1

#### Spalle

##### Legenda

- 1 Zona dissipativa negli elementi orizzontali
- a) Spalla con diagonali solo tese
- b) Spalla calastrellata (Vierendeel)
- c) Spalla parzialmente controventata
- d) Spalla controventata schema a Z
- e) Spalla controventata schema a D
- f) Spalla controventata schema a K
- d<sub>1</sub>) Spalla controventata dissipativa schema a Z

UNI/TS 11379



## ANALISI SISMICA

### Modellazione e analisi

Il metodo di riferimento per determinare gli effetti dell'azione sismica è l'**analisi modale con spettro di risposta**.

La risposta alla sollecitazione dinamica di uno scaffale, non è però legata alla sola duttilità del materiale, ma anche all'interazione e all'accoppiamento del sistema strutturale portante con le unità di carico, che rappresentano la grande maggioranza della massa.

Si tiene conto di questa interazione mediante coefficienti che **modificano lo spettro di progetto ( $E_{D1}$ ) ed il peso sismico del pallet ( $E_{D2}$ )**, in particolare:

- il **coefficiente  $E_{D1}$** , che tiene conto dell'effetto globale del movimento macroscopico delle unità di carico sulle travi porta pallet, il quale si manifesta al superamento di una soglia di sollecitazione orizzontale, funzione del coefficiente d'attrito tra pallet e travi; numericamente  $E_{D1}$  modifica l'ordinata dello spettro di progetto (la formula per il calcolo di  $E_{D1}$  è stata sviluppata mediante studi numerici condotti all'Università di Liegi)

## ANALISI SISMICA

- il coefficiente  $E_{D2}$ , che tiene conto dello **smorzamento interno** dei pallets; tale parametro definisce un valore di massa partecipante non superiore alla massa gravante, modifica il periodo di oscillazione e in genere riduce la sollecitazione

### Coefficiente di riempimento dello scaffale

- per analisi nel piano del telaio  $R_F = 0,8$
- per analisi nel piano della spalla  $R_F = 1,0$

### Fattore di struttura

Nell'ambito delle strutture poco dissipative (con  $q \leq 2$ ), le principali tipologie sono:

**spalle:** strutture verticali tralicciate, generalmente a diagonali tese e compresse ( $q = 1,5$ )

**telaio longitudinale:** telaio non controventato a nodi semirigidi ( $q = 2$ )

**controventi verticali:** ( $1,5 \leq q \leq 2$ )

## ANALISI SISMICA

fattore di struttura

| Tipo di spalla   | Tipologia strutturale                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Regole di dettaglio per elementi dissipativi | Valore max del fattore $q$                                                                |                          |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                              | Scaffale regolare                                                                         | Scaffale non regolare    |
| a)               | controvento con diagonali tese                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | diagonali tese (punto 7.2.3)                 | 2 o 4 <sup>(1)</sup>                                                                      | 1,6 o 3,2 <sup>(1)</sup> |
|                  | controvento con diagonali tese e compresse                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | collegamenti delle diagonali (punto 7.1.1)   | 2,5<br>(con sezioni di classe 1-2)<br>2,0<br>(con sezioni di classe 1-2-3) <sup>(2)</sup> | 2,0<br><br>1,6           |
| b)               | deve essere impiegato un telaio calastrellato dissipativo, a patto che i requisiti delle strutture a telaio siano soddisfatti e gli spostamenti siano limitati; altrimenti deve essere assunto $q = 1,0$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                              |                                                                                           |                          |
| c)               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                              | 1,0                                                                                       | 1,0                      |
| d) - e) - f)     | poco dissipativa                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                              | 1,0 o 1,5 <sup>(3)</sup>                                                                  | 1,0 o 1,5 <sup>(3)</sup> |
| d <sub>1</sub> ) | telaio controventato in modo eccentrico con dissipazione di energia negli elementi orizzontali - dimensionamento secondo Legislazione Vigente <sup>(3)</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                              | 4                                                                                         | 3,2                      |
| (1)              | Può essere assunto $q = 4$ per controventi a X con elementi diagonali solo tesi solamente quando tutti i requisiti di duttilità del punto 7.2 sono soddisfatti. Infatti il requisito di comportamento omogeneo dissipativo della spalla descritto nel punto 7.2.3.5 è necessario per consentire alla struttura reticolare di comportarsi come un controvento. Quando questo requisito non è soddisfatto, la plasticità si concentra in una parte limitata del telaio, generalmente alla base, e il comportamento della spalla può essere assimilato ad un pendolo rovesciato: per questo schema si assume $q = 2$ secondo la UNI EN 1998-1. |                                              |                                                                                           |                          |
| (2)              | Vedere lettera d) del punto 5.6.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                              |                                                                                           |                          |
| (3)              | Vedere lettera f) del punto 5.6.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                              |                                                                                           |                          |
| Nota             | Le eccentricità dei collegamenti devono essere in conformità alla UNI EN 15512.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                              |                                                                                           |                          |

## ANALISI SISMICA

### Modellazione e analisi

La sensibilità agli effetti dei grandi spostamenti (effetti del secondo ordine) è definita dal coefficiente:

$$\theta = q P_{\text{tot}} / P_{\text{cr,E}}$$

dove  $q$  è il fattore di struttura.

Al variare del valore di  $\theta$  gli effetti del secondo ordine dovranno essere tenuti in conto come di seguito specificato:

- per  $\theta < 0,1$  gli effetti del secondo ordine possono essere trascurati nell'analisi e nelle verifiche
- per  $0,1 \leq \theta \leq 0,3$  gli effetti del secondo ordine devono essere considerati, ma possono essere trattati indirettamente, amplificando del coefficiente  $1/(1-\theta)$  gli effetti dell'azione sismica valutata con la teoria del 1° ordine

## ANALISI SISMICA

- per  $0,3 \leq \theta \leq 0,5$  gli effetti del secondo ordine dovranno essere considerati esplicitamente
- $\theta > 0,5$  non accettabile

Se  $q \leq 2$  l'analisi modale a spettro di risposta dovrà includere l'amplificazione della risposta modale dovuta agli effetti del secondo ordine

Se  $q > 2$  l'analisi dovrà considerare gli effetti del 2° ordine e le non linearità del materiale, come indicato nella UNI TS 11379; se  $\theta > 0,5$  l'analisi dovrà essere del tipo time history. Potranno essere utilizzati altri metodi di analisi, in accordo con la EN 1998-1.

## ANALISI SISMICA

### Regolarità strutturale

In scaffalature regolari in pianta, gli effetti della risposta al sisma potrà essere considerata separatamente nelle due direzioni principali

In **scaffalature non regolari in elevazione** il coefficiente di struttura  $q$  dovrà essere ridotto di un fattore 0.8 rispetto al valore nominale; il fattore di struttura potrà essere sempre non inferiore a 1.5, salvo dove diversamente previsto nella UNI/TS 11379 e nel caso dello scaffale cantilever con montanti non collegati in sommità, dove si dovrà assumere  $q=1$

La regolarità strutturale dello scaffale riguarda sia la disposizione delle masse, che la distribuzione delle rigidezze

### Combinazioni delle componenti dell'azione sismica

Sono le stesse utilizzate per gli edifici secondo le NTC 2008