

## I MODELLI DI CALCOLO E I PRINCIPALI PARAMETRI DI INPUT/OUTPUT DA ANALIZZARE

# Metodi di calcolo

**Norme:** D.M. 14.01.08 generale  
EC8 generale  
FEM 10.2.08 specifica  
UNI/TS 11379 specifica

**tutte concordano nel proporre i 4 metodi noti** forze equivalenti – statico lineare  
analisi modale – dinamico lineare  
push-over o simili – statico non lineare  
time-history – dinamico non lineare

Onere di calcolo vs. semplicità di applicazione ed interpretazione  
vs. accuratezza analisi vs. versatilità: miglior compromesso **analisi modale**

Le norme di settore (FEM 10.2.08 e UNI/TS 11379) meno severe nell'imporre i limiti di applicabilità dei metodi lineari

# Modelli di calcolo

## **Regolarità strutturale in pianta:**

- struttura regolare in pianta: 2 modelli 2D
- struttura irregolare in pianta: 1 modello 3D

## **Regolarità strutturale in elevazione:**

- struttura regolare in elevazione: permesse forze equivalenti
- struttura irregolare in elevazione: no forze equivalenti; analisi modale e  $q$  ridotto

# Schemi strutturali

Non si considerano qui strutture particolari e speciali quali ad esempio:

- drive-in
- drive-through
- cantilever
- automatici a mensole
- ecc.

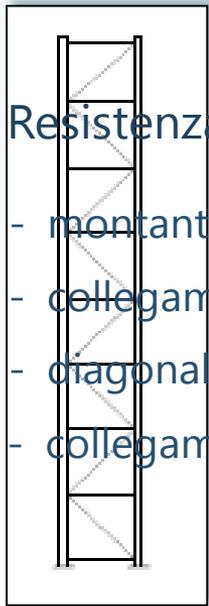
ma solo le scaffalature più frequenti nei magazzini:

- portapallet

# Schemi strutturali

Direzione trasversale ai corridoi (cross aisle)

- mensola a traliccio
- formata da due montanti
- collegati tra loro da traversi e/o diagonali bullonati



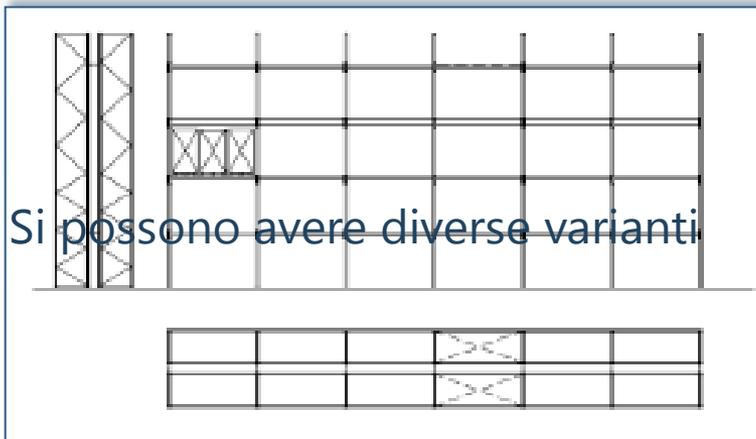
Resistenza sismica affidata a:

- montanti (azione prevalentemente assiale)
- collegamenti di base dei montanti (azione prevalentemente assiale)
- diagonali (azione esclusivamente assiale se bullonati)
- collegamenti dei diagonali ai montanti

# Schemi strutturali

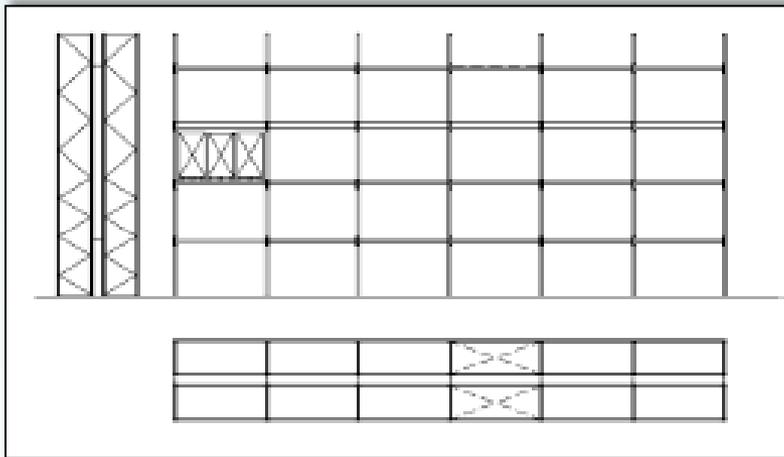
Direzione parallela ai corridoi (down aisle)

- telaio
- a maglie ortogonali
- con nodi semirigidi
- formato da montanti
- collegati tra loro da correnti mediante sistemi proprietari ad incastro o bullone



# Schemi strutturali

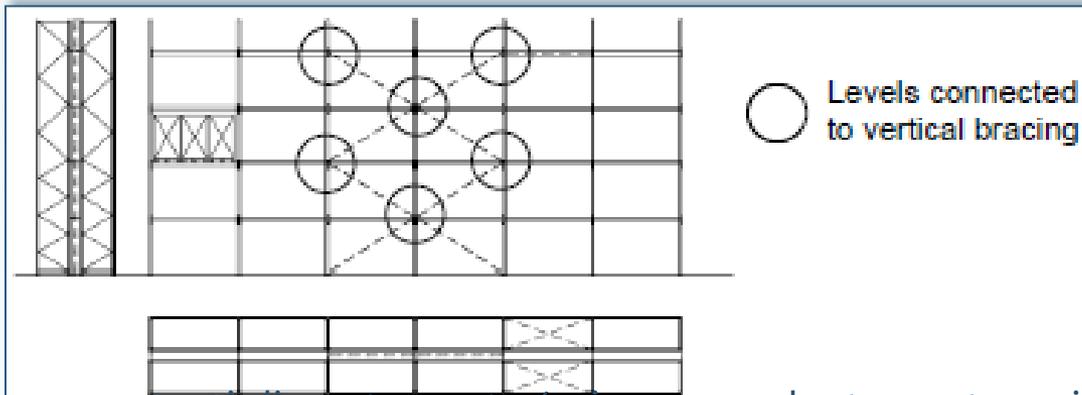
## Telaio a nodi semirigidi



- collegamenti di base dei montanti (azione flessionale)
- correnti (azione flessionale)
- collegamenti dei correnti ai montanti (azione flessionale)

# Schemi strutturali

Telaio pendolare con sistemi di controvento concentrici (complanari o fuori piano)



- montanti di controvento (azione prevalentemente assiale)
- controventi verticali (azione assiale)
- controventi orizzontali (azione assiale)
- collegamenti dei controventi al telaio (azione flessionale e tagliante)

# Schemi strutturali

Schema misto di telaio a nodi semirigidi con sistemi di controvento concentrici (complanari o fuori piano)

Resistenza sismica affidata in parte a:

- montanti (azione flessionale)
- collegamenti di base dei montanti (azione flessionale)
- correnti (azione flessionale)
- collegamenti dei correnti ai montanti (azione flessionale)

ed in parte a:

- montanti di controvento (azione prevalentemente assiale)
- controventi verticali (azione assiale)
- controventi orizzontali (azione assiale)
- collegamenti dei controventi al telaio (azione flessionale e tagliante)

# Schemi strutturali

Attenzione alle eccentricità, di qualsivoglia tipo esse siano

Generano:

- momenti di trasporto
- azioni secondarie indesiderate

che devono essere presi in conto coerentemente con i modelli e gli schemi assunti

# Input

Due macroargomenti da definire:

- azione sismica
- risorse strutturali

# Input – Parametri per la definizione dell'azione sismica

- coordinate geografiche del sito di installazione
- vita nominale dell'opera  $V_N$
- classe d'uso e relativo coefficiente d'uso  $C_U$
- vita di riferimento per l'azione sismica  $V_R$
- Stato Limite di interesse: per le scaffalature normalmente si guarda solo SLV
- periodo di ritorno allo SLV:  $T_R$
- accelerazione di picco su suolo rigido:  $a_g$
- coefficiente di amplificazione spettrale orizzontale:  $F_o$
- periodo normalizzato di inizio del tratto a velocità costante:  $T_C^*$
- categoria topografica
- categoria del sottosuolo

# Input – Parametri per la definizione dell'azione sismica

- riempimento scaffale per sisma longitudinale:  $R_L$  (di solito non meno di  $80 \div 85\%$ )
- riempimento scaffale per sisma trasversale:  $R_T$  (normalmente 100%)
- massa max del pallet (esempio 1000 Kg/pallet)
- massa del pallet in presenza di sisma (per esempio 85% della massa max = 850 Kg/pallet)
- fattore di struttura direzione longitudinale:  $q_L$  (\*)
- fattore di struttura direzione trasversale:  $q_T$  (\*)

(\*) tenuto conto di:

classe dei profili (in genere 4 o 3)

tipologia strutturale

aleatoria conoscenza della effettiva distribuzione delle masse

scarsa diversificabilità dei componenti

capacity design ... difficilmente applicabile tranne rari casi

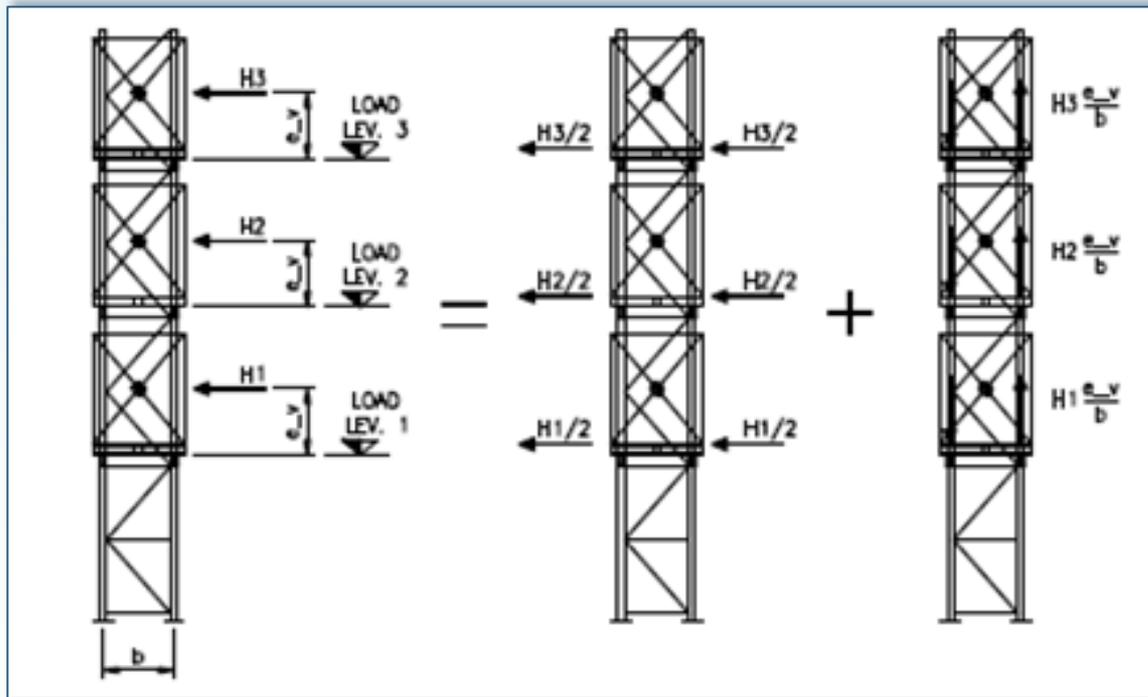
Le scaffalature si calcolano ... elastiche o ... basso dissipative ... con  $q \leq 1,5 \div 2,0$ .

# Input – Parametri per la definizione dell'azione sismica

- materiali a contatto: esempio travi in acciaio – pallet in legno
- coefficiente di attrito per calcolo fattore di riduzione dello spettro di progetto
- fattore di riduzione azioni sismiche per scivolamento pallet:  $0,4 < E_{D1} < 1,0$  (con rischio sismico medio-basso e legno-acciaio a contatto è abbastanza raro trovare  $E_{D1} < 1,0$  – quindi nessuno sconto)
- tipologia merce e grado di contenimento per valutare lo smorzamento interno delle unità di carico
- fattore di massa partecipante per smorzamento interno:  $E_{D2}$  (normale merce a magazzino 0,8; merci surgelate o estremamente compatte 1,0)
- coefficiente di riduzione spettro di risposta di progetto:  $E_{D3} = 1/1,5$  (solo FEM 10.2.08)

# Input – Parametri per la definizione dell'azione sismica

- effetti di sopraelevazione della massa dei pallet rispetto al piano di appoggio sui correnti



ma solo per valutare effetti sismici in direzione trasversale

# Input – Parametri per la definizione delle risorse strutturali

- proprietà sezionali efficaci ( $A_{eff}$ ,  $W_{eff}$  ecc. ) dei principali elementi strutturali:

**montanti**

**traversi/diagonali**

**correnti**

## Input – Parametri per la definizione delle risorse strutturali

- rigidezza  $K_{base}$  e resistenza  $M_{Rd,base}$  flessionali nel piano longitudinale del nodo di base dei montanti

ordini di grandezza

$$K_{base} \approx 10^8 \div 10^9 \text{ Nmm/rad}$$

$$M_{Rd,base} \approx 10^6 \text{ Nmm}$$

dipendono dal livello di azione assiale presente nei montanti

## Input – Parametri per la definizione delle risorse strutturali

- rigidezza  $K_v$  e resistenza  $M_{Rd,v}$  flessionali nel piano verticale del nodo corrente/montante

ordini di grandezza

$$K_v \approx 10^7 \div 2 \cdot 10^8 \div 3 \cdot 10^8 \text{ Nmm/rad}$$

$$M_{Rd,v} \approx 10^5 \div 2 \cdot 10^6 \div 3 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

## Input – Parametri per la definizione delle risorse strutturali

- rigidezza a taglio della spalla nel proprio piano

ordini di grandezza risultati di un frame shear test

**con torsione indotta nel montante  $K_{\text{frame}} \approx 1 \cdot 10^3 \text{ N/mm}$**

**senza torsione indotta nel montante  $K_{\text{frame}} \approx 5 \cdot 10^3 \div 3 \cdot 10^4 \text{ Nmm}$**

# Input – Parametri per la definizione delle risorse strutturali

Alcune proprietà sezionali efficaci (diagonali, correnti) possono essere ricavate analiticamente (es.: mediante EC3-1-5)

Per il resto si dipende pesantemente dal design by testing:

prove di laboratorio (esempio):

- stub-column test per  $A_{eff}$  montanti
- flessione nodo corrente/montante per rigidezza e resistenza
- pressoflessione nodo base montante per rigidezza e resistenza
- frame shear test per rigidezza fiancata nel suo piano

correttamente eseguite

in laboratorio qualificato e competente in materia

ma soprattutto ... correttamente interpretate (metodi statistici, vedi EN 15512)

## Output – Controlli minimi a valle delle analisi

- analisi andata a buon fine  
senza segnalazioni/warning da parte del solutore
- visualizzazione della struttura deformata e  
giudizio di sua congruità/plausibilità anche solo qualitativa  
basato sull'esperienza o su analogia con casi noti
- valutazione quantitativa degli spostamenti orizzontali globali  
(assoluti e relativi all'altezza)
- verifica dell'equilibrio globale tra azioni e reazioni vincolari
- verifica delle percentuali di massa mobilitata (minimo 85-90%)
- valutazione di periodo e massa mobilitata nei modi fondamentali e  
confronto con casi noti
- verifica dei tagli sismici alla base

## Output – Sensibilità agli effetti del II ordine

Una volta ritenuti affidabili i risultati dell'analisi determinare **subito** l'interstorey drift sensitivity coefficient  $\theta$  ossia il grado di esposizione della struttura agli effetti del II ordine e procedere di conseguenza.

**Qui purtroppo c'è discrepanza e confusione tra le norme**

## Output – Sensibilità agli effetti del II ordine (norme generali)

Le norme generali per gli edifici

D.M. 14.01.08 ed EC8

fissano gli intervalli ormai noti a tutti:

$0 < \theta \leq 0,1$       no effetti II ordine

$0,1 < \theta \leq 0,2$       si effetti II ordine  
trattabili anche indirettamente  
(es.: amplificare sisma per  $1/(1-\theta)$ )

$0,2 < \theta \leq 0,3$       si effetti II ordine  
trattabili solo direttamente  
(es.: push-over o time-history)

$0,3 < \theta$               non ammesso  
cambiare la struttura

## Output – Sensibilità agli effetti del II ordine (UNI/TS 11379)

mentre quelle di settore sono più permissive  
ad esempio per UNI/TS 11379

$0 < \theta \leq 0,1$       no effetti II ordine

$0,1 < \theta \leq 0,3$       si effetti II ordine  
trattabili anche indirettamente  
(es.: amplificare sisma per  $1/(1-\theta)$ )

$0,3 < \theta \leq 0,5$       si effetti II ordine  
trattabili solo direttamente  
(es.: push-over o time-history)

$0,5 < \theta$               non ammesso  
anche se non esplicitamente detto nella norma

indipendentemente dalla dissipatività della struttura

## Output – Sensibilità agli effetti del II ordine (FEM 10.2.08)

invece FEM 10.2.08

rimuove il limite superiore al valore di  $\theta$

e fa dipendere tutto dalla dissipatività

discriminando tra  $q$  maggiore o minore di 2

$q \leq 2$

$0 < \theta \leq 0,1$       no effetti II ordine

$0,1 < \theta$       si effetti II ordine  
trattabili anche indirettamente  
(es.: amplificare sisma per  $1/(1-\theta)$  anche se non  
raccomandato quando  $\theta > 0,3$  in quanto tende ad essere  
eccessivamente conservativo )

## Output – Sensibilità agli effetti del II ordine (FEM 10.2.08)

$q > 2$

$0 < \theta \leq 0,1$       no effetti II ordine

$0,1 < \theta \leq 0,3$       si effetti II ordine  
trattabili anche indirettamente  
(es.: amplificare sisma per  $1/(1-\theta)$ )

$0,3 < \theta \leq 0,5$       si effetti II ordine  
trattabili solo direttamente  
(es.: push-over o simili o time-history)

$0,5 < \theta$       si effetti II ordine  
trattabili solo direttamente  
(solo time-history)

## Output – Controllo azioni

Una volta accettati i risultati delle analisi

e accertato che queste siano compatibili con gli aspetti deformativi della struttura

si predispongono le combinazioni di carico SLU e SLV

e si può passare ai controlli sulle azioni interne e sulle reazioni vincolari.

## Output – Controllo azioni e collegamenti in cross-aisle

- trazione alla base del montante (struttura carica E parzialmente scarica)  
ordine di grandezza

$$N_{Sd} \approx 10^5 \text{ N}$$

- verifica all'estrazione dei fissaggi al pavimento

- azioni assiali nei diagonali

ordine di grandezza

$$N_{Sd} \approx 10^4 \text{ N}$$

- verifica (taglio, rifollamento, ecc.) dei loro collegamenti ai montanti  
**(fondamentale)**

## Output – Controllo azioni e collegamenti in down-aisle

### Strutture a telaio a nodi semirigidi:

- momento flettente nel piano verticale al nodo corrente/montante
- verifica resistenza disponibile (da test di laboratorio  $M_{Rd,v}$ )
- momento flettente reattivo alla base del montante
- verifica resistenza disponibile (da test di laboratorio  $M_{Rd,base}$ )

# Output – Controllo azioni e collegamenti in down-aisle

## Strutture a telaio pendolare controventate:

- azioni assiali alla base dei montanti di controvento (montanti carichi E parzialmente scarichi)  
ordine di grandezza  
 $N_{Sd} \approx 10^5 \text{ N}$
- verifica all'estrazione dei fissaggi al pavimento
- azioni assiali nei diagonali di controvento verticale  
ordine di grandezza  
 $N_{Sd} \approx 10^5 \text{ N}$
- verifica (taglio, rifollamento, ecc.) dei loro collegamenti al telaio (**fondamentale**)

**N.B.: comprese le eventuali eccentricità ed i loro effetti**

## Output – Controllo azioni e collegamenti in down-aisle

### Strutture miste a telaio a nodi semirigidi e controventate:

- momento flettente nel piano verticale al nodo corrente/montante
- verifica resistenza disponibile (da test di laboratorio  $M_{Rd,v}$ )
- momento flettente reattivo alla base del montante
- verifica resistenza disponibile (da test di laboratorio  $M_{Rd,base}$ )
- azioni assiali alla base dei montanti di controvento (montanti carichi **E** parzialmente scarichi)
- verifica all'estrazione dei fissaggi al pavimento
- azioni assiali nei diagonal di controvento verticale
- verifica (taglio, rifollamento, ecc.) dei loro collegamenti al telaio (**fondamentale**)

**N.B.: comprese le eventuali eccentricità ed i loro effetti**

## Output – Verifiche degli elementi

Di norma si usano profili sottili formati a freddo per i quali si applicano le regole particolari contenute nella EN 15512 praticamente un mini EC3-1-3 fatto apposta per le scaffalature.

Verifiche da effettuare sempre su tutti gli elementi:

- resistenza
- stabilità con presa in conto di lateral-torsional buckling ove pertinente (\*)

(\*) alcuni elementi possono essere aperti (es.: montanti, diagonali) quindi più esposti all'instabilità flessio- o latero-torsionale

## Output – Spostamenti della struttura

Mantenere sufficiente distanza tra edile e scaffalatura e tra scaffali adiacenti

per evitare martellamento in caso di sisma.

Ordine di grandezza:  $10^2$  mm

## Output – Movimenti dei pallet

Accertarsi della possibilità di:

- scivolamento dei pallet sulla scaffalatura
- ribaltamento dei pallet

e della conseguente potenziale situazione di pericolo per caduta dei pallet dentro o fuori della scaffalatura.

Comunicare gli esiti al RSPP dell'utilizzatore per le sue valutazioni di rischio.

## Output – Pavimento

Tutto il discorso fin qui fatto si regge su un presupposto elementare:

il pavimento del magazzino è la fondazione delle scaffalature e deve resistere alle azioni da queste trasmessegli.

Grazie per l'attenzione