

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 similari – 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.

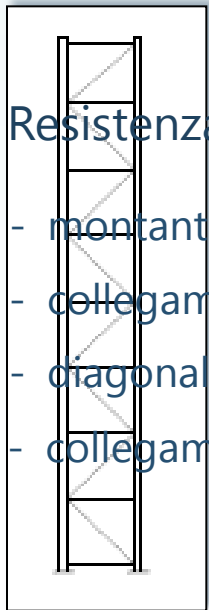
ma solo le scaffalature più frequenti nei magazzini:

- 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



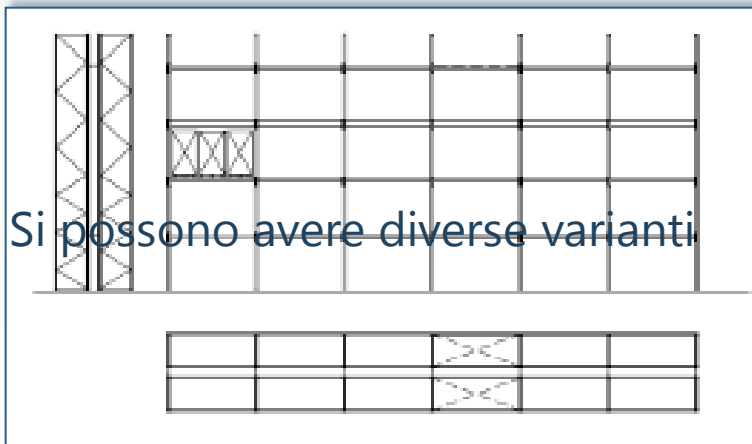
Resistenza sismica affidata a:

- 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

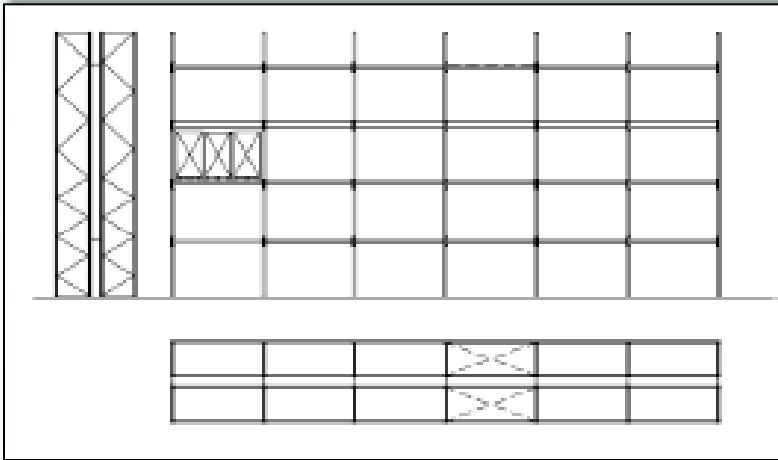
Direzione parallela ai corridoi (down aisle)

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



Schemi strutturali

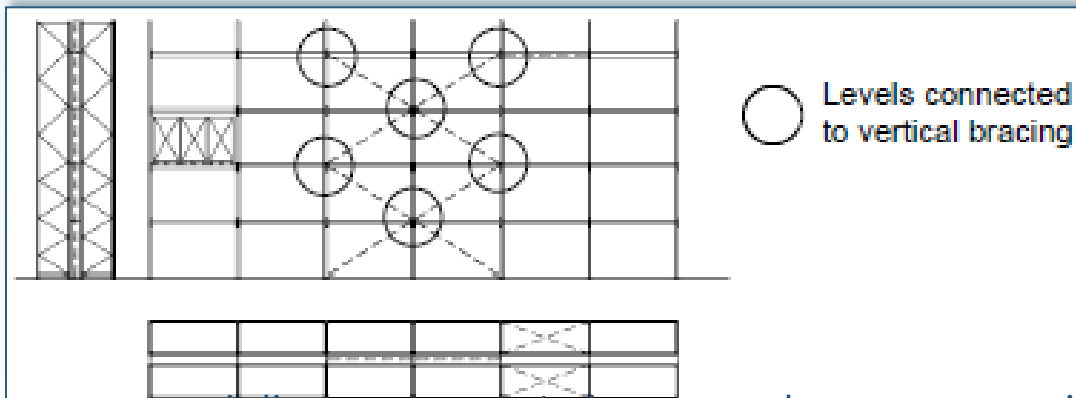
Telaio a nodi semirigidi



- 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

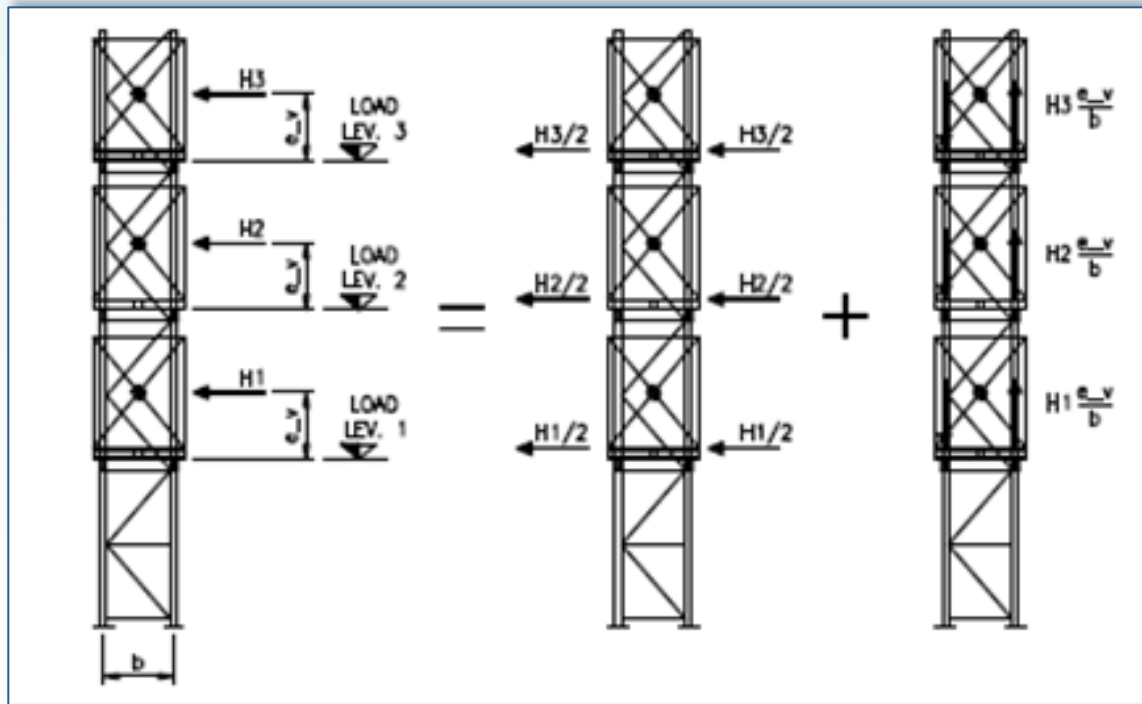
Le scaffalature si calcolano ... elastiche o ... basso dissipative ... con $q \leq 1,5 \div 2,0$.

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 θ 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 θ

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 diagonal 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