



IL RISCHIO SISMICO NEGLI STABILIMENTI INDUSTRIALI

Ing. Lucio Fattori



22° Salone Internazionale dell'Emergenza

DI COSA PARLEREMO

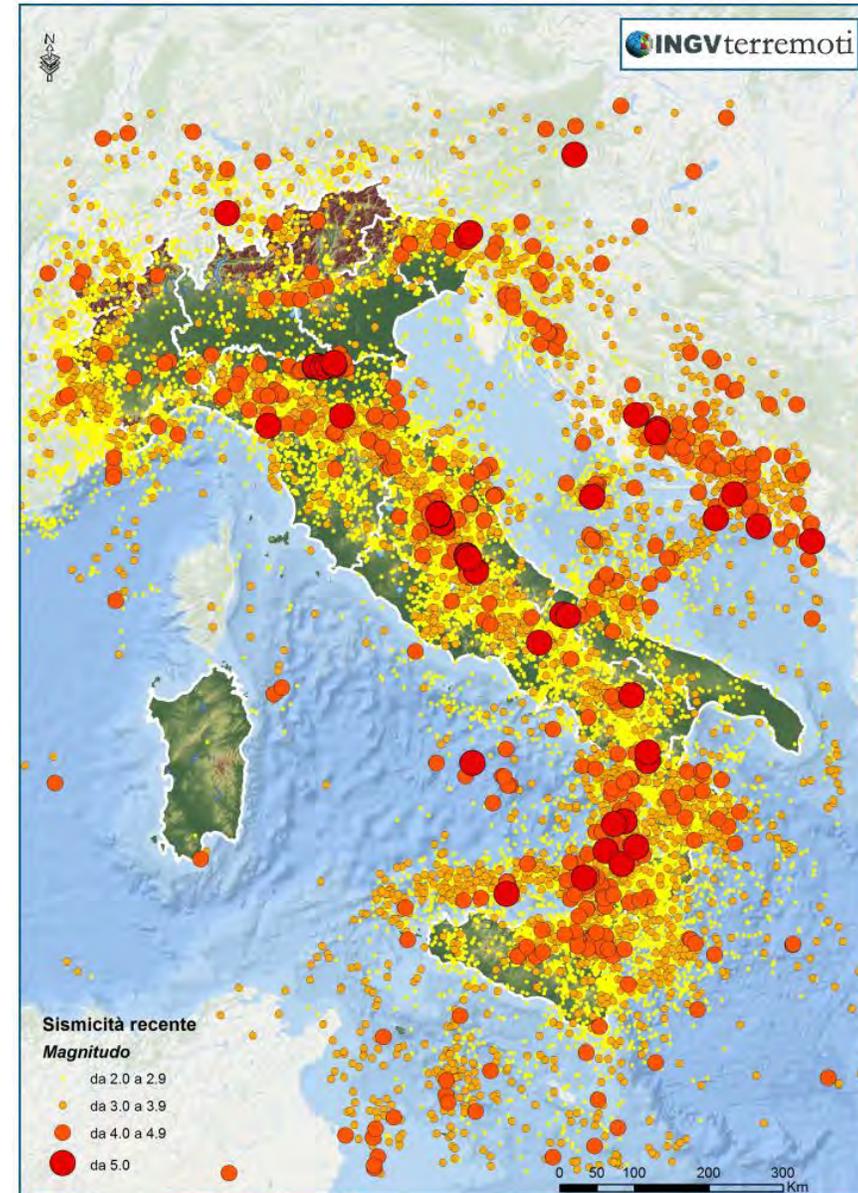
- Rischio sismico nelle attività produttive
- Aziende R.I.R. e Natech
- Sicurezza sismica delle scaffalature
- Sicurezza sismica dei serbatoi



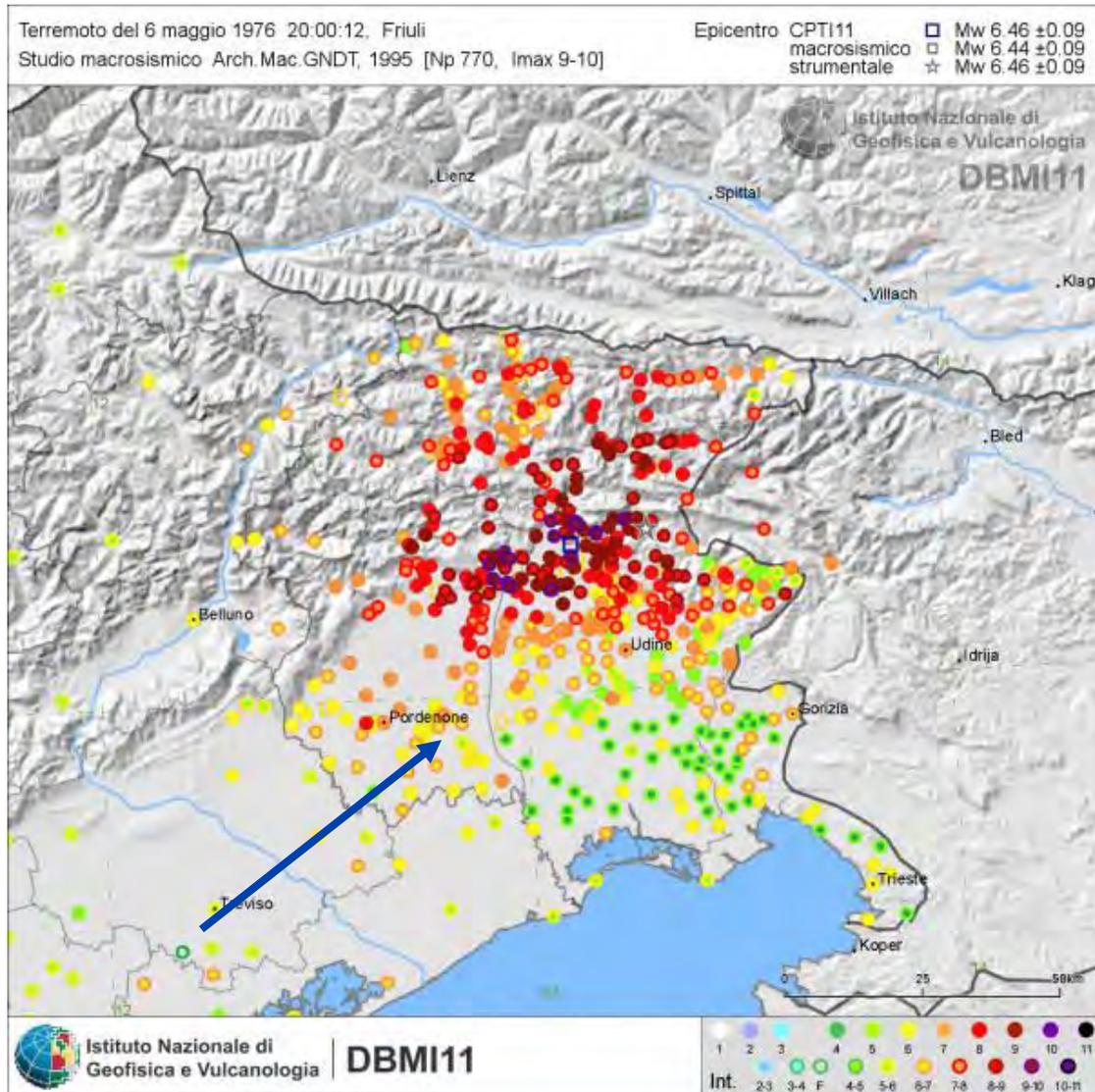
RISCHIO SISMICO NELLE ATTIVITÀ PRODUTTIVE

RISCHIO SISMICO NELLE ATTIVITÀ PRODUTTIVE

La sismicità dal 1985 al 2014.
Sono mostrati i terremoti di
magnitudo $ML \geq 2.0$ registrati dalla
Rete Sismica Nazionale
(Dati: Iside, <http://iside.rm.ingv.it>)



RISCHIO SISMICO: LO SCENARIO ITALIANO

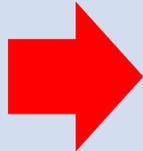


Mw 6.5 6 maggio 1976

I morti furono 989 e più di 100.000 gli sfollati. Gli edifici distrutti furono 18.000 e quelli danneggiati oltre 75.000.

VITA NOMINALE E CLASSE D'USO

Scopo della **classe d'uso** è indicare quanto può essere pericolosa l'interruzione di operatività della struttura in progetto.

Classe I		Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II:		Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente.
Classe III:		Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente.
Classe IV:		Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente.

VITA NOMINALE E CLASSE D'USO

Ad ogni classe d'uso è associato un “**coefficiente d'uso**” indicato con C_U . Il coefficiente d'uso non deve essere confuso con la classe d'uso, anche se i due parametri sono collegati tra loro.

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coeff. d'uso C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Si ricava così il periodo di riferimento per l'azione sismica:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

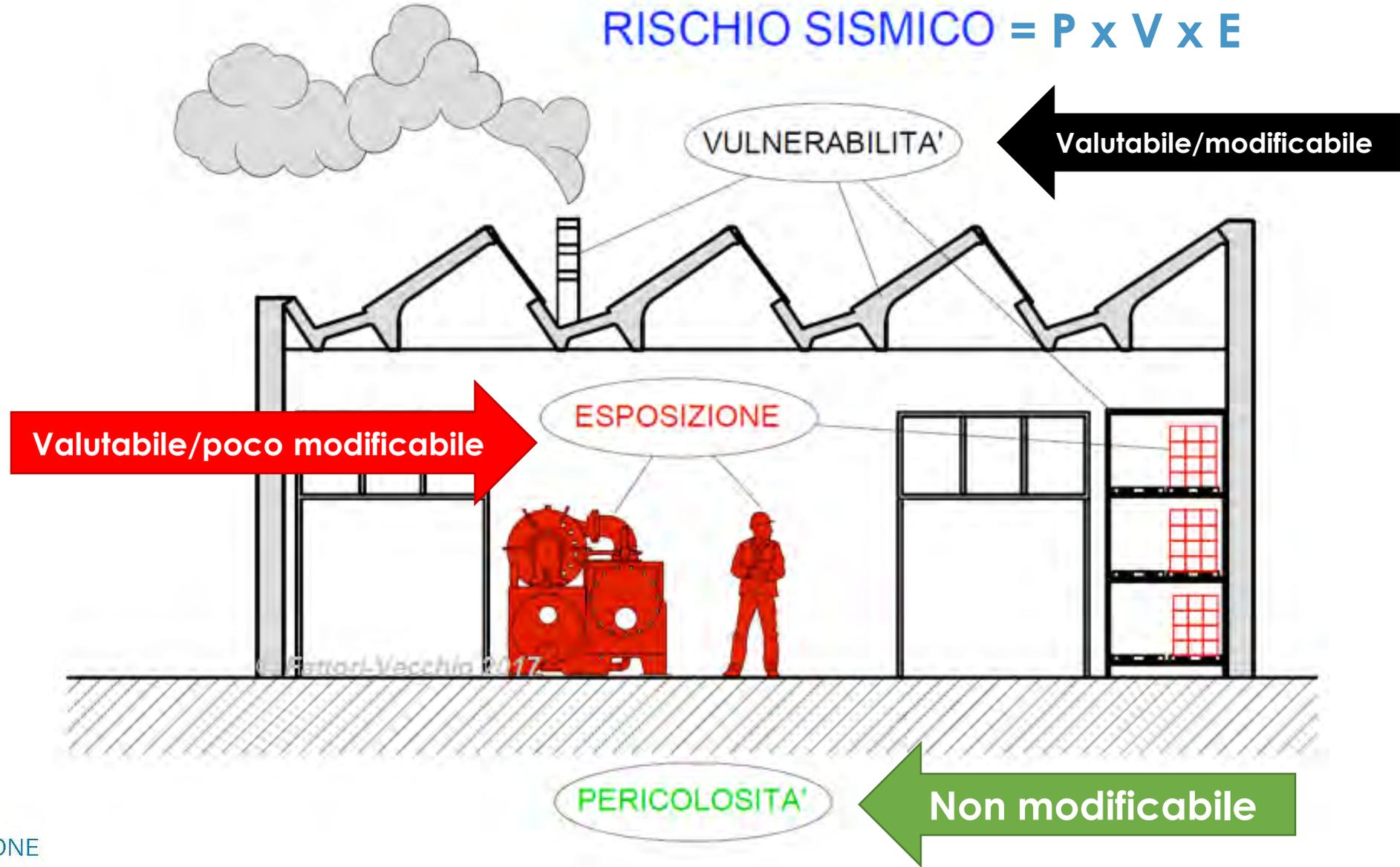
Quanto è
“preziosa”
l'opera

←

Quanto è
importante in
caso di sisma

Per le costruzioni a servizio di attività a rischio di incidente rilevante si adotteranno valori di C_U anche superiori a 2, in relazione alle conseguenze sull'ambiente e sulla pubblica incolumità determinate dal raggiungimento degli stati limite.

RISCHIO SISMICO



ATTENZIONE AGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI

Anche gli **elementi secondari, non strutturali** e gli **impianti** vanno considerati nello studio di vulnerabilità ed esposizione.

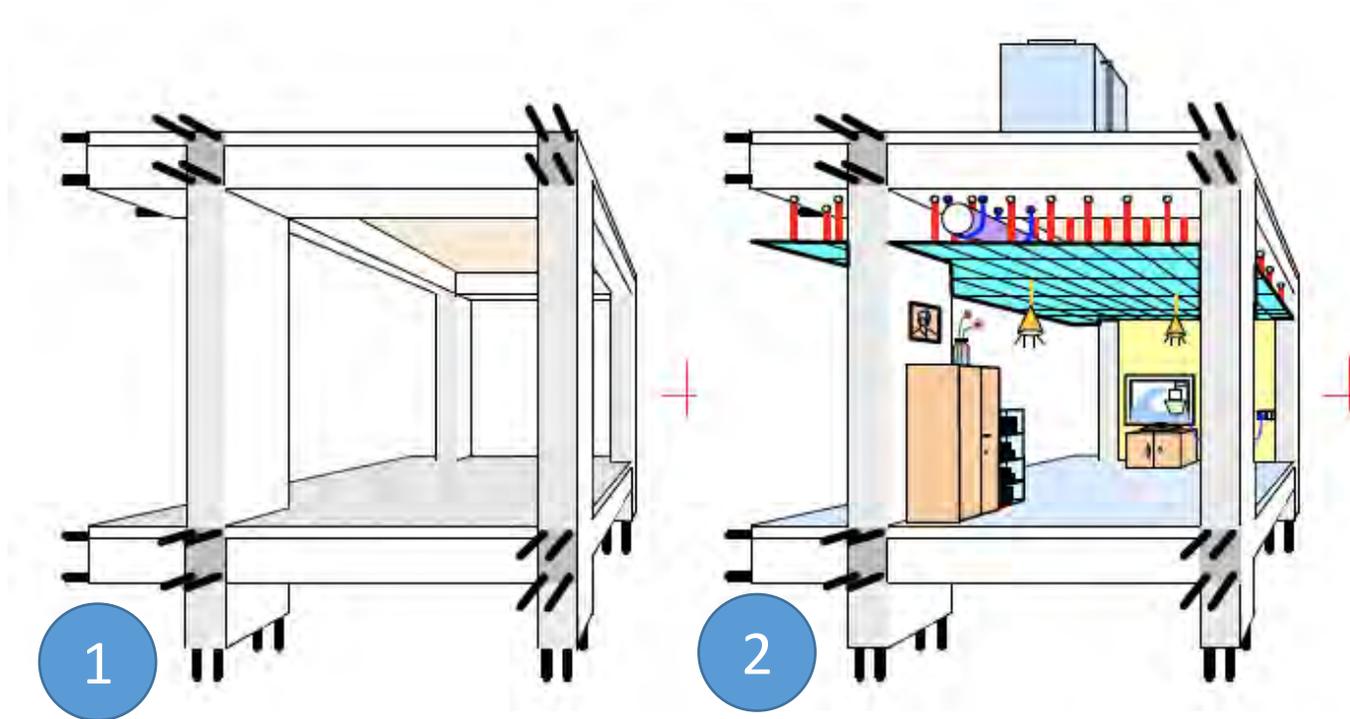
NTC2018 §7.2.2:

I sistemi strutturali sono composti di elementi strutturali primari ed eventuali elementi strutturali secondari. Agli elementi strutturali primari è affidata l'intera capacità antisismica del sistema; gli elementi strutturali secondari sono progettati per resistere ai soli carichi verticali.

NTC2018 §7.2.3:

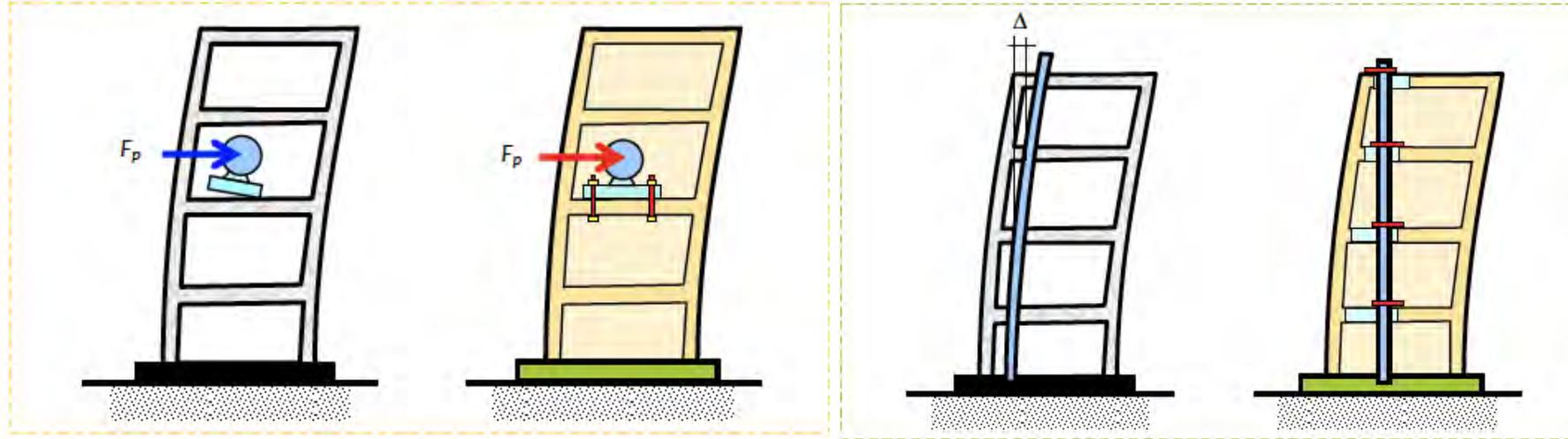
Per elementi costruttivi non strutturali s'intendono quelli con rigidezza, resistenza e massa tali da influenzare in maniera significativa la risposta strutturale e quelli che, pur non influenzando la risposta strutturale, sono ugualmente significativi ai fini della sicurezza e/o dell'incolumità delle persone.

ELEMENTI NON STRUTTURALI



*In quali ambienti viviamo e/o lavoriamo?
Nel caso 1 o nel caso 2?*

OBBLIGHI IN RELAZIONE AGLI IMPIANTI



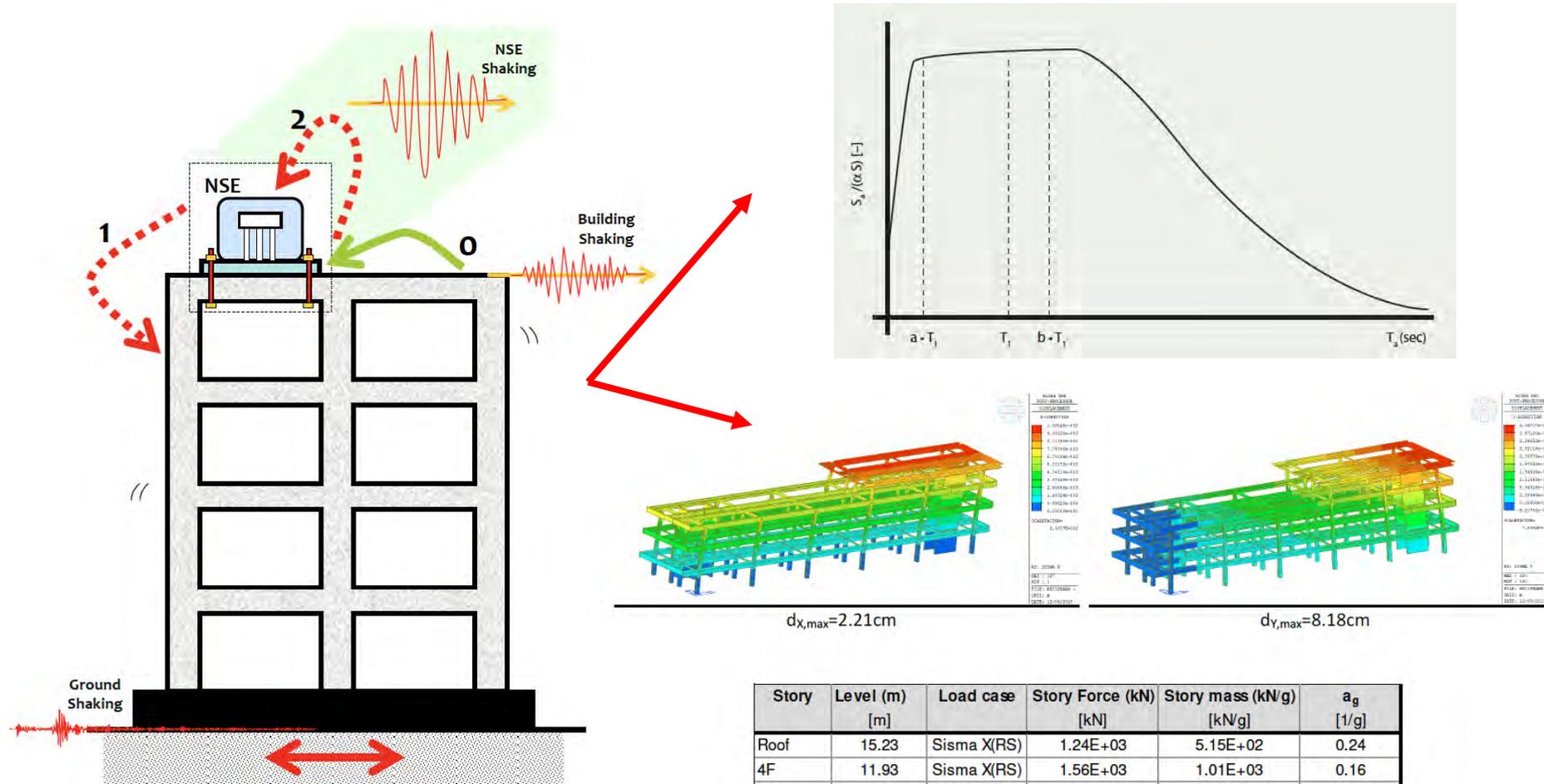
Tab. 7.3.III – Stati limite di elementi strutturali primari, elementi non strutturali e impianti

STATI LIMITE		CU I	CU II		CU III e IV			
		ST	ST	NS	IM	ST	NS	IM ^(*)
SLE	SLO					RIG		FUN
	SLD	RIG	RIG			RES		
SLU	SLV	RES	RES	STA	STA	RES	STA	STA
	SLC		DUT ^(**)			DUT ^(**)		

(*) Per le sole CU III e IV, nella categoria Impianti ricadono anche gli arredi fissi.

(**) Nei casi esplicitamente indicati dalle presenti norme.

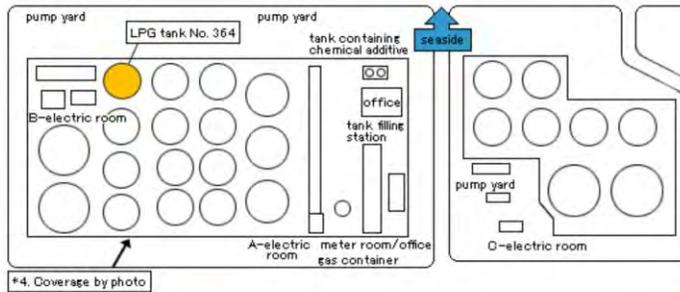
OBBLIGHI IN RELAZIONE AGLI IMPIANTI



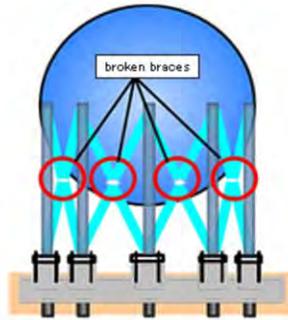
Story	Level (m) [m]	Load case	Story Force (kN) [kN]	Story mass (kN/g) [kN/g]	a_g [1/g]
Roof	15.23	Sisma X(RS)	1.24E+03	5.15E+02	0.24
4F	11.93	Sisma X(RS)	1.56E+03	1.01E+03	0.16
3F	8.20	Sisma X(RS)	1.12E+03	9.90E+02	0.12
2F	4.00	Sisma X(RS)	1.01E+03	1.32E+03	0.08
1F	0.00	Sisma X(RS)	-	-	-
Roof	15.23	Sisma Y(RS)	5.01E+02	5.15E+02	0.10
4F	11.93	Sisma Y(RS)	7.72E+02	1.01E+03	0.08
3F	8.20	Sisma Y(RS)	7.24E+02	9.90E+02	0.07
2F	4.00	Sisma Y(RS)	7.92E+02	1.32E+03	0.06
1F	0.00	Sisma Y(RS)	-	-	-

AZIENDE R.I.R. E NATECH

- La norma UNI/TS 11816-1:2021 "**Linee guida per la gestione di eventi NaTech nell'ambito degli stabilimenti con pericolo di incidente rilevante - Parte 1: Requisiti generali e sisma**" è una specifica tecnica che ha l'obiettivo di fornire, ai gestori di stabilimenti con pericolo di incidente rilevante, criteri, metodologie e procedure per la valutazione dei rischi NaTech sulla base delle migliori conoscenze al momento disponibili.
- La specifica tecnica integra la UNI 10617, che si applica comunque per la gestione di tutti rischi associati ai pericoli di incidente rilevante dello stabilimento, ivi compresi quelli indotti da pericoli o disastri naturali o da atti deliberati.



*4. Coverage by photo



Braces broke that supported the legs holding the LPG tank



*4. Leaked LPG caught fire. (Please refer the point where the fire broke out in the image shown in the layout of the tank area*2 on the previous page.)



2011 TOHOKU EARTHQUAKE – CHIBA REFINERY

La norma è disponibile sul sito UNI ed è entrata in vigore il 20 maggio 2021.

L'indice della norma è così strutturato:

- Introduzione
- Scopo e campo di applicazione
- Riferimenti normativi
- Termini e definizioni
- Requisiti generali
- Sisma
- Appendice A – Introduzione all'early warning
- Appendice B – Classificazione e pericolosità sismica
- Appendice C – La valutazione dell'azione sismica, effetti di sito e la liquefazione
- Appendice D – Valutazione sismica preliminare mediante ispezione
- Appendice E – Verifica sismica in base alle prescrizioni cogenti
- Appendice F – Approcci utili ai fini della definizione degli scenari incidentali dovuti al sisma
- Appendice G – Quadro di sintesi degli elementi di impianto e dei relativi danni per sisma
- Appendice H – Classi d'uso
- Appendice I – Macro-procedura per la mitigazione degli effetti di eventi sismici
- Appendice L – Scheda speditiva di valutazione degli effetti NaTech per sisma

NTC: CRITERI E TIPI DI INTERVENTO

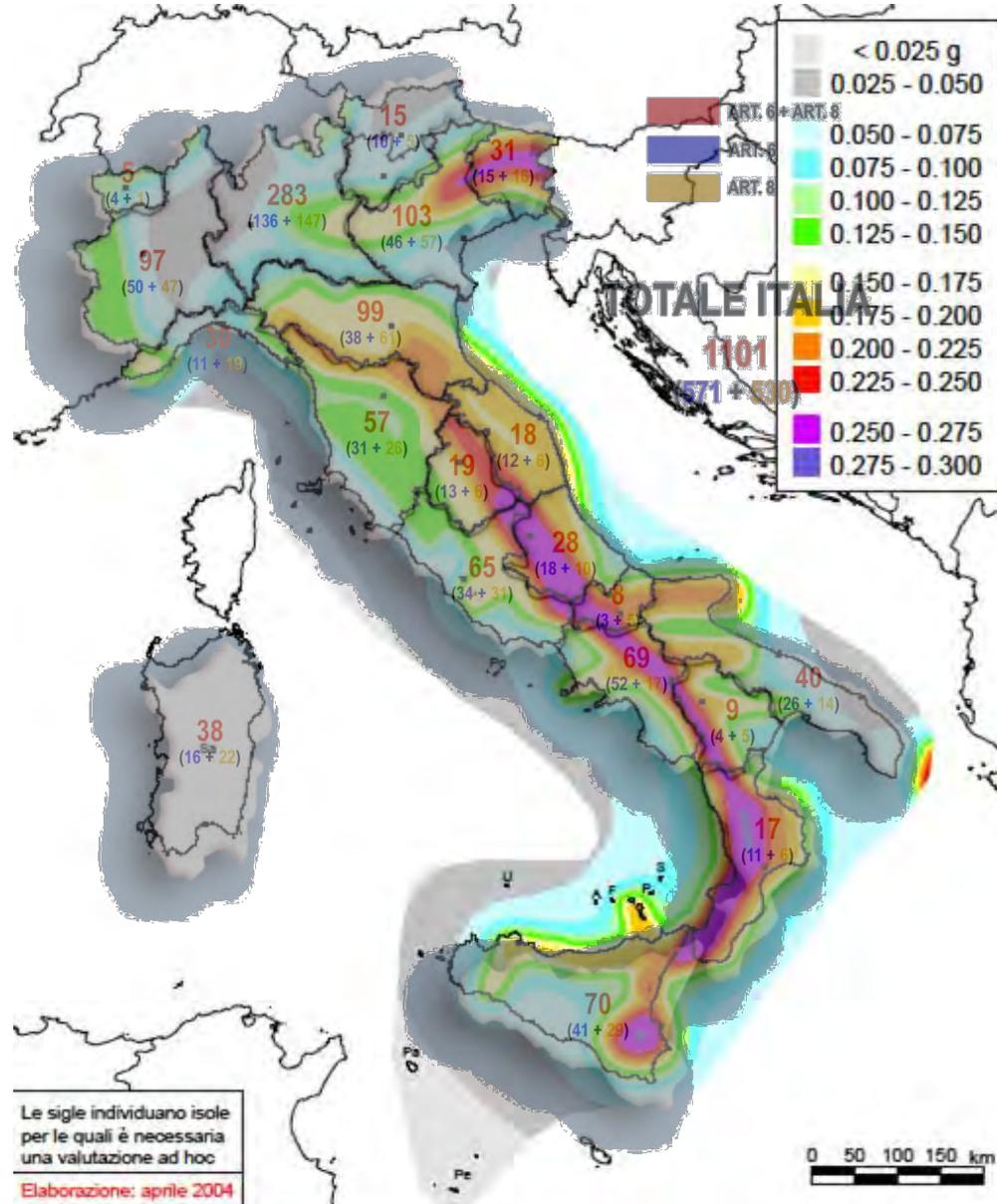
Fasi		Descrizione
Prima dell'evento	<p>Previsione/Prevenzione</p> <p>Include le attività effettuate dal gestore per eliminare o ridurre la probabilità di effetti disastrosi quali: l'effettuazione di una analisi di rischio comprensiva di identificazione dei pericoli, analisi di vulnerabilità, valutazione degli effetti, analisi costi-benefici e individuazione delle priorità e raccomandazioni di intervento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Acquisizione di informazioni sul NaTech ● Valutazione del rischio NaTech ● Piani/programmi per la mitigazione del rischio ● Siting, progettazione, costruzione nuovi impianti ● Esercizio e controllo degli impianti ● Early warning.
	<p>Preparazione</p> <p>Include attività che il gestore, in concorso con le Autorità ed altri soggetti, mette in atto per prevenire la perdita di vite umane e minimizzare i danni, quali: la predisposizione di piani di emergenza multi-pericoli, la loro validazione attraverso esercitazioni, nonché il loro riesame ed aggiornamento periodico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Pianificazione di emergenza ● Attività addestrative ● Comunicazione esterna.
Dopo l'evento	<p>Risposta</p> <p>Include le attività che il gestore, in concorso con le Autorità ed altri soggetti, mette in atto per salvaguardare vite umane, recettori ambientali e beni e per fornire assistenza in emergenza, quali: gestione delle risorse, coordinamento e mutuo supporto con altri soggetti pubblici e privati e con le Autorità.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Attuazione di azioni a seguito e/o nell'imminenza di evento, mitigazione effetti negativi sulla salute/ambiente/beni ● Inserimento scenari NaTech in sistemi di supporto decisioni in caso di evento sismico, tsunami, evento idro-meteo estremo.
	<p>Ripristino/follow-up</p> <p>Include le attività che il gestore mette in atto a breve e lungo termine per riportare tutti i sistemi alle loro prestazioni normali o comunque migliorate.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Attività iniziali di clean-up ● Disaster recovery e continuità gestionale ● Reporting incidente e analisi del danno.



1 / 4

**Mappa aziende
a rischio
incidente
rilevante**

Fonte: Il Sole 24 Ore



1 / 4

SICUREZZA SISMICA DELLE SCAFFALATURE

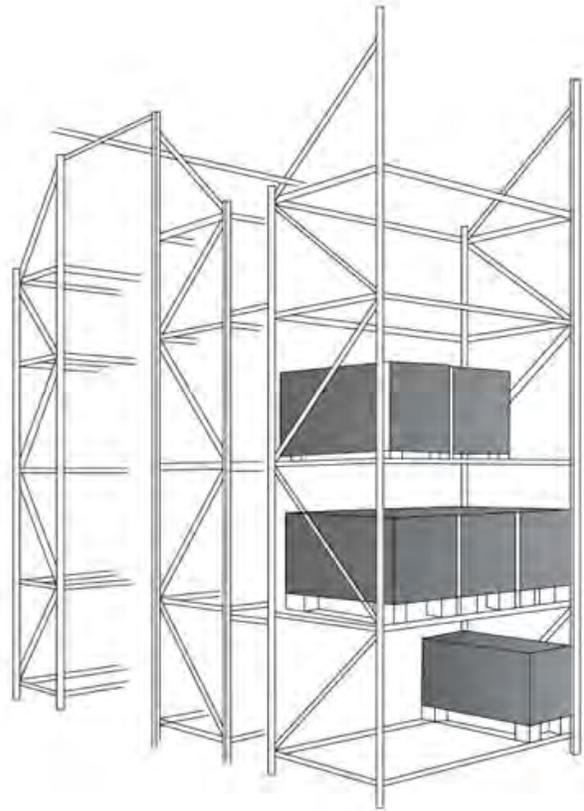
SICUREZZA DELLE SCAFFALATURE: NORME UNI EN

Norma UNI EN	Titolo
UNI EN 15512:2022	Sistemi di stoccaggio statici di acciaio - Scaffalature porta-pallet - Principi per la progettazione strutturale
UNI EN 15620:2021	Sistemi di stoccaggio statici di acciaio - Scaffalature porta-pallet - Tolleranze, deformazioni e interspazi
UNI EN 15629:2009	Sistemi di stoccaggio statici di acciaio - Specifiche dell'attrezzatura di immagazzinaggio
UNI EN 15635:2009	Sistemi di stoccaggio statici di acciaio - Utilizzo e manutenzione dell'attrezzatura di immagazzinaggio
UNI EN 15878:2010	Sistemi di stoccaggio statici di acciaio - Termini e definizioni
UNI EN 16681:2016	Sistemi di stoccaggio statici di acciaio - Scaffalature porta-pallet - Principi per la progettazione sismica

SICUREZZA DELLE SCAFFALATURE: NORME UNI

Norma UNI	Titolo
UNI 11575:2015	Scaffalature metalliche - Progettazione delle scaffalature drive-in e drive-through per lo stoccaggio statico di pallet
UNI 11598:2015	Sistemi di stoccaggio statici di acciaio - Scaffalature Cantilever - Principi per la progettazione strutturale
UNI 11636:2023	Scaffalature industriali metalliche - Validazione delle attrezzature di immagazzinamento
UNI 11262:2017	Scaffalature metalliche - Scaffalature commerciali di acciaio - Requisiti, metodi di calcolo e prove, fornitura, uso e manutenzione

Scaffali regolabili per pallet (Adjustable pallet racking - APR) categorie identificate dalla norma UNI EN 15620:



Merci pallettizzate

Scaffale con traslo-
elevatore di classe 100

Scaffale con traslo-
elevatore di classe 200

Scaffale a corridoio molto
stretto classe 300

Scaffale a corridoio stretto
classe 400

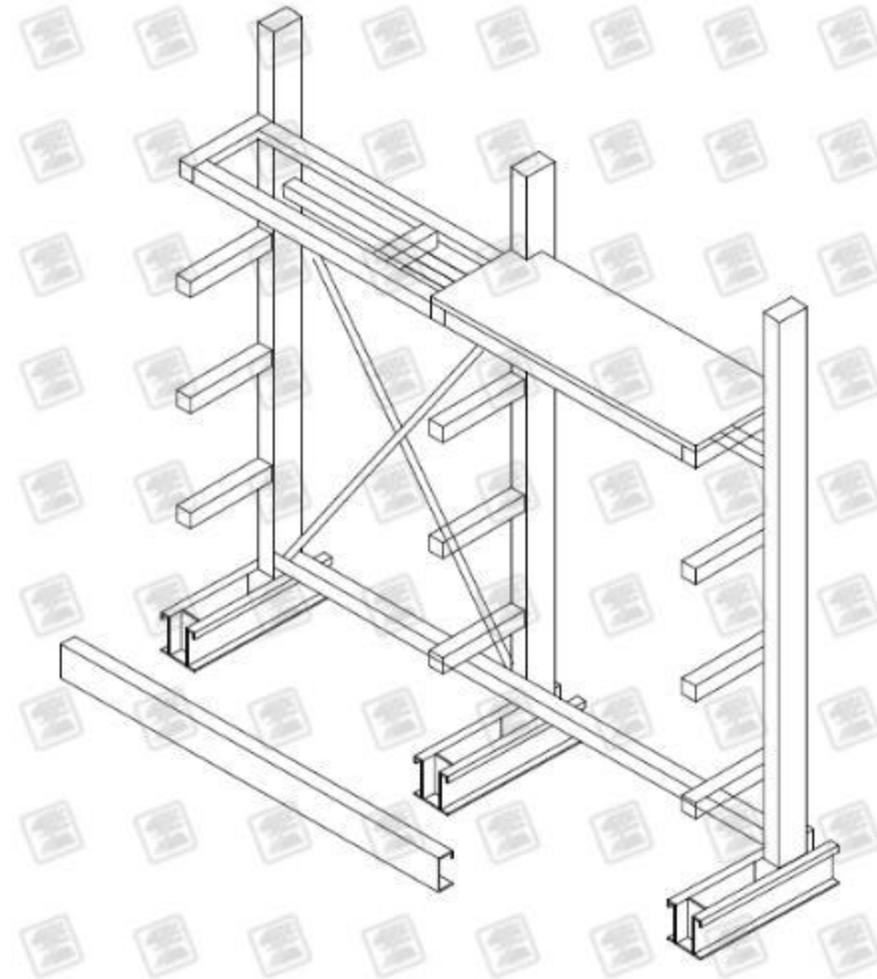
Scaffale a corridoio largo
classe 400

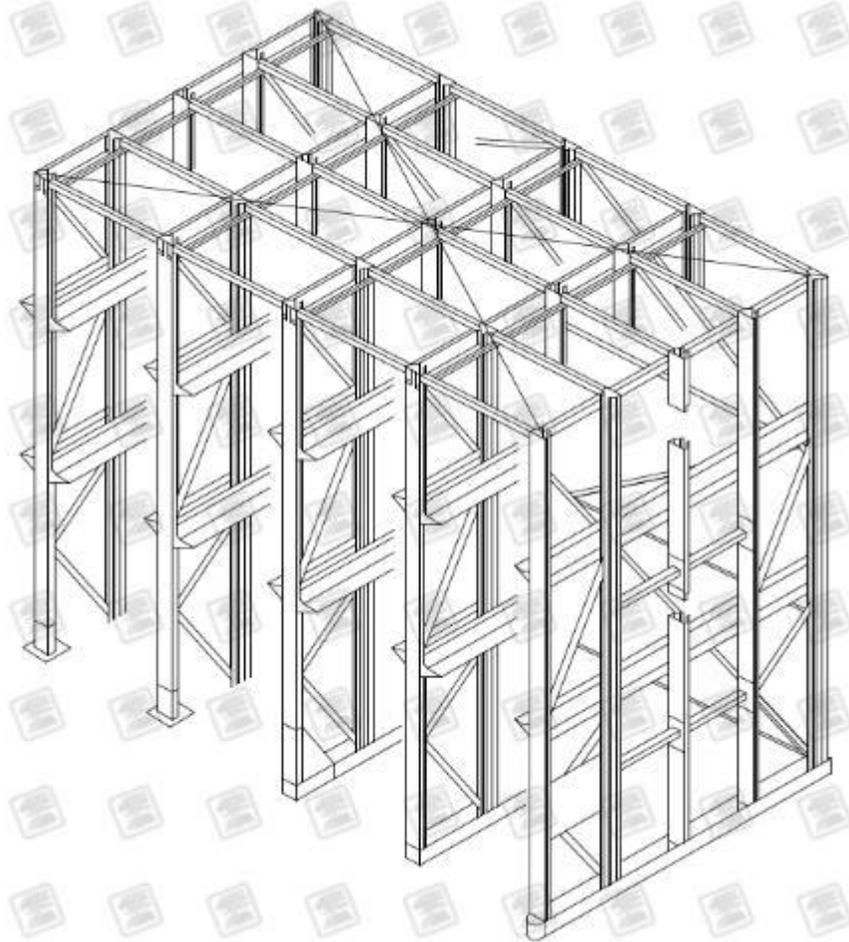
Cantilever:

scaffalature realizzate con una struttura base costituita da una colonna e dalle sue mensole, che possono essere collocate a diverse altezze.

L'insieme di queste strutture base, accostate ad intervalli regolari e tra loro collegate, forma la scaffalatura cantilever.

Questa scaffalatura è solitamente destinata allo stoccaggio di elementi "lunghi" (come per esempio tubi, profilati metallici, profilati plastici, ecc.).





Drive-in e drive-through:

note anche come scaffalature a inforamento e passaggio continuo, sono una variante delle scaffalature porta-pallet APR e sono utilizzate per lo stoccaggio intensivo di grandi quantità di pallet, per esempio di merci stagionali.

I pallet vengono disposti su apposite guide e i mezzi di prelievo sono guidati all'interno dello scaffale.

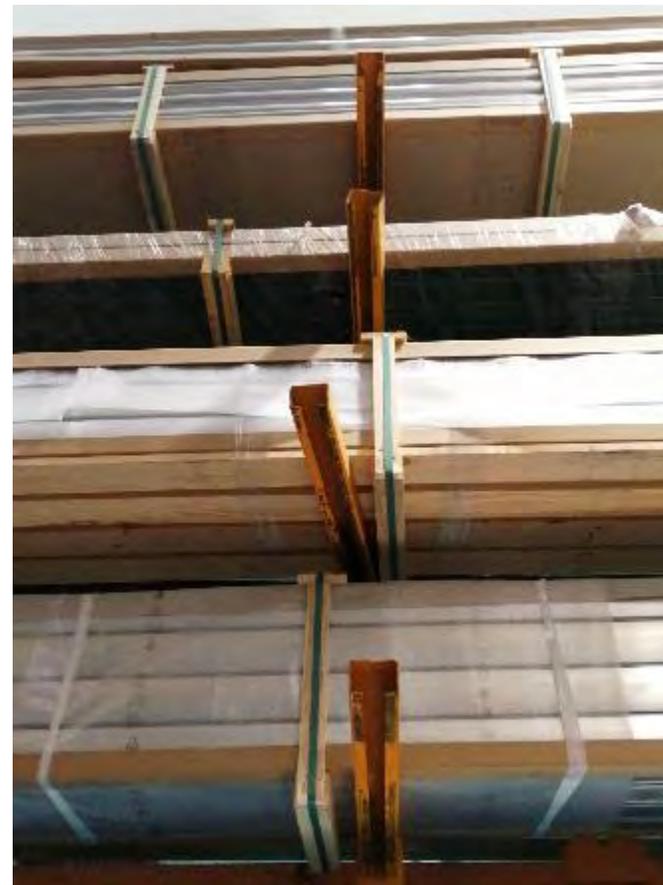
COME SONO MANTENUTE LE SCAFFALATURE?



COME SONO MANTENUTE LE SCAFFALATURE?



COME SONO MANTENUTE LE SCAFFALATURE?



SICUREZZA DELLE SCAFFALATURE: NORME UNI EN

Definizioni e specifiche	Progettazione e costruzione	Utilizzo e manutenzione	Validazione
UNI EN 15620:2009	UNI 11262:2017		
UNI EN 15629:2009	UNI EN 15512:2009	UNI EN 15635:2009	UNI 11636:2016
UNI EN 15878:2010	UNI EN 16681:2016		

UNI EN 15512:2021

Sistemi di stoccaggio statici in acciaio - Scaffalature portapallet regolabili - Principi per la progettazione strutturale

La norma specifica i requisiti di progettazione strutturale applicabili a tutti i tipi di sistemi di scaffalature portapallet con correnti regolabili, fabbricati con elementi in acciaio, destinati allo stoccaggio di unità di carico pallettizzate e soggetti a carichi prevalentemente statici. Sono inclusi sia i sistemi non controventati che quelli controventati. La norma fornisce linee guida per la progettazione di edifici autoportanti dove i requisiti non sono coperti dalla norma EN 1993. I requisiti di questa norma europea si applicano anche alle strutture ausiliarie, dove i componenti del rack sono impiegati come elementi strutturali principali. La norma non copre altri tipi generici di strutture di stoccaggio. In particolare, la norma non si applica a sistemi di stoccaggio mobili, scaffalature drive-in, drive-through e cantilever o sistemi di scaffalature statiche con ripiani in acciaio, né questa norma stabilisce regole di progettazione specifiche per la valutazione delle scaffalature in aree sismiche.

SICUREZZA DELLE SCAFFALATURE: NORME UNI EN

UNI EN 16681:2016

Sistemi di stoccaggio statici di acciaio - Scaffalature porta-pallet - Principi per la progettazione sismica

La norma specifica i requisiti di progettazione strutturale applicabili a tutti i sistemi di scaffalature porta-pallet costituiti da elementi di acciaio destinati allo stoccaggio di unità di carico e soggetti ad azioni sismiche. Sono esclusi altri tipi generici di strutture di stoccaggio.

L'applicazione di queste norme non è cogente, sono «solo» norme tecniche

Attenzione che le scaffalature non sia riconducibili a «strutture» per cui si applicherà NTC2018

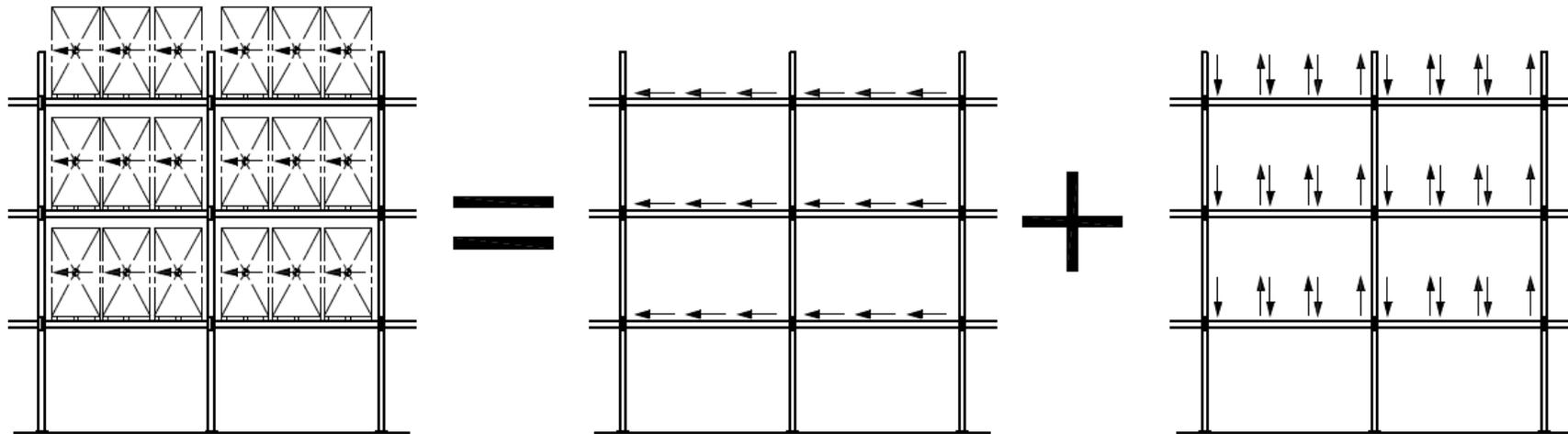
ATTENZIONE AGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI



ATTENZIONE AGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI



VERIFICA SISMICA DELLE SCAFFALATURE



5.2

Requisiti di prestazione

5.2.1

Requisito di non collasso

La struttura della scaffalatura deve essere progettata e costruita per resistere all'azione sismica di progetto senza collasso locale o globale, mantenendo la sua integrità strutturale e una capacità portante di carico residuo dopo un evento sismico.

Gli stati limite ultimi sono quelli associati al collasso o ad altre forme di cedimento strutturale che possono mettere in pericolo la sicurezza delle persone.

Si deve verificare che il sistema strutturale abbia la resistenza e duttilità necessarie.

5.2.2

Requisito di limitazione del danno

Nessun requisito di progettazione specifico è prescritto nella presente norma europea. Il movimento delle unità di carico stoccate non costituisce danno.

Nota: Si fa riferimento all'appendice J (normativa) per i controlli di integrità dopo un evento sismico.

5.2.3

Movimento delle unità di carico

Il movimento delle unità di carico deve essere considerato nella progettazione quando appropriato.

Nota 1: L'accelerazione sismica può provocare lo slittamento dei pallet sui correnti di sostegno, quando le forze orizzontali inerziali sul pallet superano la forza di attrito statico tra pallet e corrente.

Mediante prove in scala reale è stato dimostrato che questo effetto si verifica per piccoli valori di accelerazione del suolo (terremoti di bassa intensità) con pallet di legno o plastica su correnti di acciaio verniciato o zincato, a causa dell'amplificazione strutturale delle forze sismiche ai livelli di stoccaggio più alti.

Le conseguenze di questi fenomeni sono la riduzione dell'azione sismica sullo scaffale, dovuta alla dissipazione dell'energia e alla limitazione dell'azione orizzontale che può essere trasferita dal pallet alla struttura dello scaffale, e il rischio di caduta delle unità di carico che può causare il collasso locale o globale dello scaffale o lesioni alle persone.

Nota 2 La modificazione della risposta sismica della struttura è considerata nella presente norma europea per mezzo di tre coefficienti che stimano gli effetti dei fenomeni tipici delle strutture delle scaffalature, quali dissipazione dell'energia dovuta all'attrito pallet-corrente, smorzamento dovuto al movimento dei prodotti stoccati, flessibilità del pallet e altri:

- E_{D1} ed E_{D3} sono i fattori di modificazione dello spettro di progetto,
- E_{D2} è il fattore di modificazione della massa.

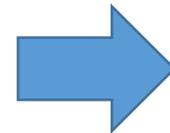
Il PRSES deve valutare i rischi correlati allo slittamento delle unità di carico e la possibilità della loro caduta dallo scaffale

Le linee guida per questa valutazione sono indicate nel punto 9.2.2.

PRSES:

Person Responsible for Storage Equipment Safety

ovvero «*persona responsabile della sicurezza dell'attrezzatura di immagazzinaggio*» così come introdotta dalla **norma UNI EN 15635:2009**



DEFINIZIONE:

Persona nominata dalla direzione del magazzino con la responsabilità di mantenere il funzionamento in sicurezza del sistema di stoccaggio del magazzino

Il peso di progetto dell'unità di carico $W_{E,UL}$ da considerare nella valutazione dell'azione sismica orizzontale deve essere determinato come segue :

$$W_{E,UL} = R_F \times E_{D2} \times Q_{P,rated}$$

Dove:

R_F è il fattore di riduzione del riempimento scaffale, relativo all'occupazione delle merci stoccate nello scaffale che può essere assunto durante l'evento sismico, da definirsi da parte dell'utilizzatore sulla base di valutazioni statistiche: per l'analisi in direzione trasversale deve essere assunto $R_F = 1,0$; per l'analisi in direzione longitudinale deve essere assunto $R_F \geq 0,8$;

E_{D2} è il fattore di modificazione del peso dell'unità di carico (come specificato in UNI EN 16681 § 7.5.5);

$Q_{P,rated}$ è il valore specificato del peso delle unità di carico per la progettazione del compartimento, della spalla o l'intera direzione longitudinale (vedere UNI EN 15512), come specificato dall'utilizzatore (vedere anche il punto 6.7.1 della UNI EN 15629).

prospetto 5

Fattori di modificazione del peso dell'unità di carico

Classe	E_{D2}	Classi delle merci stoccate	Esempio
A	1,0	COMPATTE VINCOLATE	Merci congelate (stoccaggio al freddo) Imballo in lamiera di acciaio Bobine e rotoli di carta
B	0,8	DEBOLI	Numerosi pezzi sul pallet che hanno piccole dimensioni rispetto alla dimensione del pallet, comprese merci stabilizzate mediante avvolgimento con film estensibile.
C	0,7	SFUSE E NON VINCOLATE	Le merci possono muoversi facilmente, all'interno del contenitore (per esempio granulati)
D	1,0	LIQUIDE	Unità di carico contenente liquido che può rovesciarsi nel contenitore

Nota Il fattore di modificazione del peso dell'unità di carico E_{D2} rappresenta gli effetti dell'interazione tra l'unità di carico e la struttura della scaffalatura. Questo coefficiente influenza la risposta al terremoto in termini di massa partecipante e di modificazione del periodo di vibrazione.

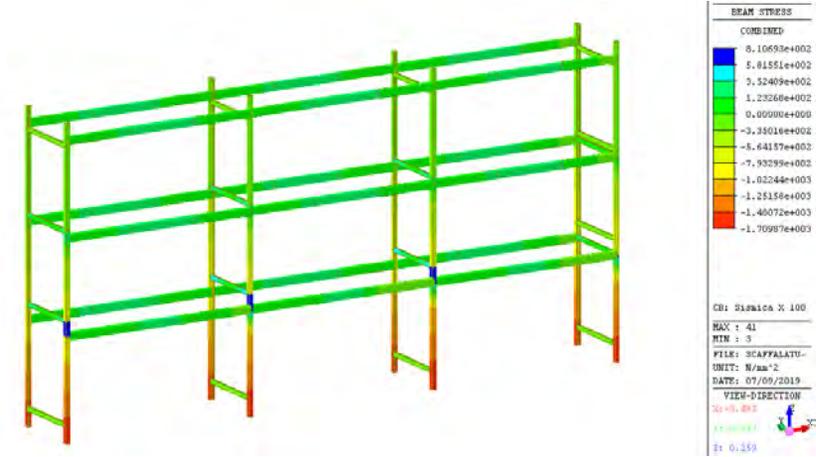
Le informazioni principali che **l'utilizzatore finale** (o il redattore delle specifiche) dovrà fornire al **fornitore** dello scaffale per una corretta progettazione per azioni sismiche sono:

1. zona sismica o accelerazione di picco del suolo relativamente al sito di installazione (con riferimento alle zonazioni regionali o al reticolo sismico nazionale) e tipo dello spettro di risposta (in Italia basandosi sulle NTC2018, eventualmente considerando le amplificazioni derivanti dallo spettro di piano) e del tipo di suolo;
2. classe di importanza;
3. vita di progetto (facendo riferimento al Prospetto 1 della UNI EN 16681 e al § 2.4.1 delle NTC2018);
4. specifiche di peso dell'unità di carico
5. RP, fattore di riduzione del riempimento scaffale.

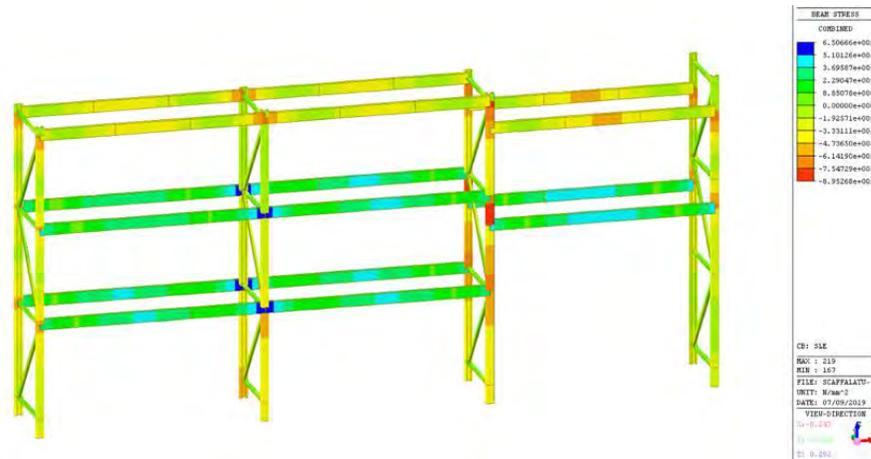
Le informazioni che il **fornitore dello scaffale dovrà fornire all'utilizzatore finale** (o al redattore delle specifiche) sono:

1. rischio correlato allo scivolamento delle unità di carico (fare riferimento all'Appendice J della UNI EN 16681);
2. rischio correlato all'oscillazione delle unità di carico (fare riferimento all'Appendice H della UNI EN 16681);
3. valore minimo di accelerazione del suolo definito nel punto, per il quale è richiesto il controllo dell'integrità degli scaffali dopo un evento sismico (fare riferimento anche all'Appendice J della UNI EN 16681).

VERIFICA DELLE SCAFFALATURE



La **verifica delle scaffalature per azioni sismiche** rientra negli obblighi di validazione previsti dal sistema di gestione previsto dalla norma UNI EN 15635 e UNI 11636.



SICUREZZA SISMICA DEI SERBATOI

- Eurocodice 8 - Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 4: Silos, serbatoi e tubazioni; **DI PROSSIMO AGGIORNAMENTO**
- Seismic Design of Storage Tanks, Recommendation of a Study Group of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering (NZSEE);
- ACI (American Concrete Institute), Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures and Commentary (ACI 350.3-06);
- IITK-Gsdma Guidelines for Seismic Design of Liquid Storage Tanks Provisions with Commentary and Explanatory Examples, NICEE.

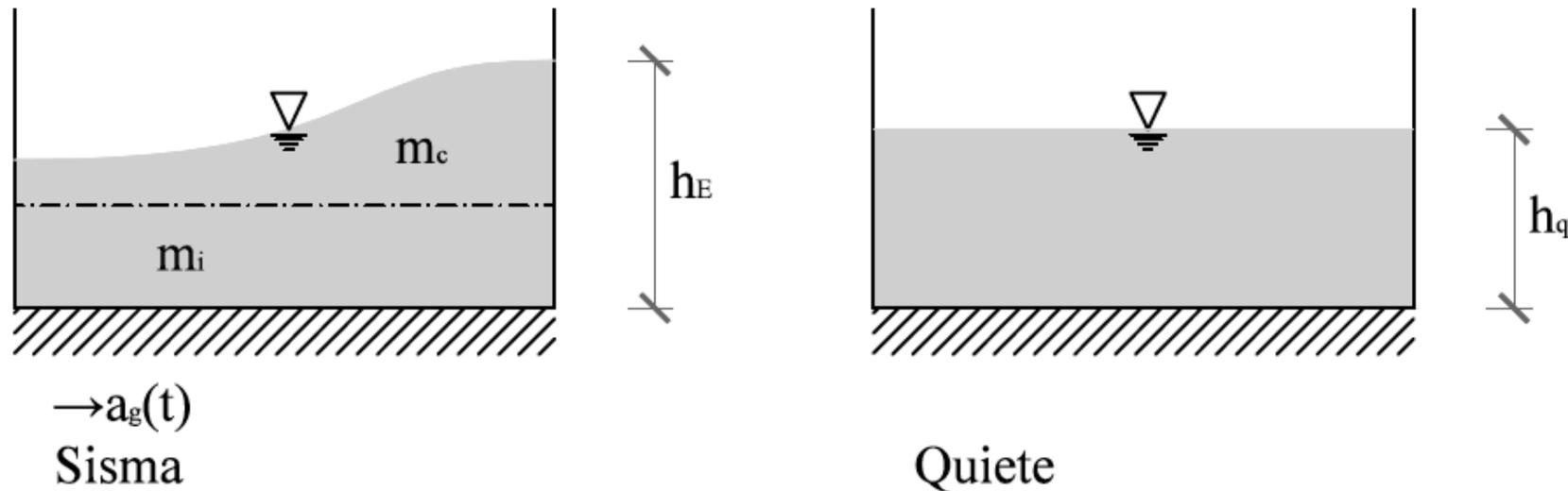
IL COMPORTAMENTO DEI FLUIDI SOGGETTI AD AZIONE SISMICA



Deformabilità:	Posizione:	Forma:	Ancoraggio:
Rigidi	Interrati	Circolari	Perfettamente ancorati in fondazione
Deformabili	Non interrati	Rettangolari	Non ancorati in fondazione
	Sopraelevati		

IL COMPORTAMENTO DEI FLUIDI SOGGETTI AD AZIONE SISMICA

Il liquido si “divide” in due parti, una prima parte si muove rigidamente con il fondo e le pareti del serbatoio (*moto impulsivo* e con *periodi bassi*), una seconda parte si muove autonomamente generando delle onde di sciabordio, o “sloshing” (*moto convettivo* e con *periodi alti*).

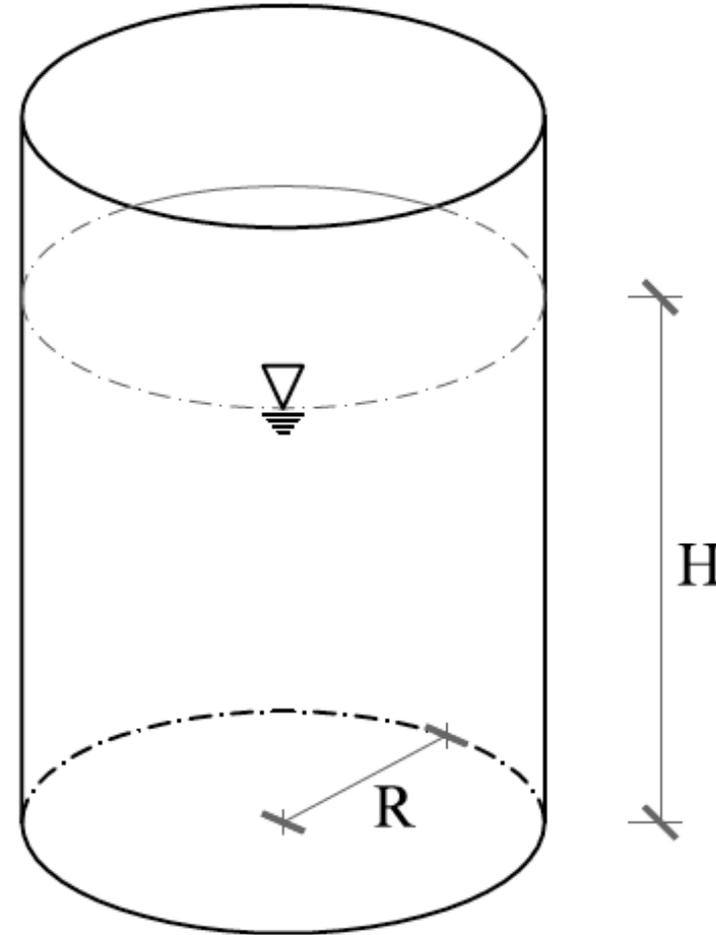


IL COMPORTAMENTO DEI FLUIDI SOGGETTI AD AZIONE SISMICA

La suddivisione della massa totale di liquido tra massa inerziale e massa convettiva avviene proporzionalmente alla snellezza del serbatoio, definita da

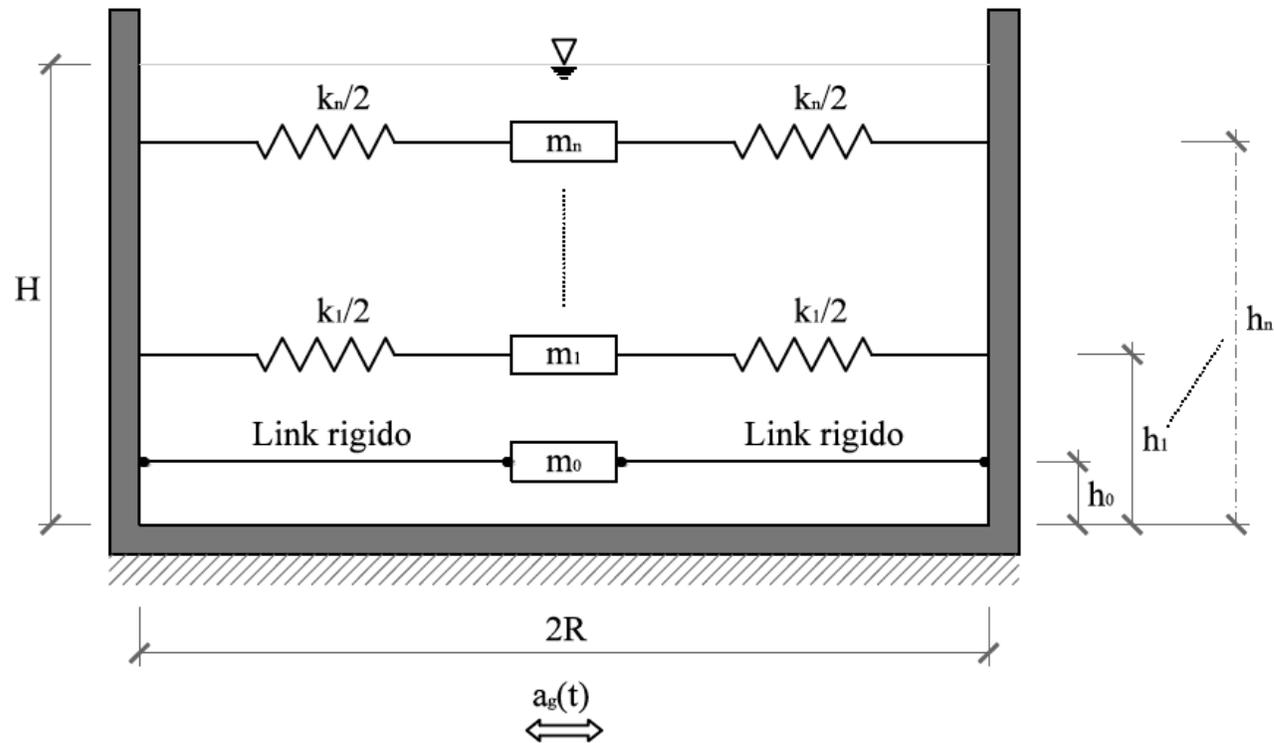
$$g = H / R$$

Al diminuire della snellezza (esempio del piatto di minestra) diminuisce la massa impulsiva e aumenta la massa convettiva, e di conseguenza aumentano il fenomeno dello sciabordio del liquido, che potrebbe anche fuoriuscire.

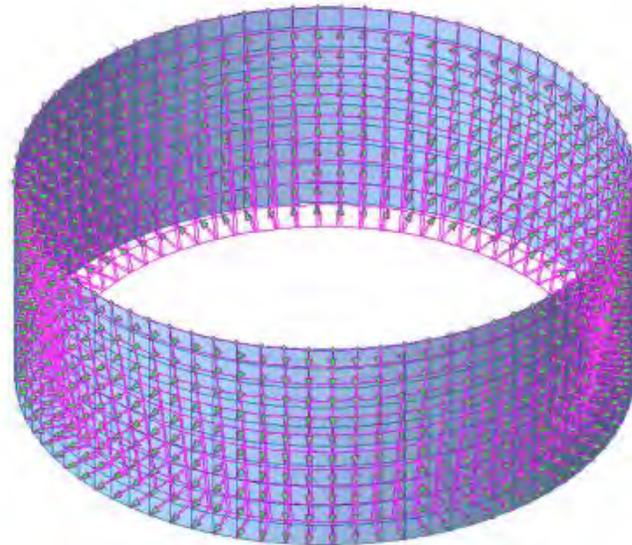


IL COMPORTAMENTO DEI FLUIDI SOGGETTI AD AZIONE SISMICA

In realtà la massa convettiva non è una sola, ma a seconda del numero di modi di vibrare si individuano diversi modi convettivi e le relative masse

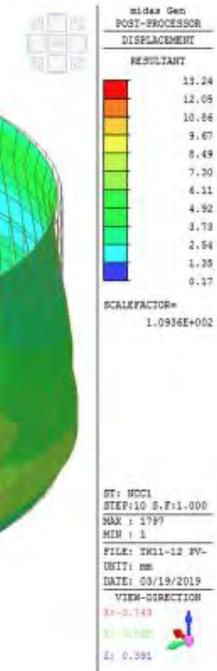
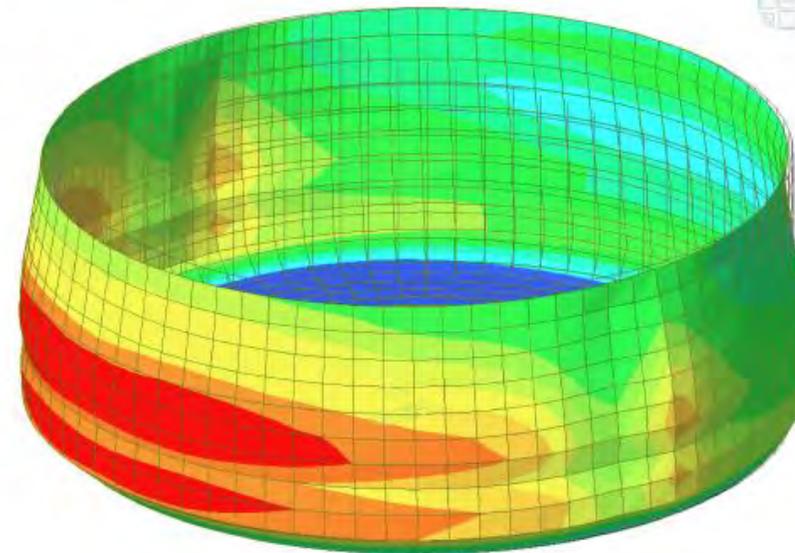


SERBATOI CARBURANTE AVIO



Vista 3d carico idrostatico

Intervento di miglioramento sismico: rimodulazione dei livelli di riempimento



Caso CC1 (Dxyz) – solo mantello e fondello: spostamento massimo vettoriale 13,24 mm

IMPLICAZIONI DEL DANNEGGIAMENTO NELL'AMBITO R.I.R.

Table A2.1. HAZUS (2010), Storage tank damage classification

<i>State</i>	<i>Description</i>
DS1	No damage.
DS2	Minor damage without loss of content or functionality (minor damage to the tank roof due to water sloshing, minor cracks in concrete tanks, or localized wrinkles in steel tanks).
DS3	Considerable damage, but only minor loss of content (elephant foot buckling for steel tanks without loss of content or moderate cracking of concrete tanks with minor loss of content).
DS4	Severe damage and going out of service (elephant foot buckling for steel tanks with loss of content, stretching of bars for wood tanks, or shearing of wall for concrete tanks).
DS5	Collapse and loss of all content.

Table A2.2. O'Rourke and So (2000), Storage tank damage classification

<i>State</i>	<i>Description</i>
DS1	No damage to tank or I/O pipes.
DS2	Damage to roof, minor loss of contents, minor damage to piping, but no elephant-foot buckling.
DS3	Elephant-foot buckling with minor loss of content.
DS4	Elephant-foot buckling with major loss of content, severe damage.
DS5	Total failure, tank collapse.





Grazie per l'attenzione

