

CAMBIAMENTI CLIMATICI E NUOVE SFIDE PER EDIFICI ATTIVI E RESILIENTI

Martedì 20 febbraio 2024

Resistenza e duttilità per strutture a ridotta
vulnerabilità sismica
Tomaso Trombetti UNIBO

Evento realizzato in collaborazione con



Resistenza e duttilità per strutture a ridotta vulnerabilità sismica

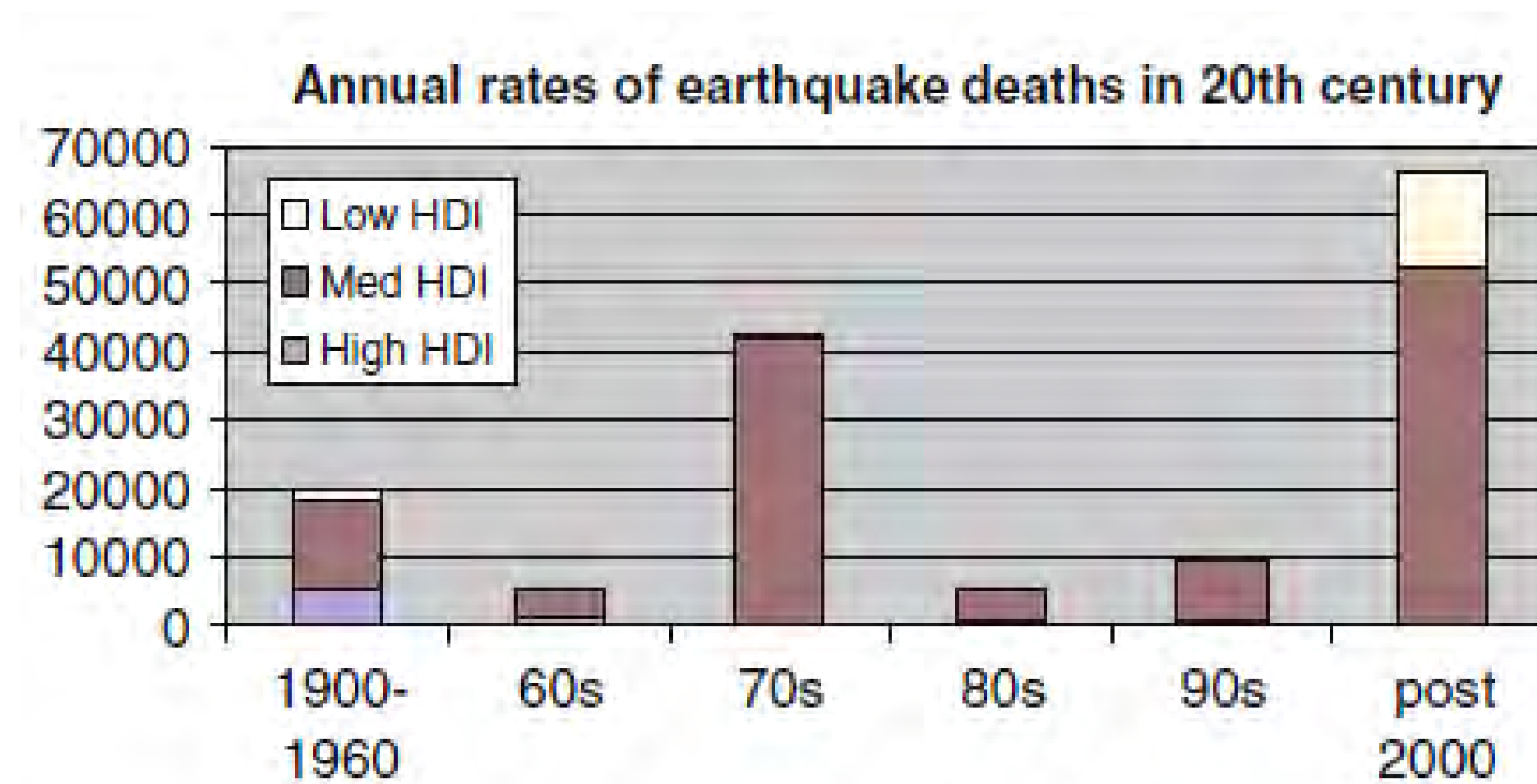
Resistenza e duttilità per strutture a ridotta vulnerabilità sismica

Prof. Ing. Tomaso Trombetti – Dipartimento DICAM Università degli studi di Bologna

Il problema: Troppe persone perdono la vita a seguito di eventi sismici

Mediamente ogni anno **40.000** persone perdono la vita a causa degli effetti del sisma 1990-2010 (USGS)

Nel sisma del 2008 a Sichuan (China) **5200** persero la vita a causa del collasso di edifici scolastici



Spence 2007

Ai Weiwei: "Straight"

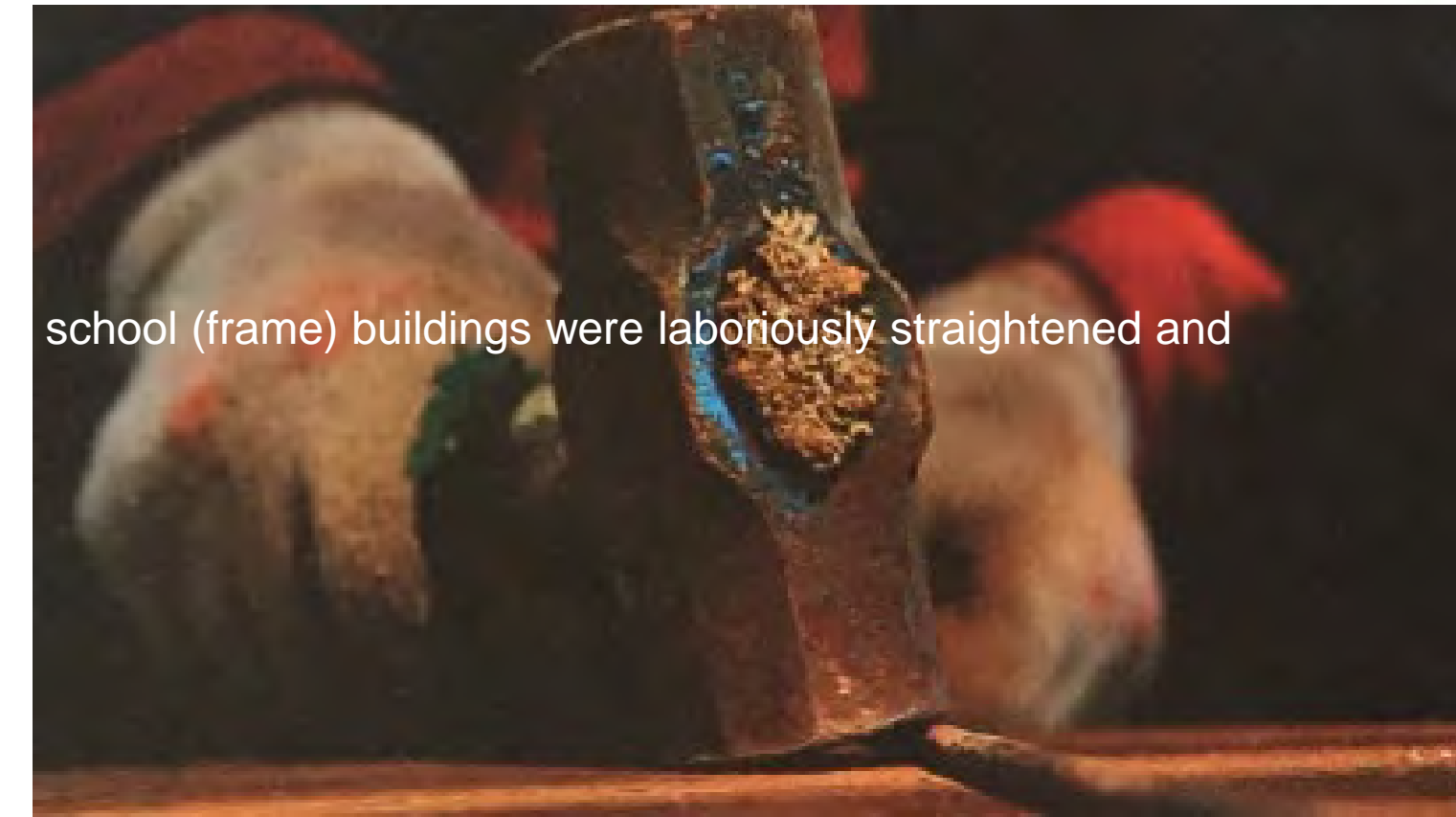
Artista **Ai Weiwei** ha espresso la violenza del sisma del 2008 a Sichuan con la sua opera d'arte **"Straight"** (Venice 2013, Brooklyn Museum 2014, Royal Academy London 2015)

150 tonnellate di barre di armatura recuperate dalle strutture collassate in cemento armato sono state meticolosamente raddrizzate ed poi poste l'una sopra l'altra ed accompagnate dalla lista di più di 5000 nomi dei bambini che hanno perso la vita



Ai Weiwei @ the Royal Academy London, Nov. 2015





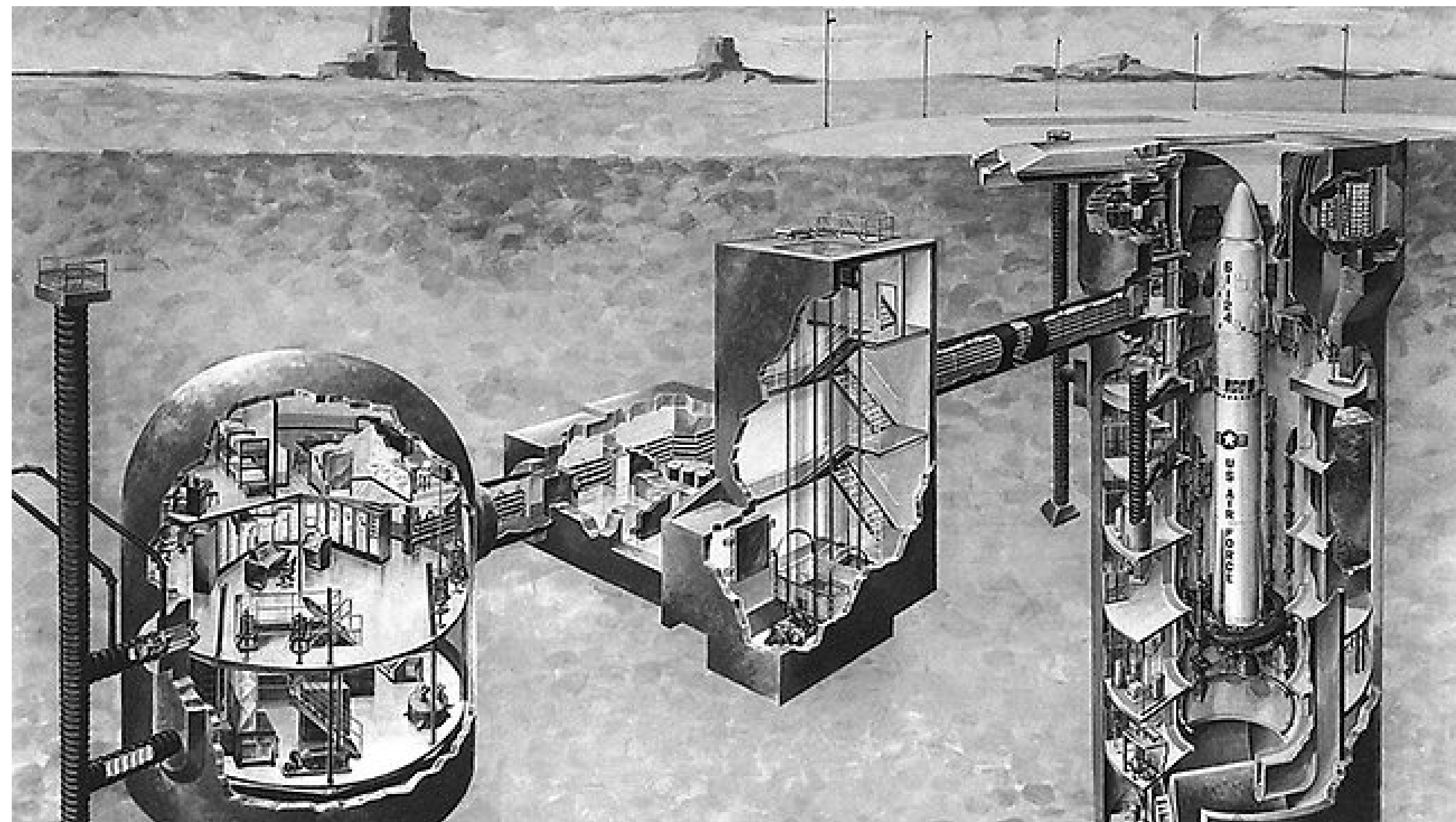


accompanied by the list of more than 5000 names of lost children



Come mai le strutture a telaio in cemento armato non danno garanzia di ottimale comportamento sismico ?

Possiamo realizzare edifici che siano in grado di **non avere danni** & essere al **100% sicuri** nei confronti dei terremoti ?



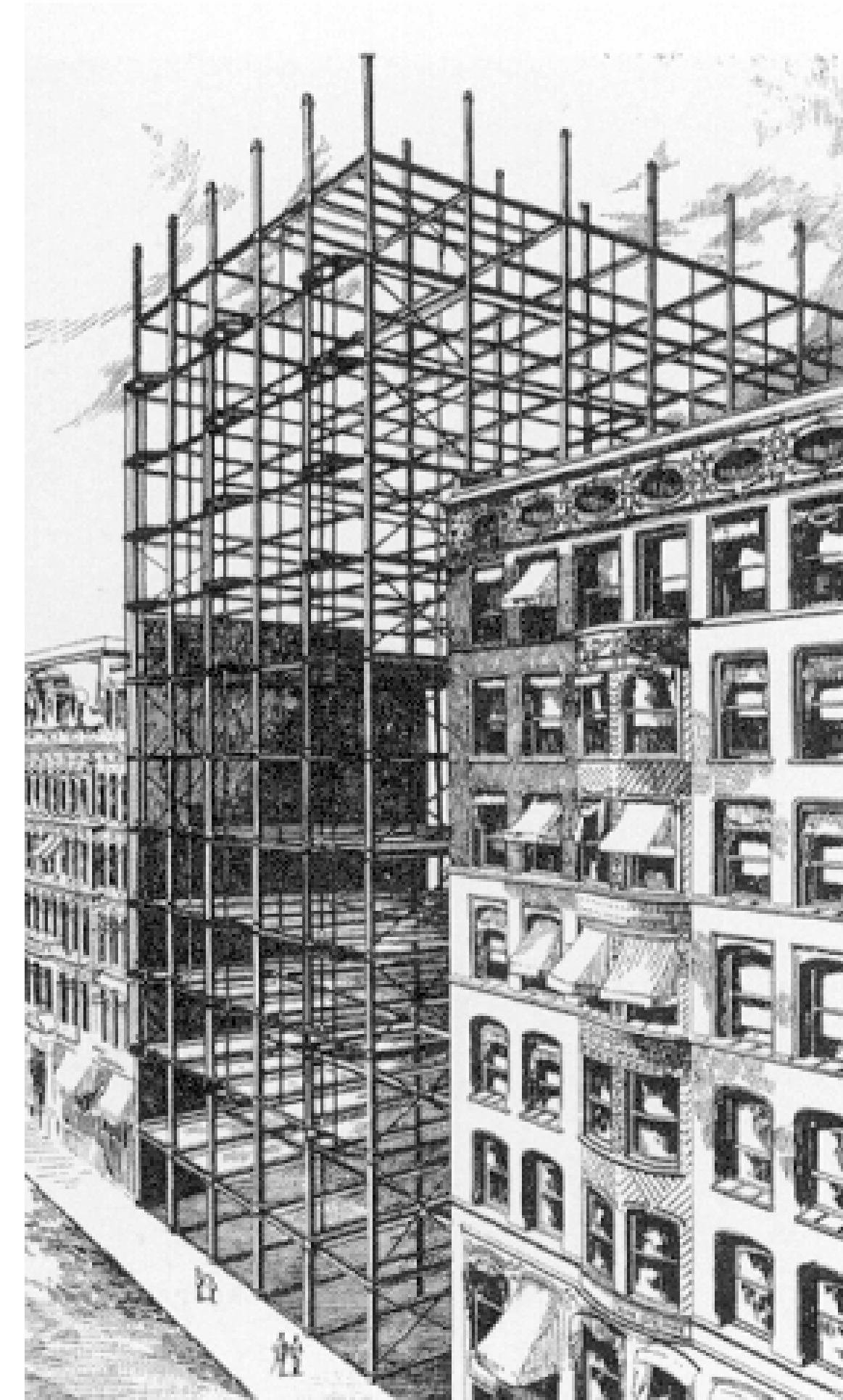
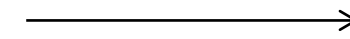
Le pareti portanti in muratura sono state utilizzate per migliaia di anni



Dalle pareti ai telai



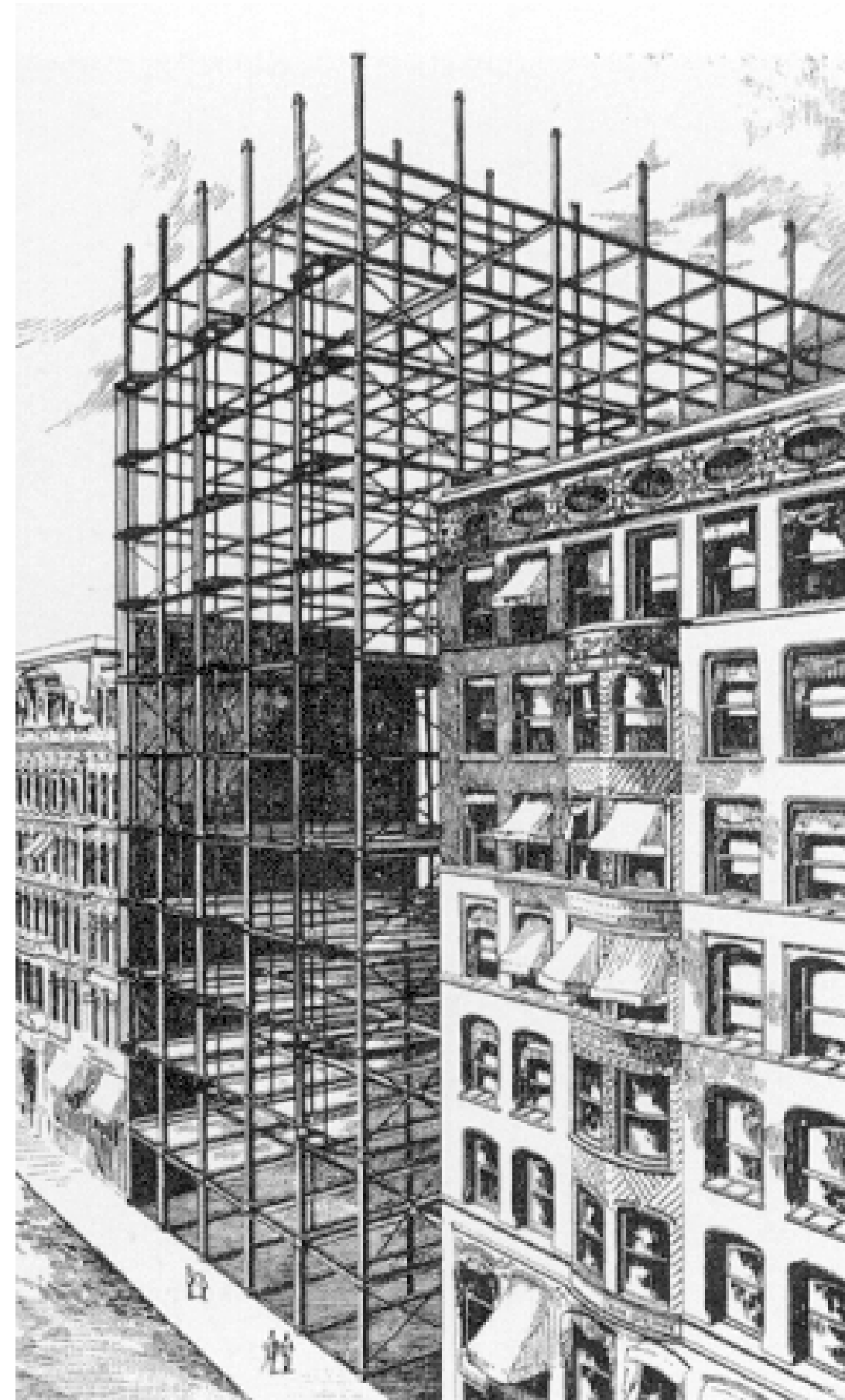
Monadnock , Chicago, 1891



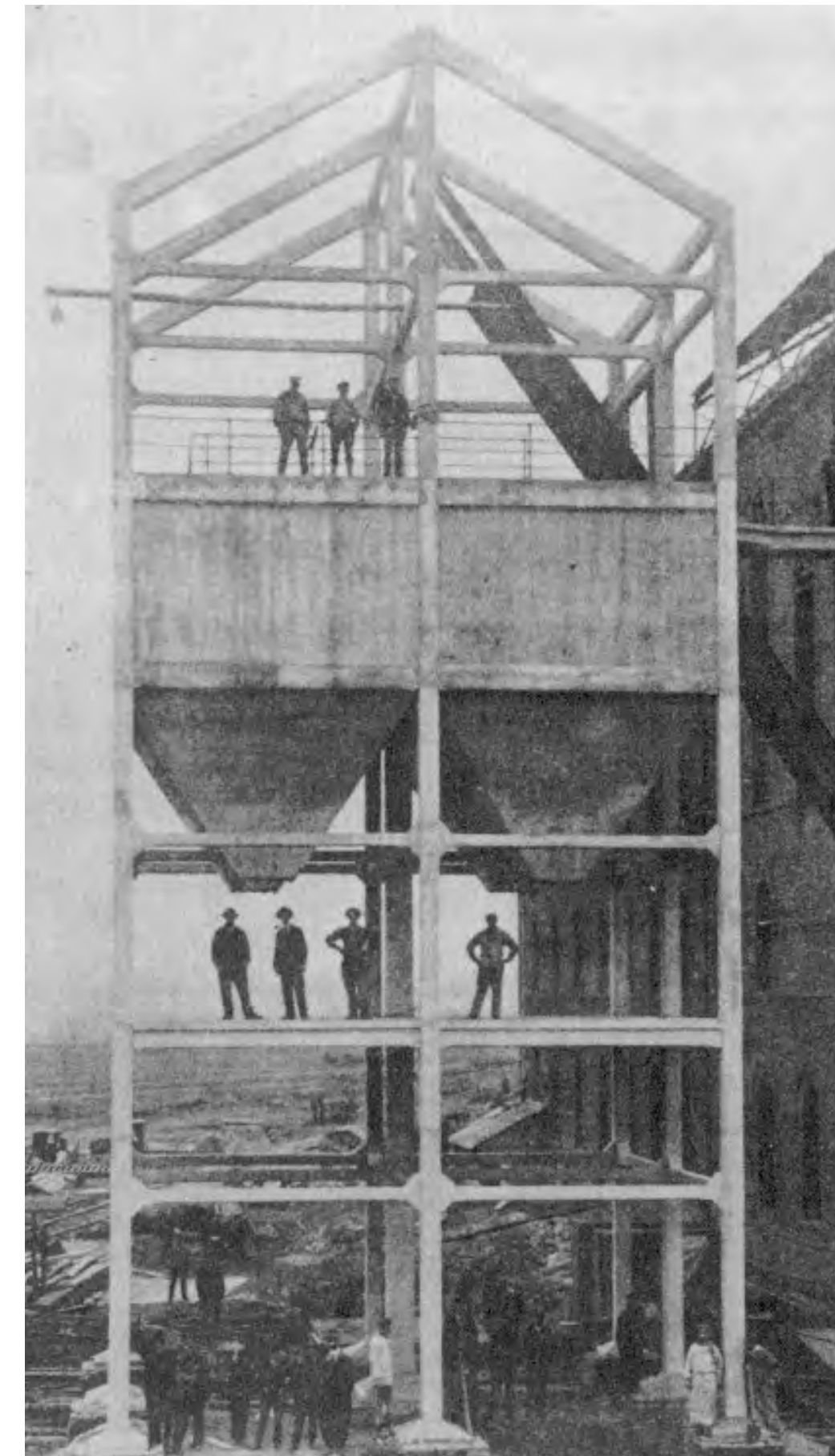
Unity Building (Clinton Warren, 1892)

Prime strutture a telaio

Separazione e libertà



Unity Building (Clinton Warren, 1892)



RC Silo, Aniche (Francois Hennebique)

Intrinseca limitata capacità di resistere alle azioni orizzontali



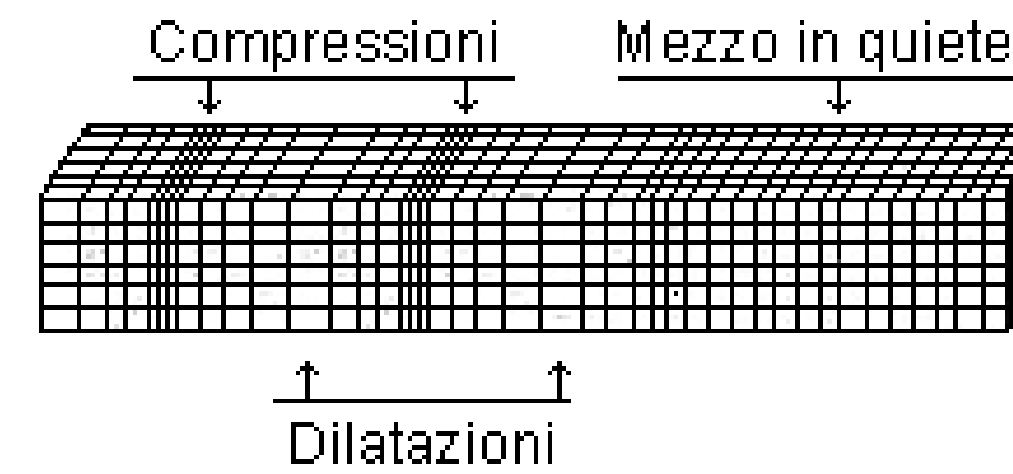
RC frame, Zurich, 1906



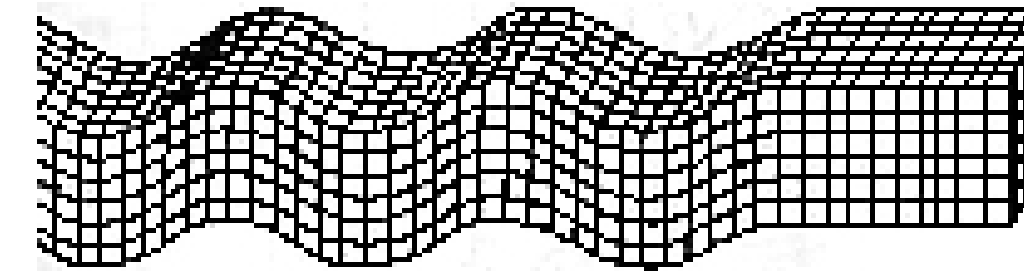
Robert Maillart

Il sisma

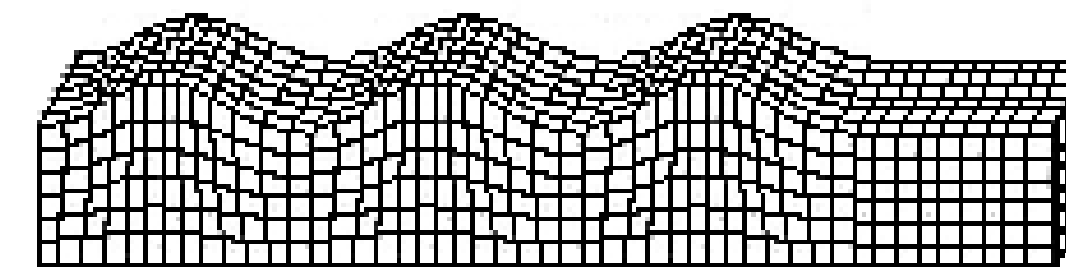
Onde "P"
Longitudinali



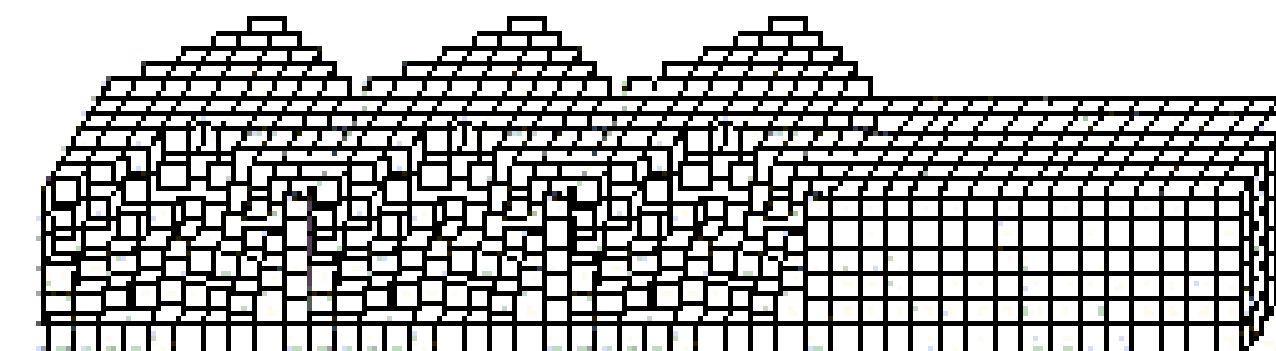
Onde "S"
Trasversali



Onde di Rayleigh
Verticali



Onde di Love
Orizzontali



2009: L'AQUILA

Cambiamenti climatici e nuove sfide per edifici attivi e resilienti



2009: L'AQUILA

Cambiamenti climatici e nuove sfide per edifici attivi e resilienti



2009: L'AQUILA

Cambiamenti climatici e nuove sfide per edifici attivi e resilienti



Il telaio, i tamponamenti ed il sisma

Quadri fessurativi sui tamponamenti esterni



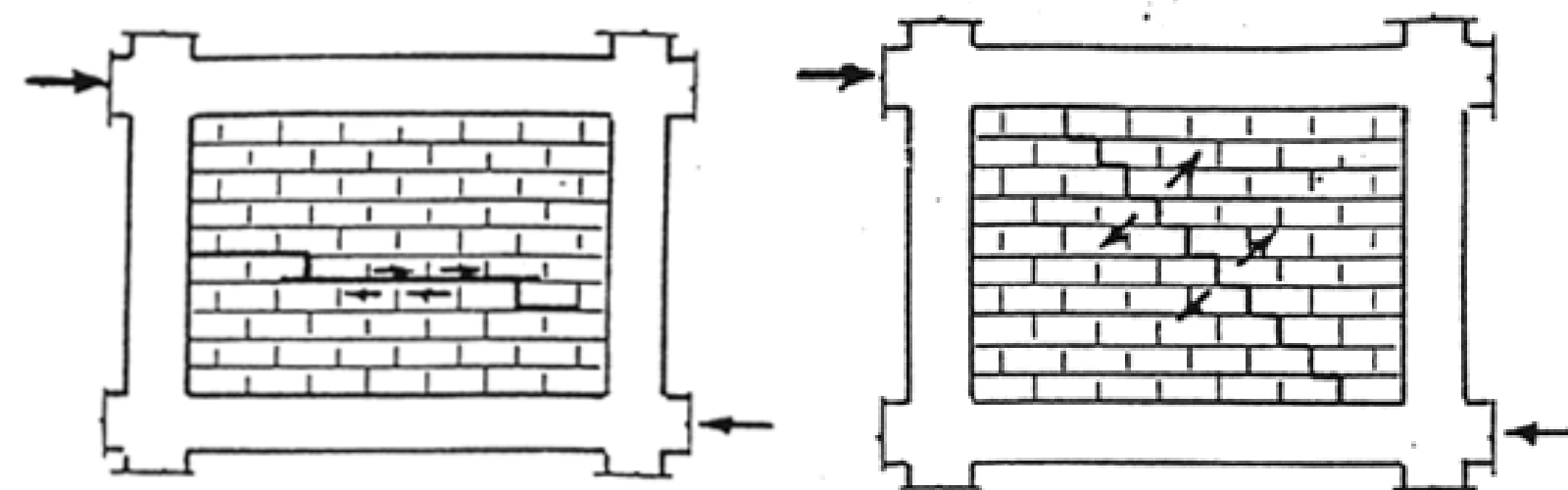
Danneggiamento locale della tamponatura esterna in presenza del pinaerottolo



Traccia dei pilastri sui tamponamenti esterni

Il telaio, i tamponamenti ed il sisma

Interazione Telaio-Muratura sotto sisma



Consistente danneggiamento a carico delle murature esterne con parziale o totale espulsione delle stesse fuori dal piano

Il telaio, i tamponamenti ed il sisma

Interazione Telaio-Muratura sotto sisma



Crisi dei tamponamenti in seguito a forti richieste in termini di spostamento e deformazione

Il telaio, i tamponamenti ed il sisma

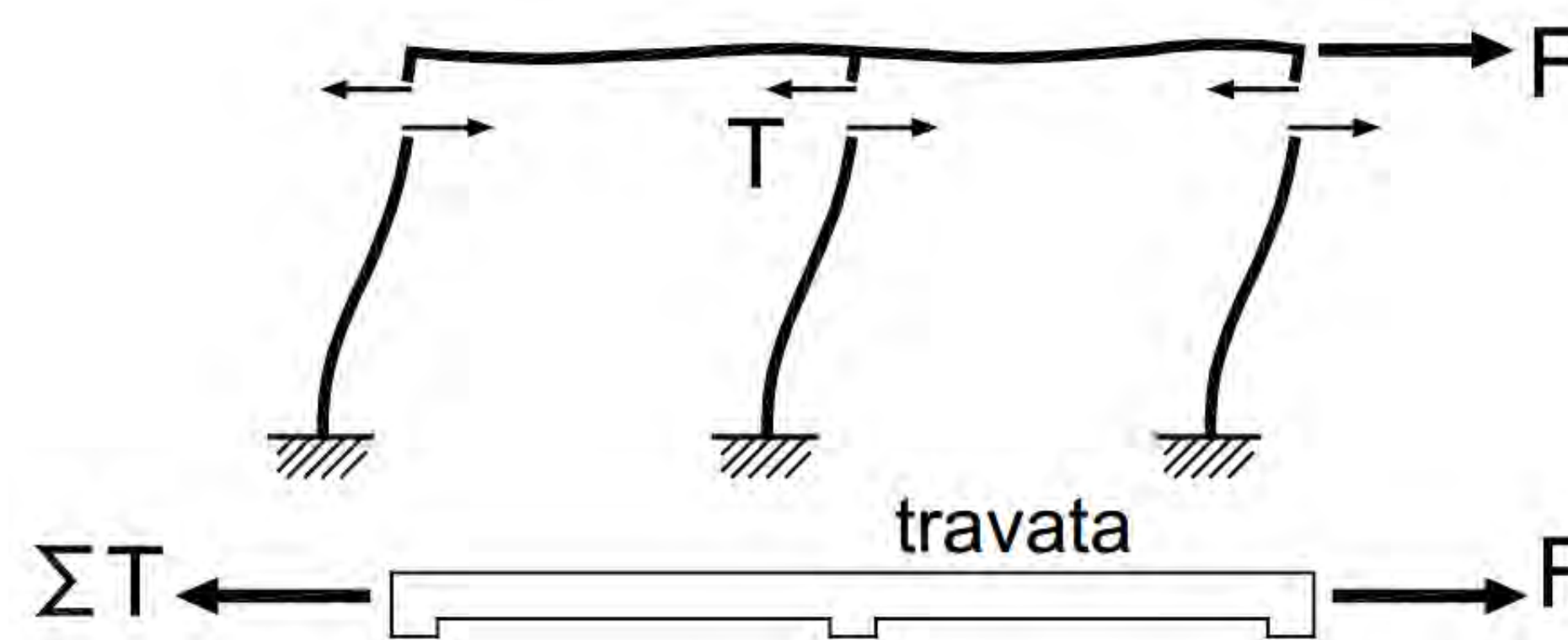
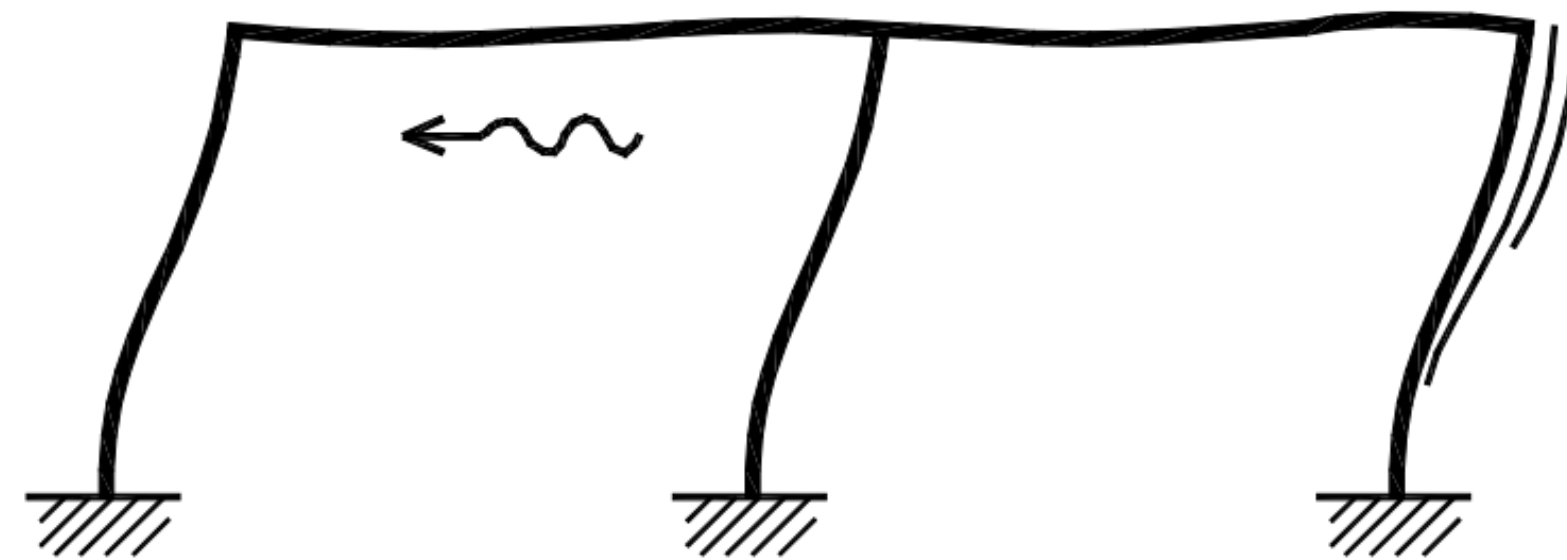
Interazione Telaio-Muratura sotto sisma



Espulsione della muratura verso l'esterno

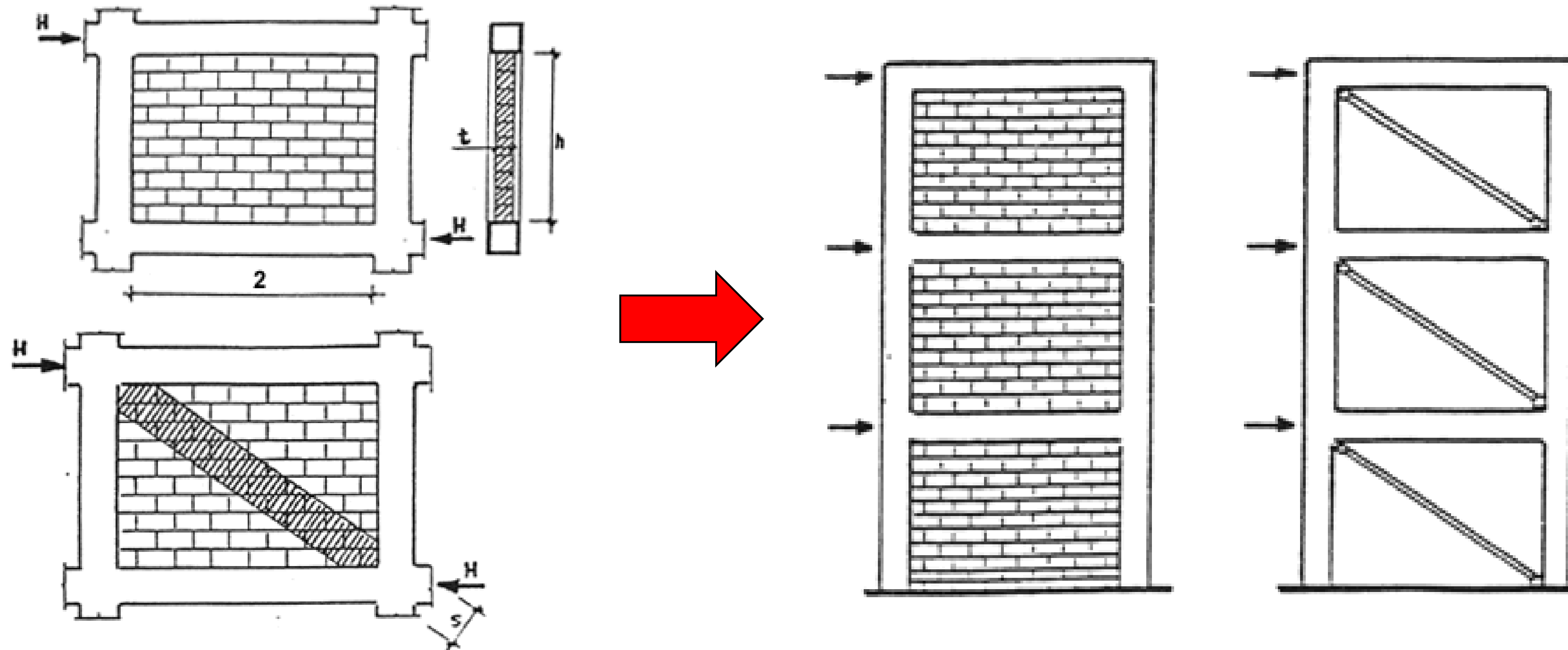
The low horizontal stiffness of framed structures

A frame system (without any bracing) is characterized by a **low stiffness** and low strength w.r.t. horizontal actions (such as quakes).



First reaction to earthquake: the loading of the infill walls

- A traditional framed structure, when subjected to earthquake action firstly transmit this action to the infill walls (which are typically not suited to resist to such actions)



The frame «leans» over the infill walls

Second reaction to earthquake: the loading of the (weak) frames

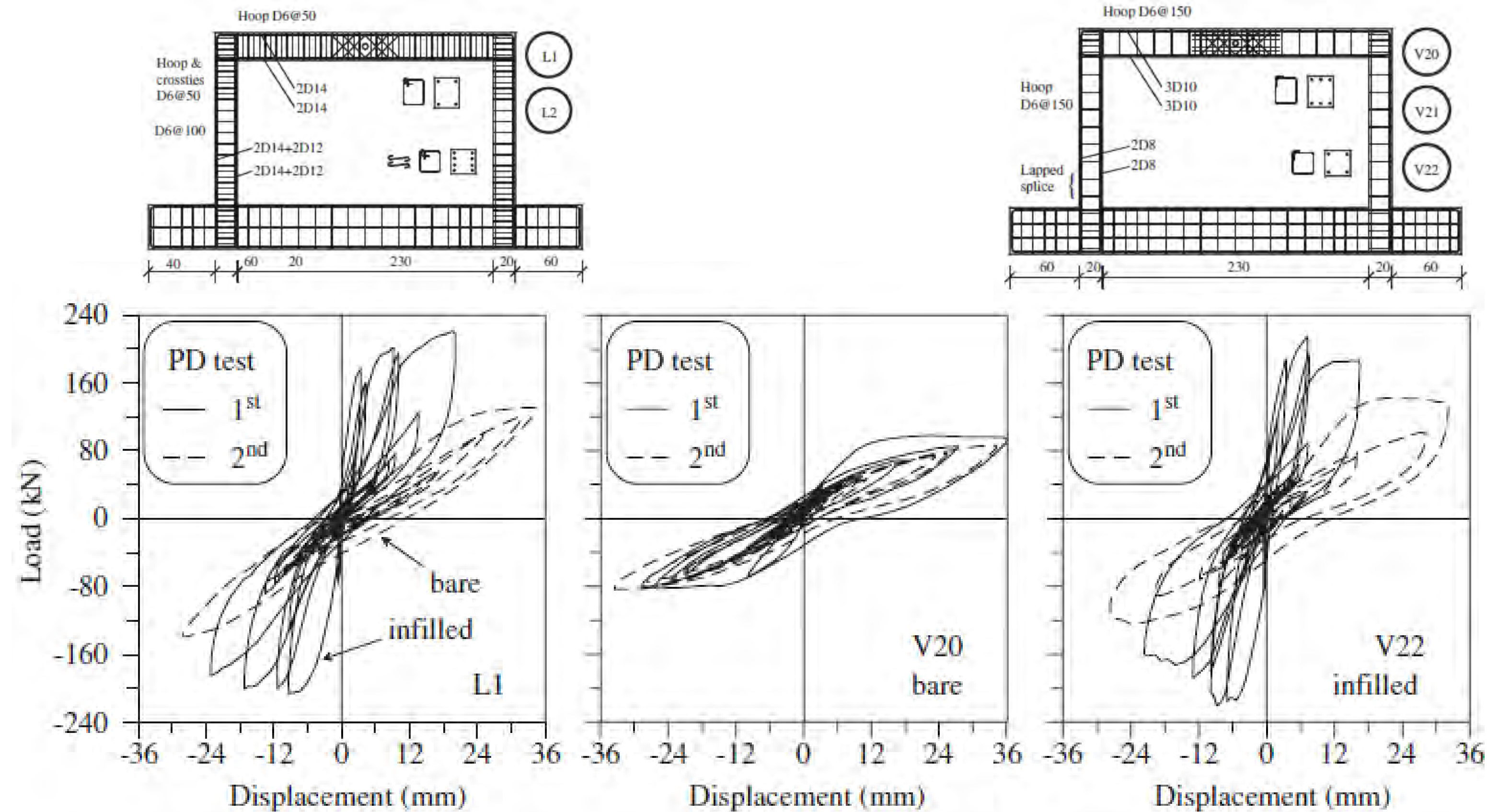


Figure 5. Restoring force versus displacement: L1 = seismic strength and details; V20, V22 = non-seismic design.

Diverso comportamento di un sistema telaio sottoposto ad azioni cicliche in presenza o meno di tamponamenti murari

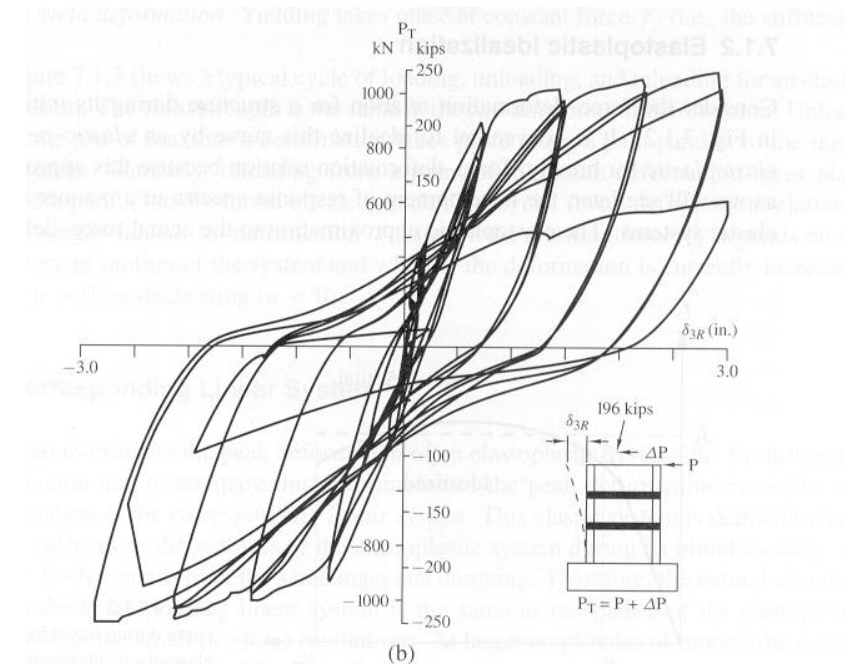
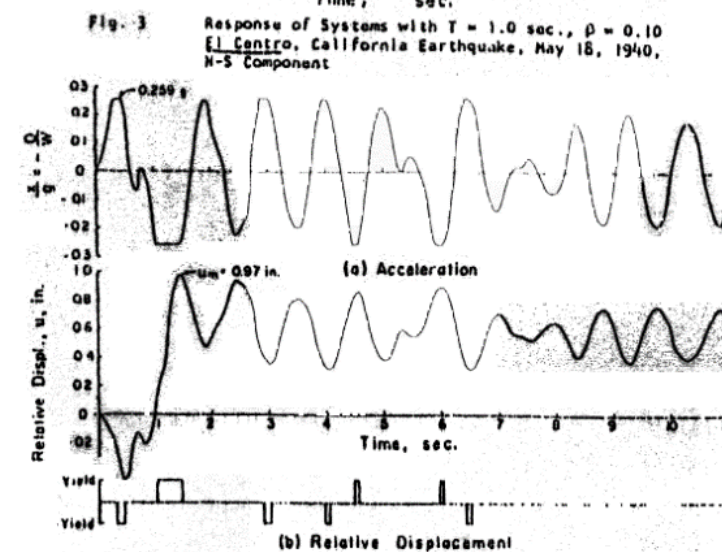
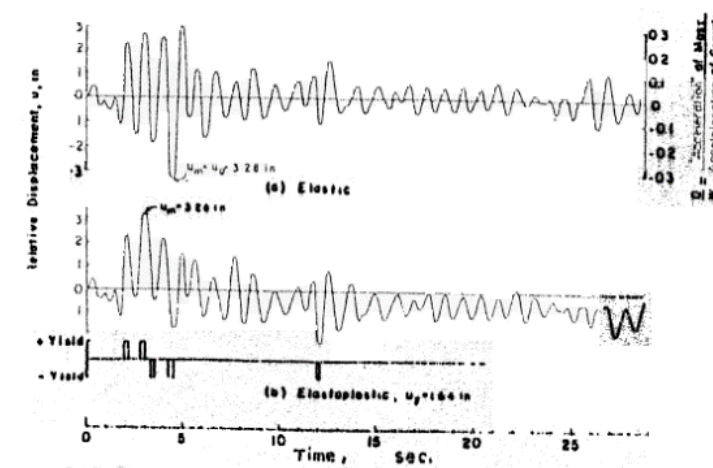
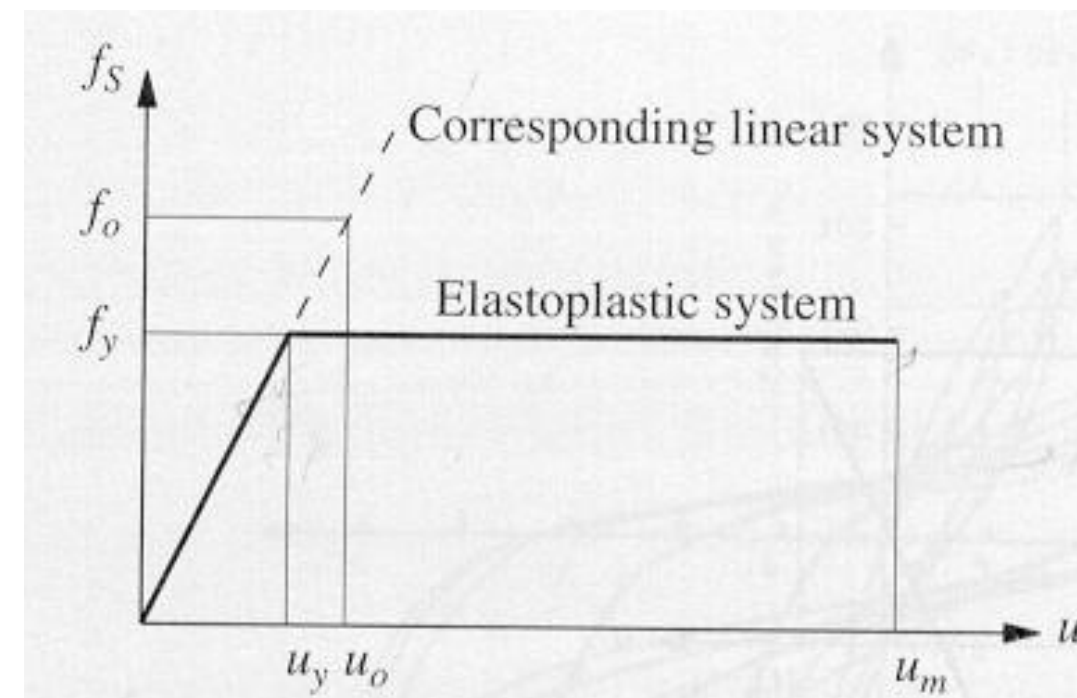
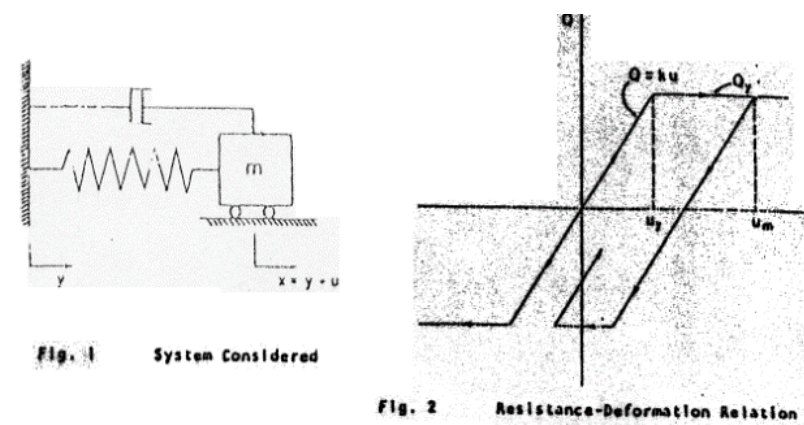
Traditional approach to seismic design: ductile structure, but ductility = damage

529m - 1957

Also available in "Selected Papers by N.M. Newmark", Civil Engineering Classics, ASCE, 1976

EFFECT OF INELASTIC BEHAVIOR ON THE RESPONSE OF SIMPLE SYSTEMS TO EARTHQUAKE MOTIONS

by
A. S. Veletsos^{*} and N. M. Newmark^{}**

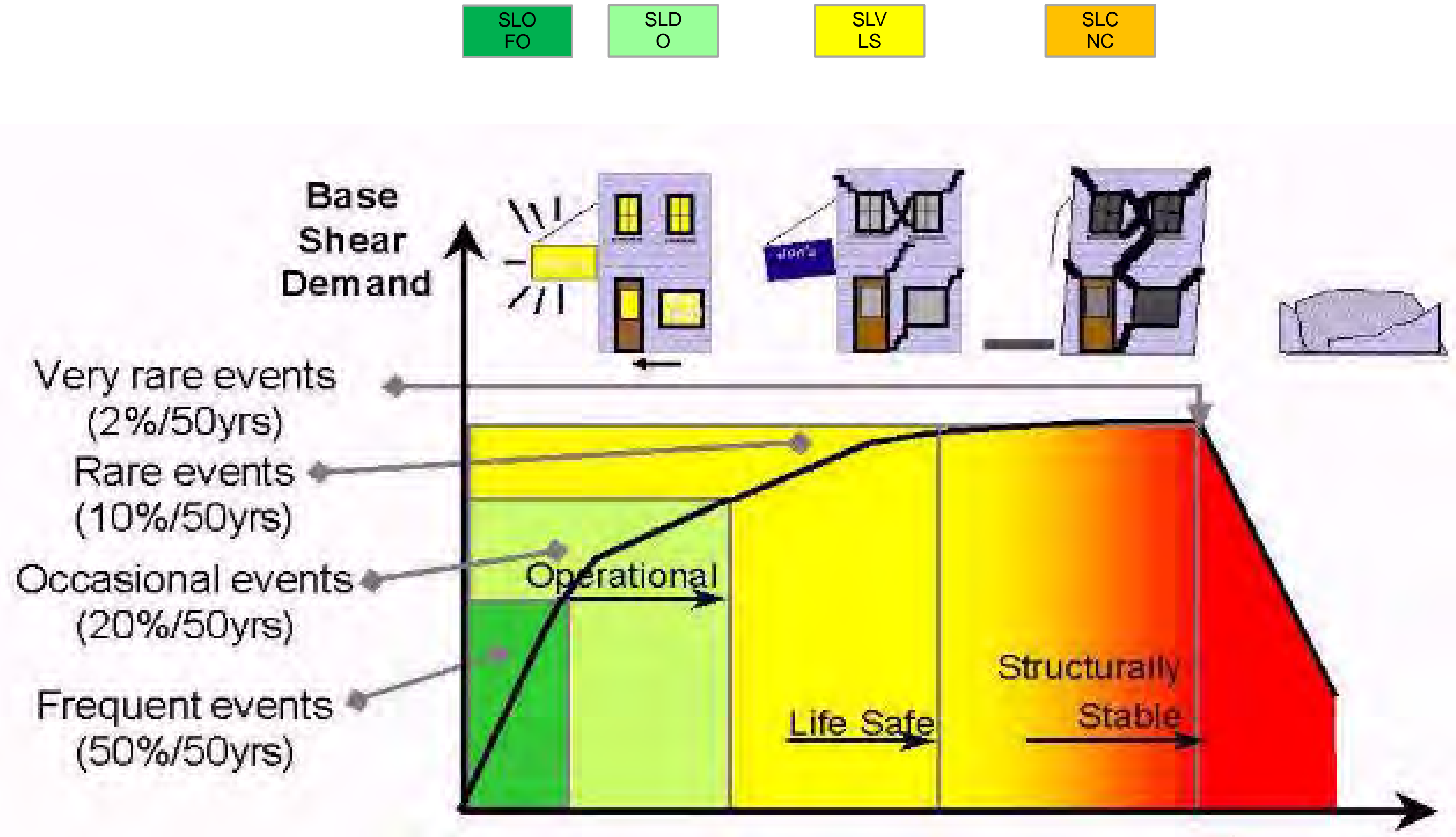


L'Aquila 2009 earthquake



L'Aquila 2009 earthquake

Obiettivi prestazionali sismici



Obiettivi prestazionali sismici

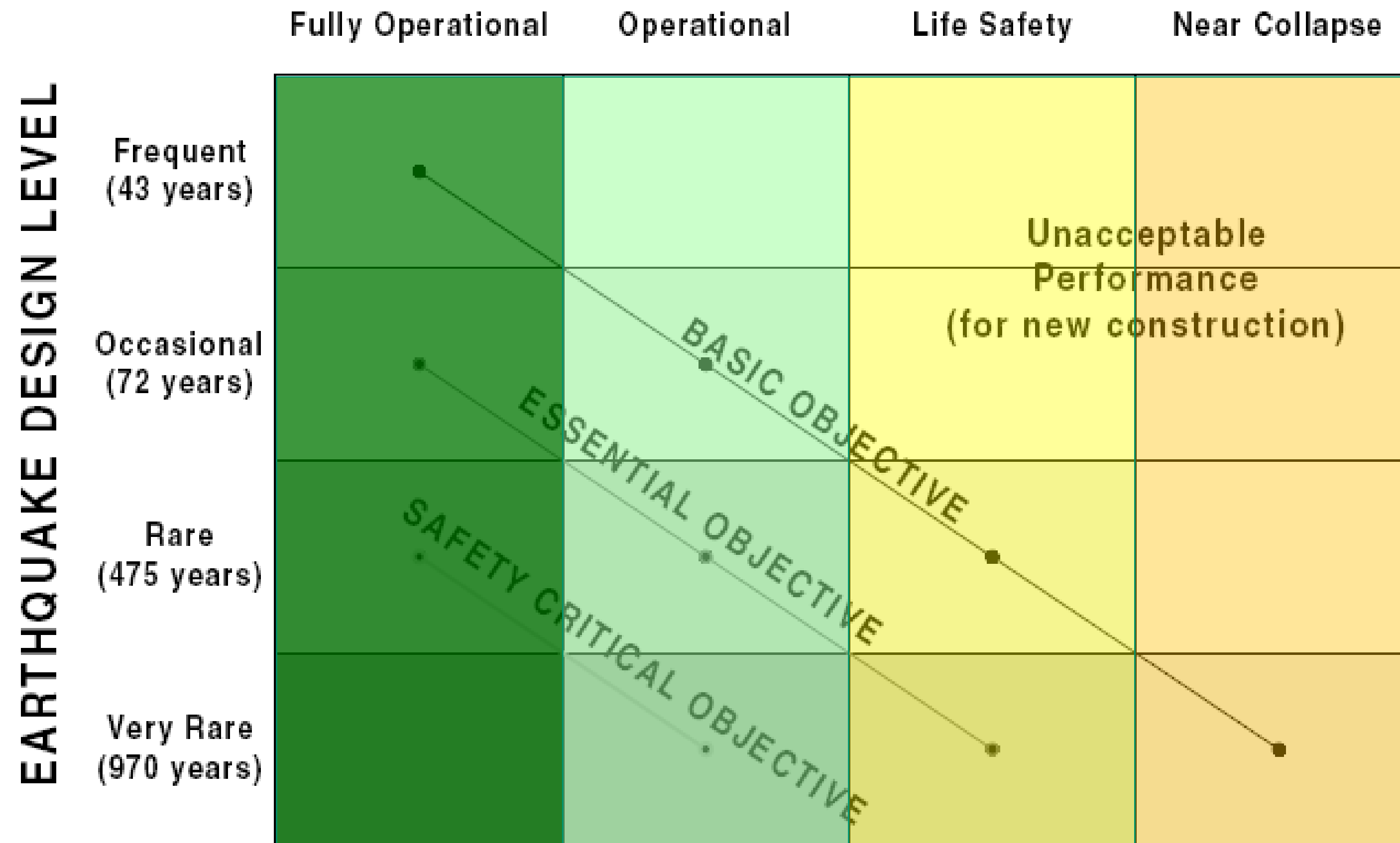
SLO
FO

SLD
O

SLV
LS

SLC
NC

EARTHQUAKE PERFORMANCE LEVEL

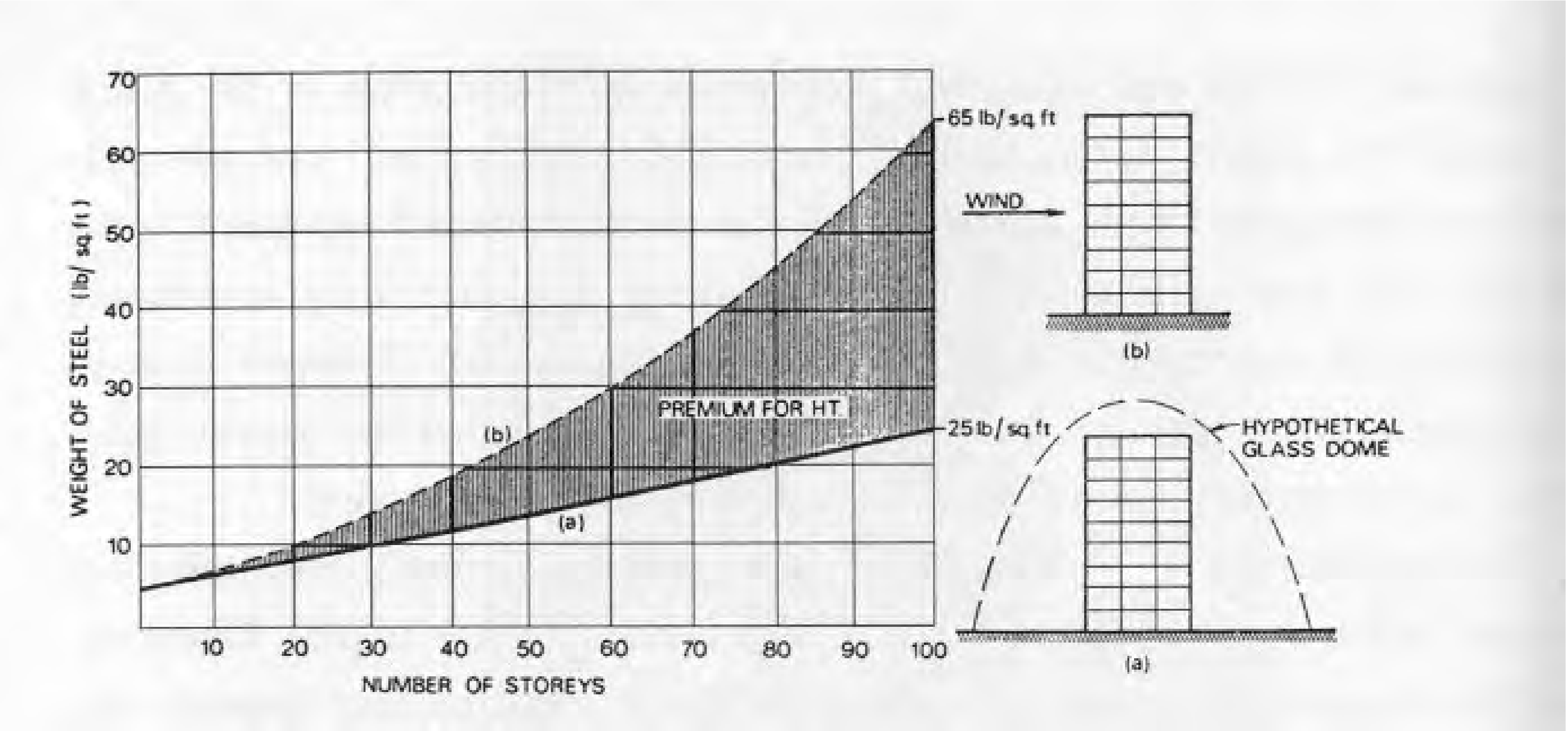


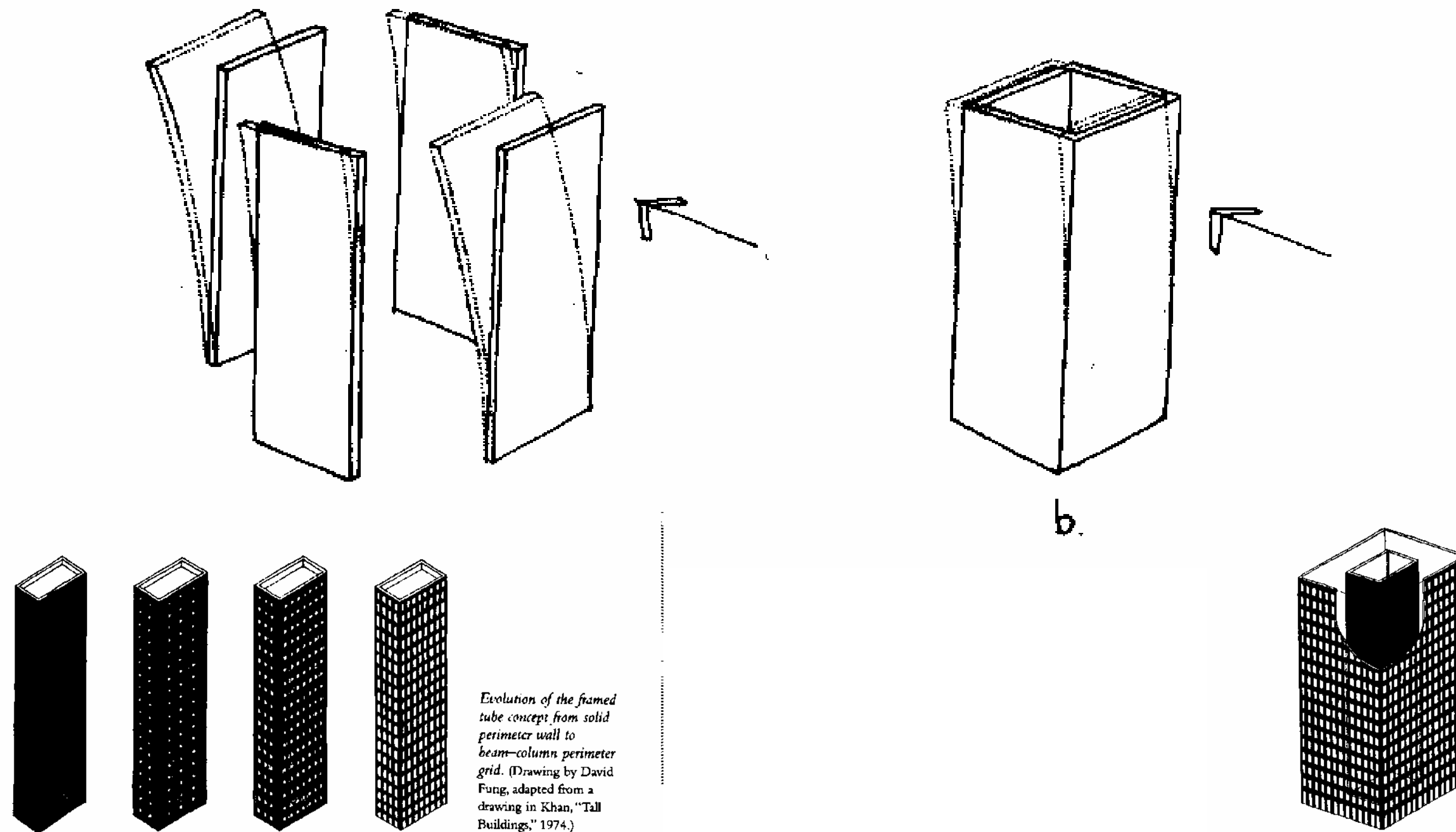
Bertero & Bertero, EESD, 2002

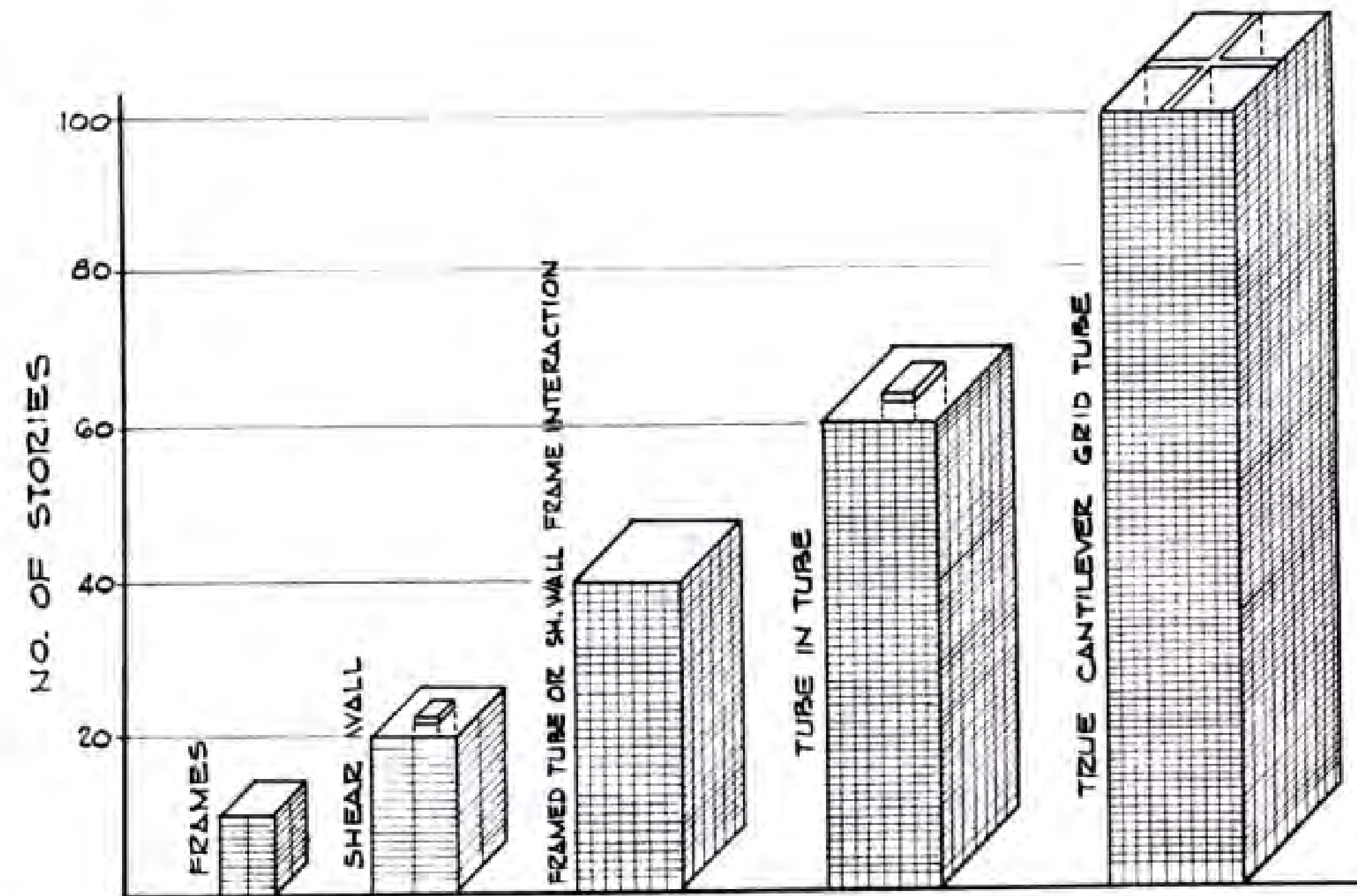
Recommended minimum seismic performance design objectives for buildings

Perchè non fare strutture più resistenti (a parità di costo) nei confronti delle azioni orizzontali?

- La società ne è più contenta (a valle del sisma la struttura può essere **direttamente utilizzata** senza perdite economiche di sorta)
- Si hanno anche **maggiori garanzie di sicurezza** (tutto il comportamento duttile post elastic può eventualmente essere tenuto “ a riserva” nel caso di eventi anche molto maggiori di quelli previsti dalle norme)
- **Non si hanno incertezze** in merito alla sicurezza delle costruzioni in caso di sisma (affidarsi al “rottura programmata” non è una grande garanzia di successo, tutto infatti deve necessariamente procedere come ipotizzato e non sempre questo è possibile)
- Questa necessità , però (al fine di ottenere tali risultati **senza aumento di costi**) di **cambiare il Sistema costruttivo!**

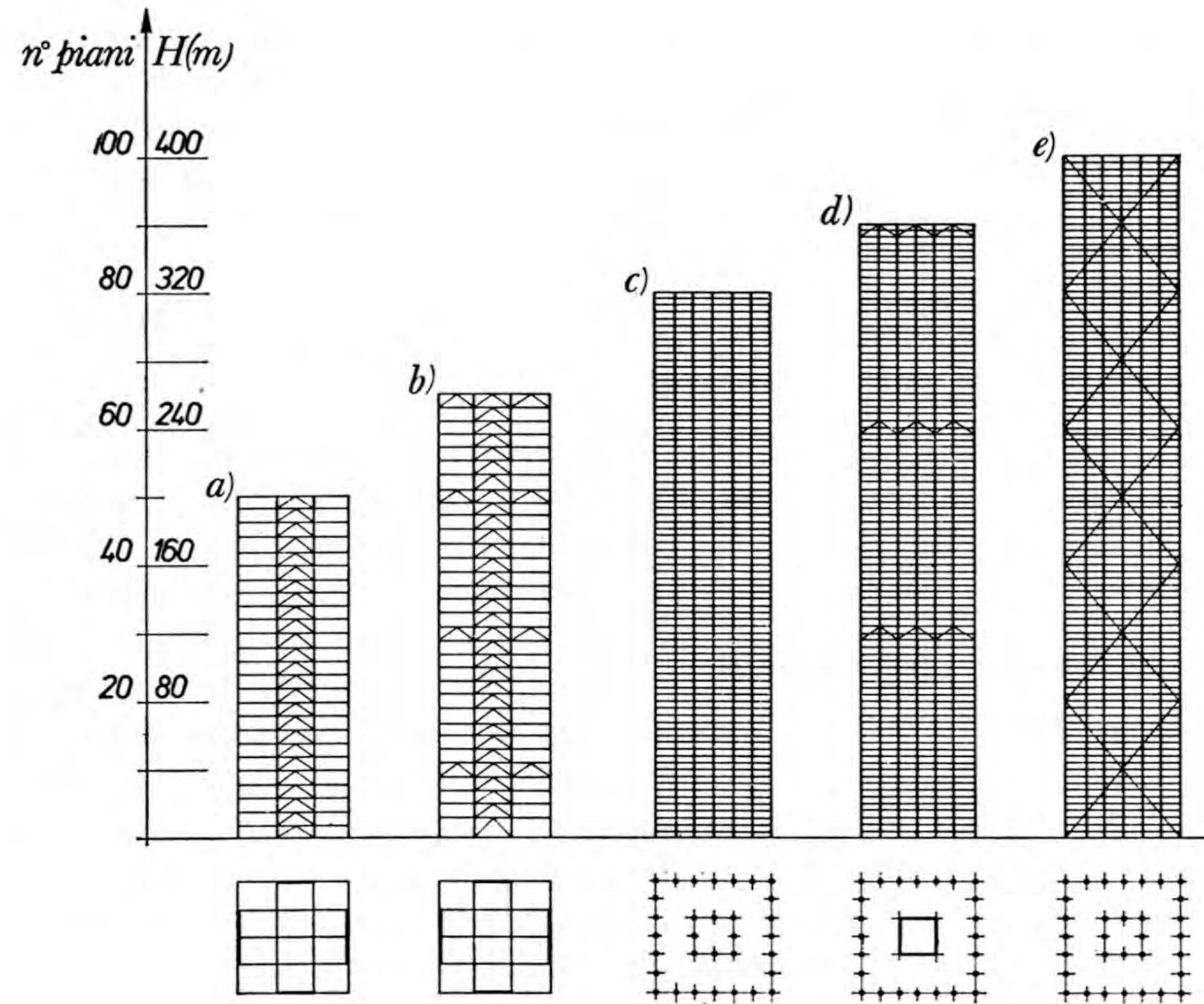






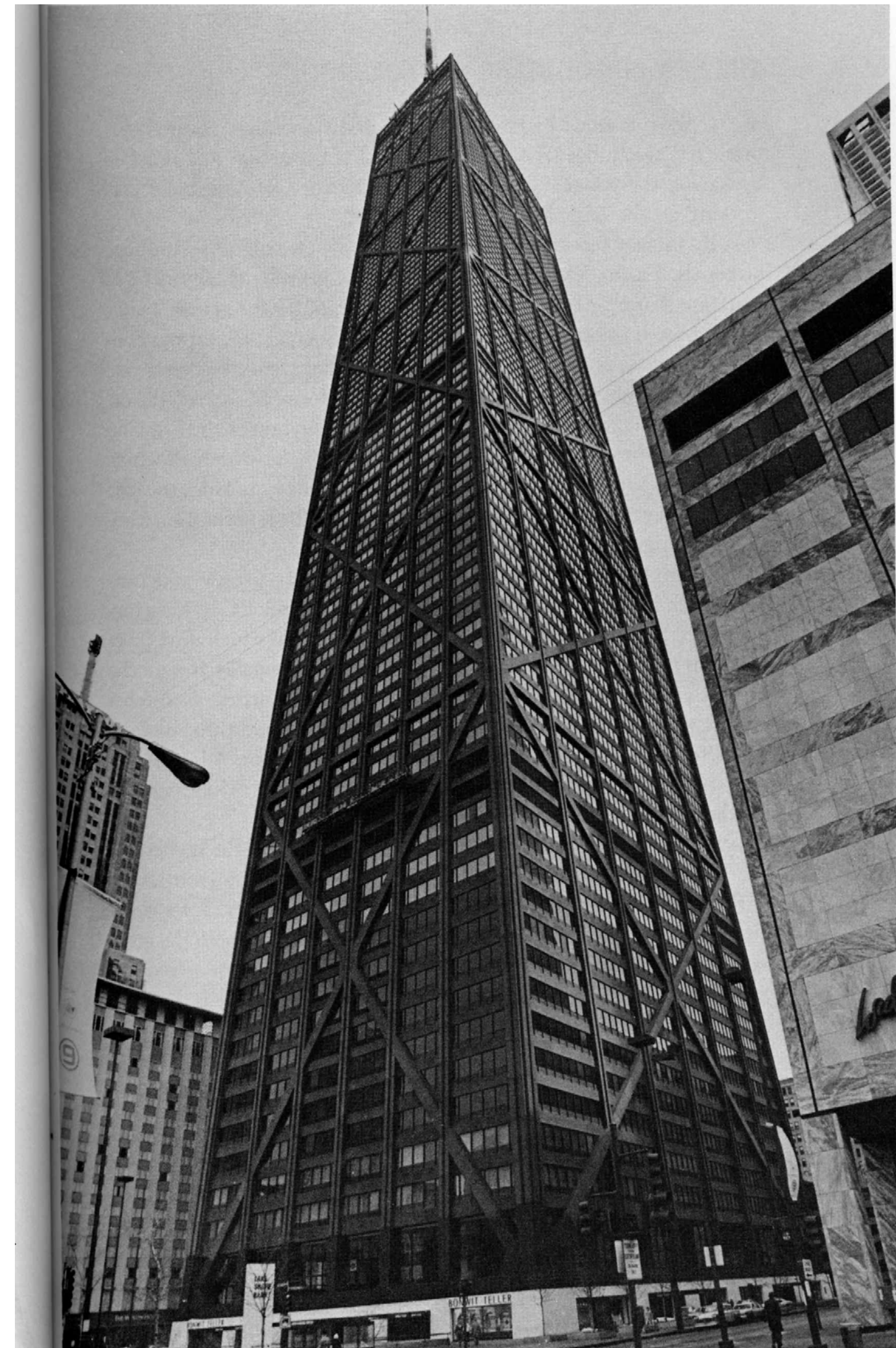
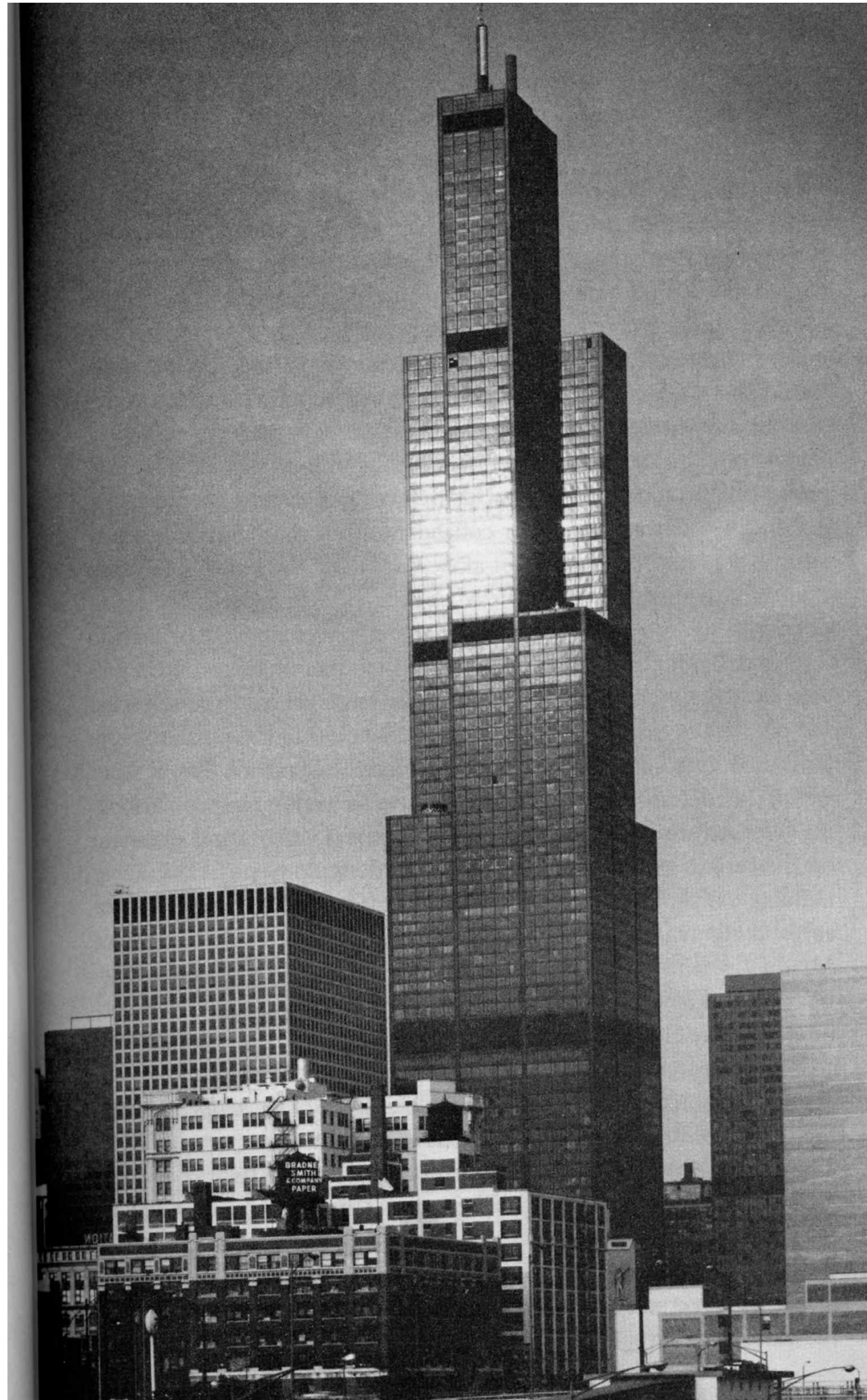
At a tall building symposium in 1966 (proceedings published in Tall Buildings, 1967), Khan demonstrated the dramatic increase in height that could be achieved economically by using a "true cantilever grid tube" structural system.

Pozzati Ceccoli



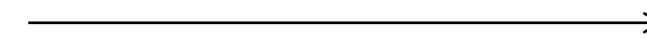
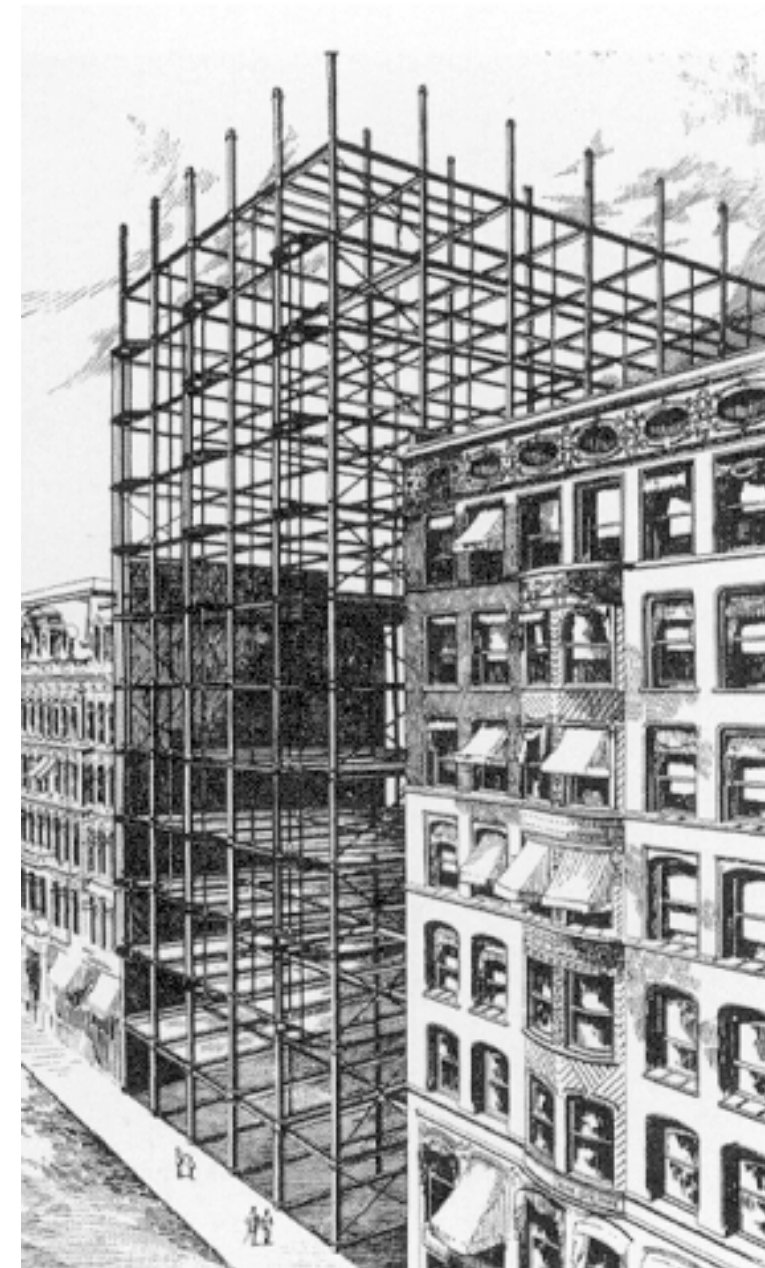
Sears Tower, John Hancock

Cambiamenti climatici e nuove sfide per edifici attivi e resilienti



La soluzione:

Ritornare alle strutture a pareti, ma realizzate ora con in cemento armato



MIRAMAR (1975 – 21stories)

Performance of Structural Walls in Recent Earthquakes and Tests and Implications for US Building Codes

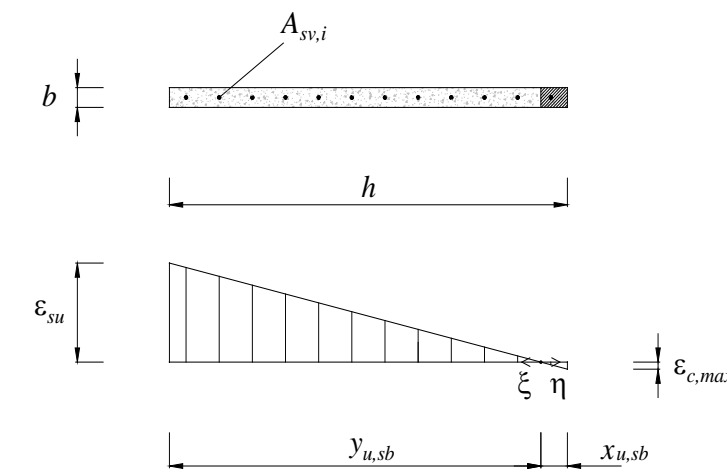
J. W. Wallace
University of California, Los Angeles, USA



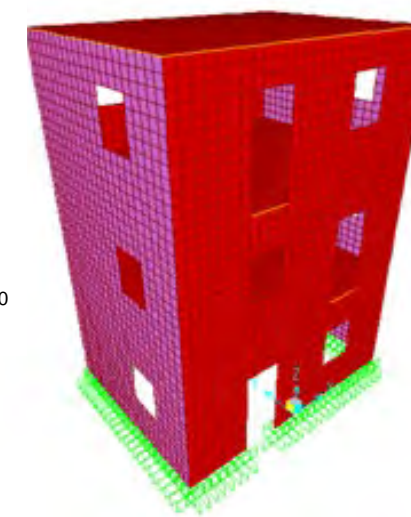
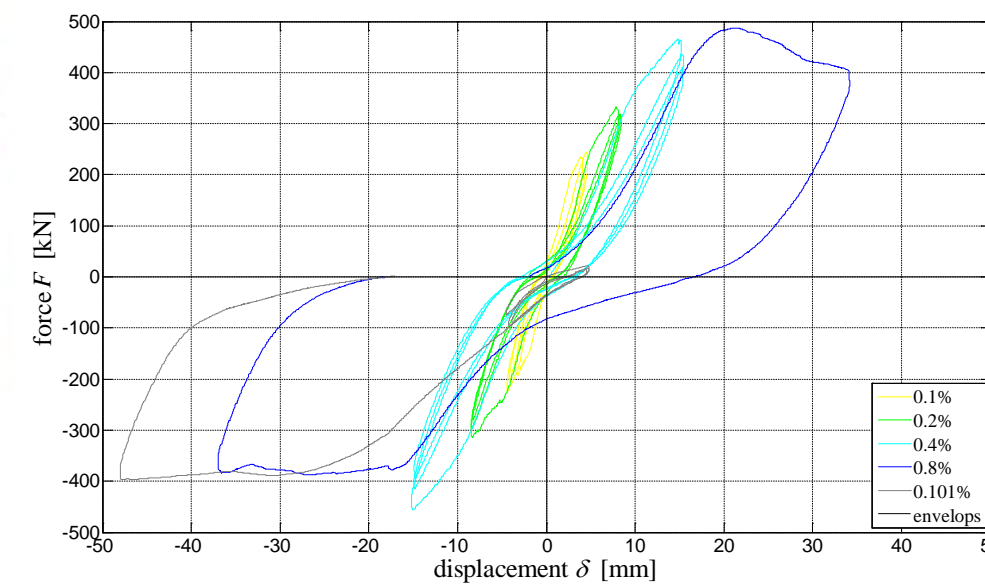
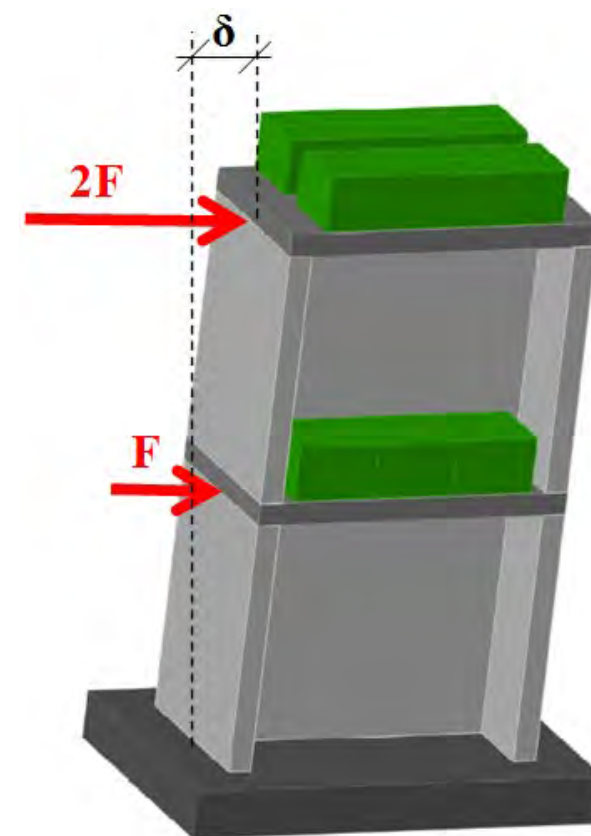
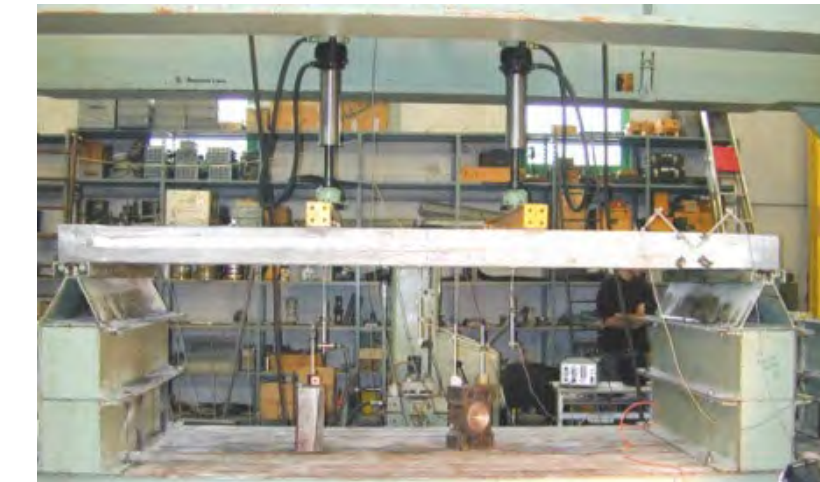
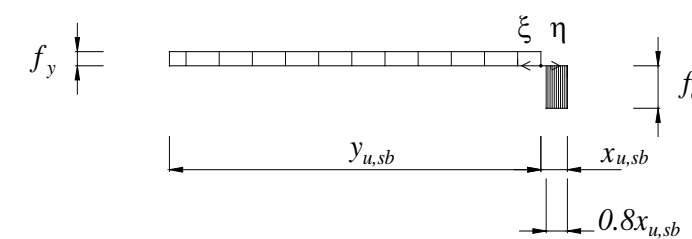


Unibo si occupa di tali sistemi da più di 15 anni

Studi analitici, numerici, sperimentali, sviluppati con riferimento a diverse tecnologie hanno mostrato come costruzioni a pareti portanti sono in grado di garantire superiori prestazioni sismiche ed una resistenza sismica al 100 % (assenza di danno) utilizzando quantitative minimi di armature



$$M_u = (f_y \cdot \rho \cdot b \cdot y_u) \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{y_u}{2} \right) + (f_c \cdot b \cdot 0.8(h - y_u)) \cdot (0.1h + 0.4y_u) + A_{s,catena} f_y (h - 2c)$$



SEismic behaviour of structural SYstems composed of cast in situ CONcrete WALLs (SE.SY.CO.WA)

Progetto "SERIES" (Seismic Engineering Research Infrastructures for European Synergies)

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES
FP7- INFRASTRUCTURES-2008-1
SP4-Capacities

SERIES
SEISMIC ENGINEERING RESEARCH INFRASTRUCTURES
FOR EUROPEAN SYNERGIES

**“Seismic behavior of structural systems
composed of cast in situ concrete walls”**

Lead User → Salvador Ivorra Chorro
sivorra@ua.es
Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Additional Users → Tomaso Trombetti
tomaso.trombetti@unibo.it
ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

→ Dora Foti
d.foti@poliba.it
POLITECNICO DI BARI

→ Cristina Mihaela Campian
cristina.campian@bmt.utcluj.ro
UNIVERSITATEA
TEHNICA
DIN CLUJ-NAPOCA

Proposed host TA facility: Laboratory for Training and Research in Earthquake

Engineering and Seismology: **EUCENTRE TREES Lab**,

Pavia, Italy

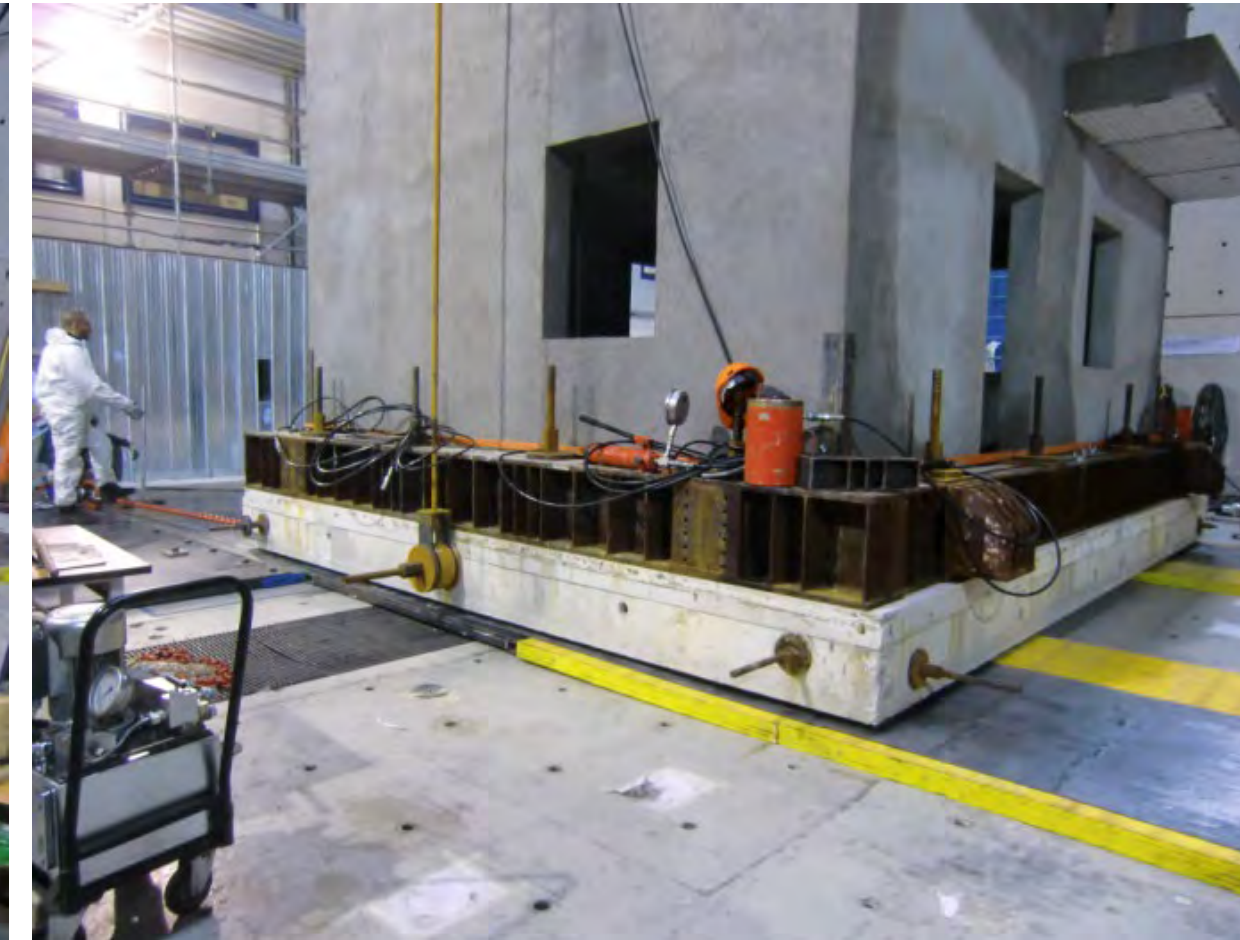
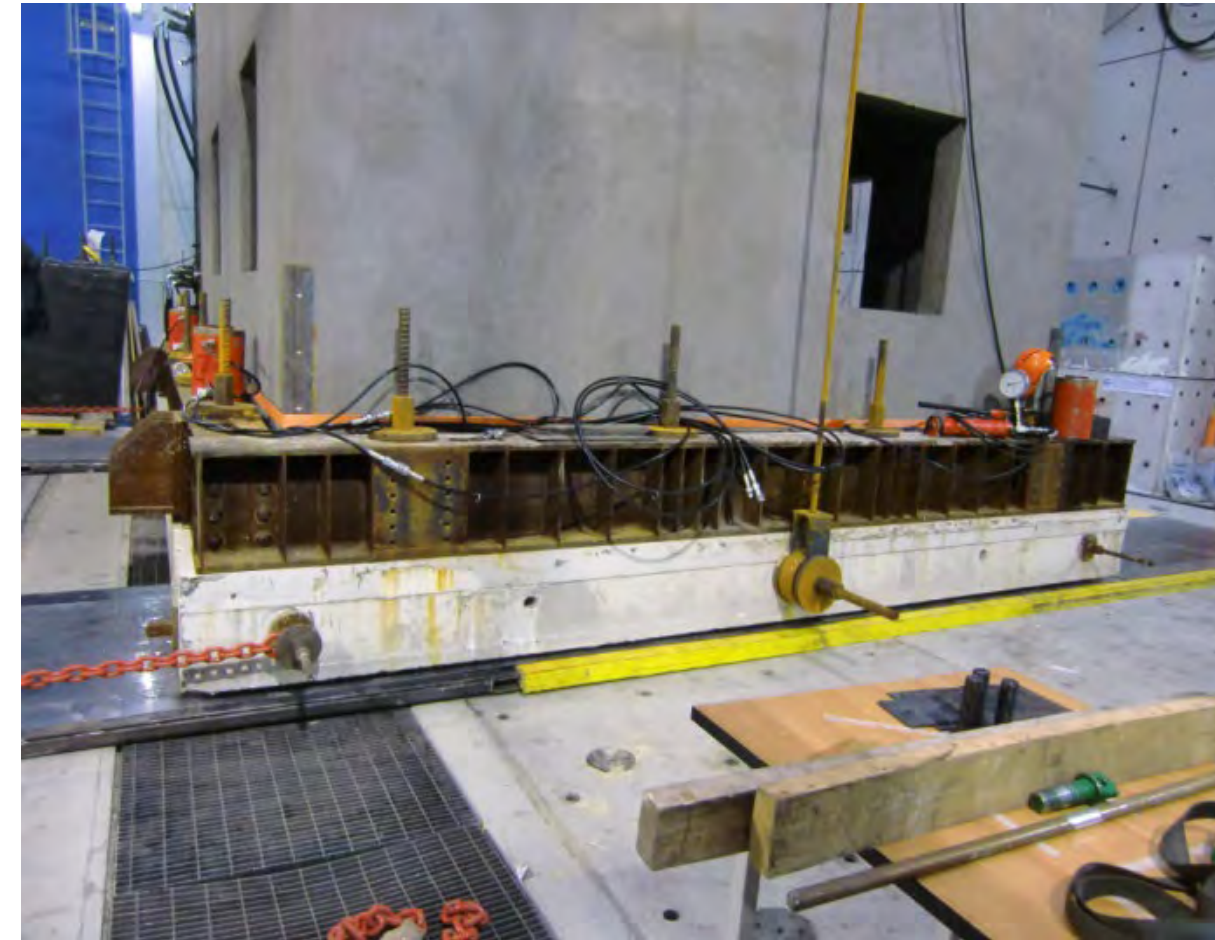
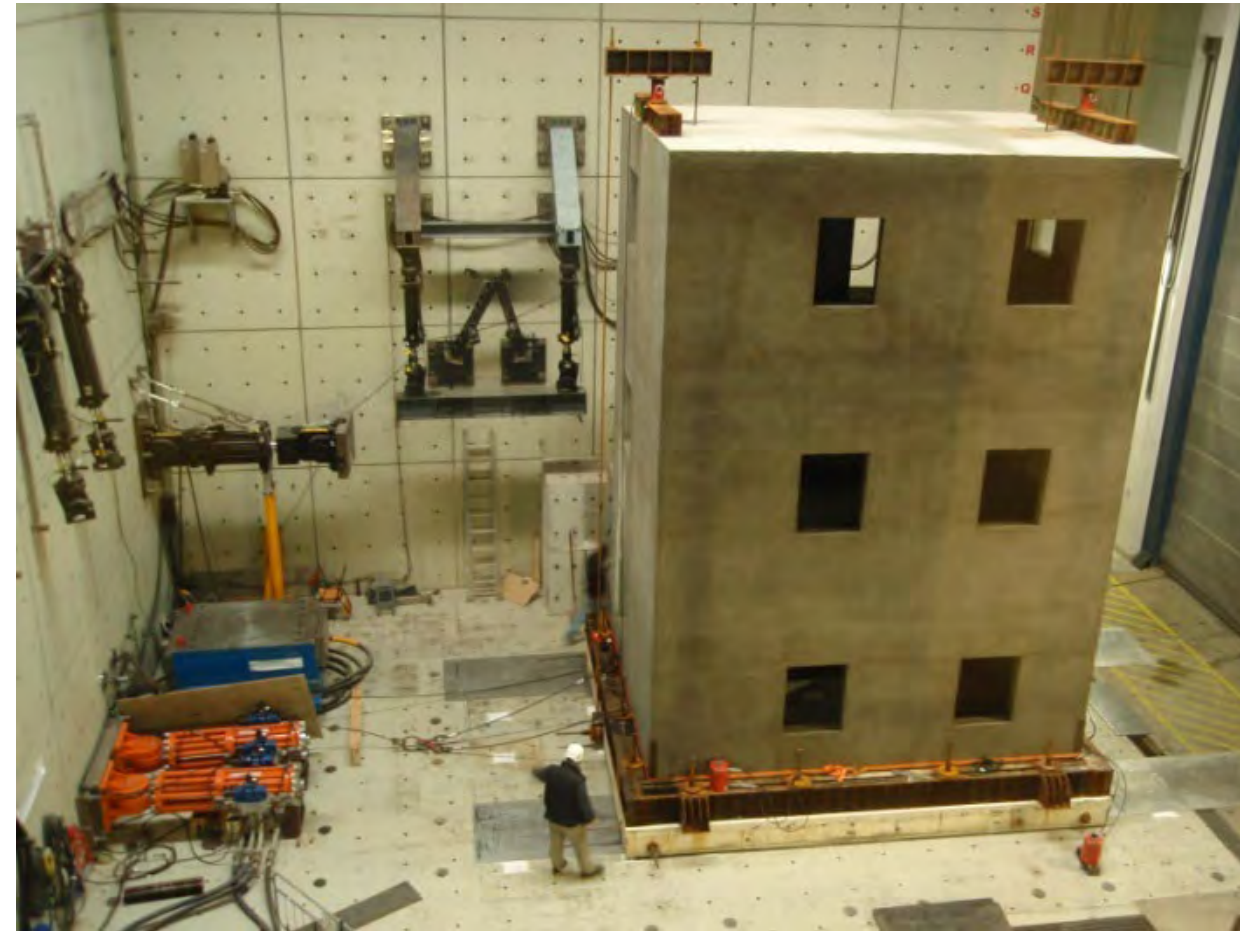
Fasi costruttive



Fasi costruttive



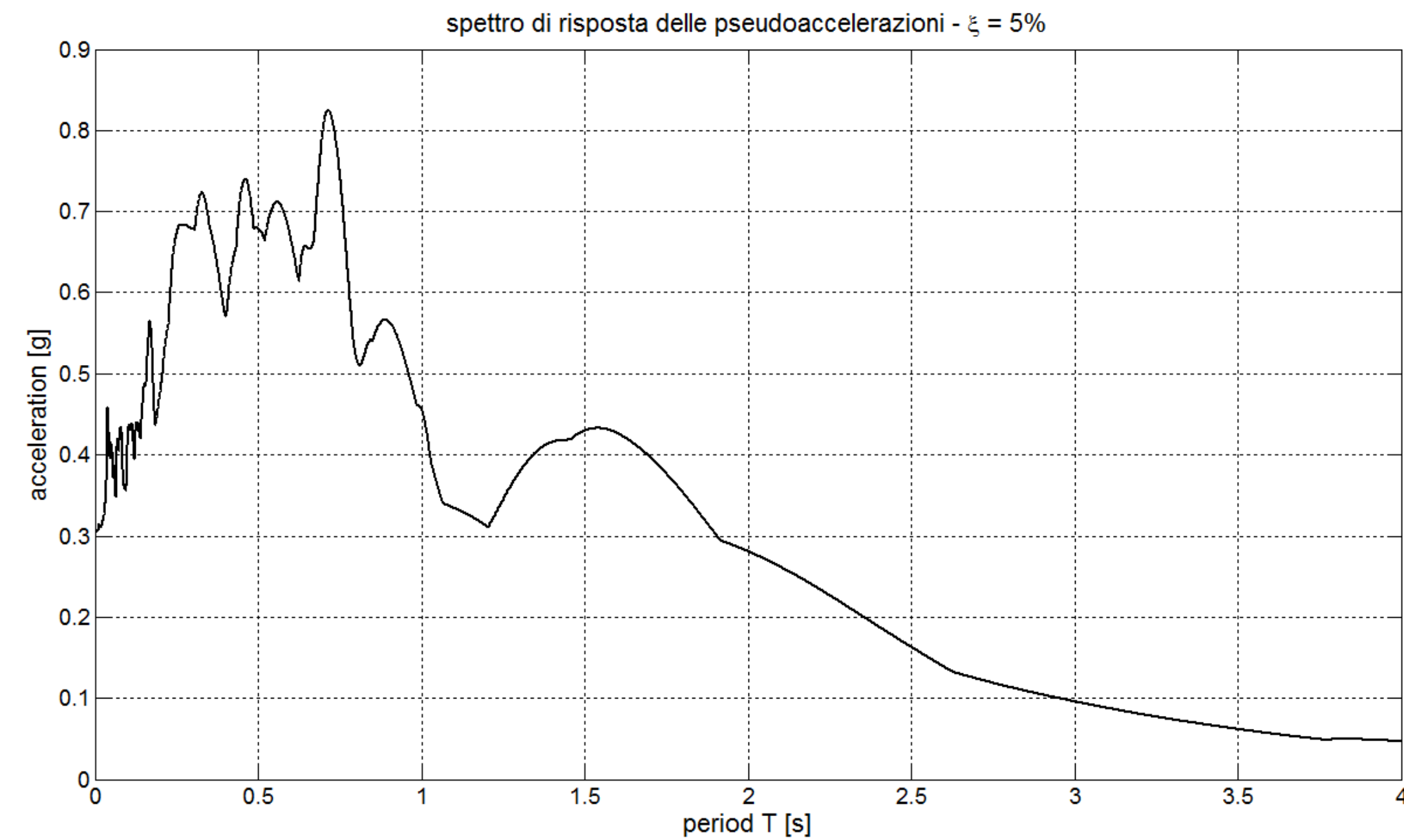
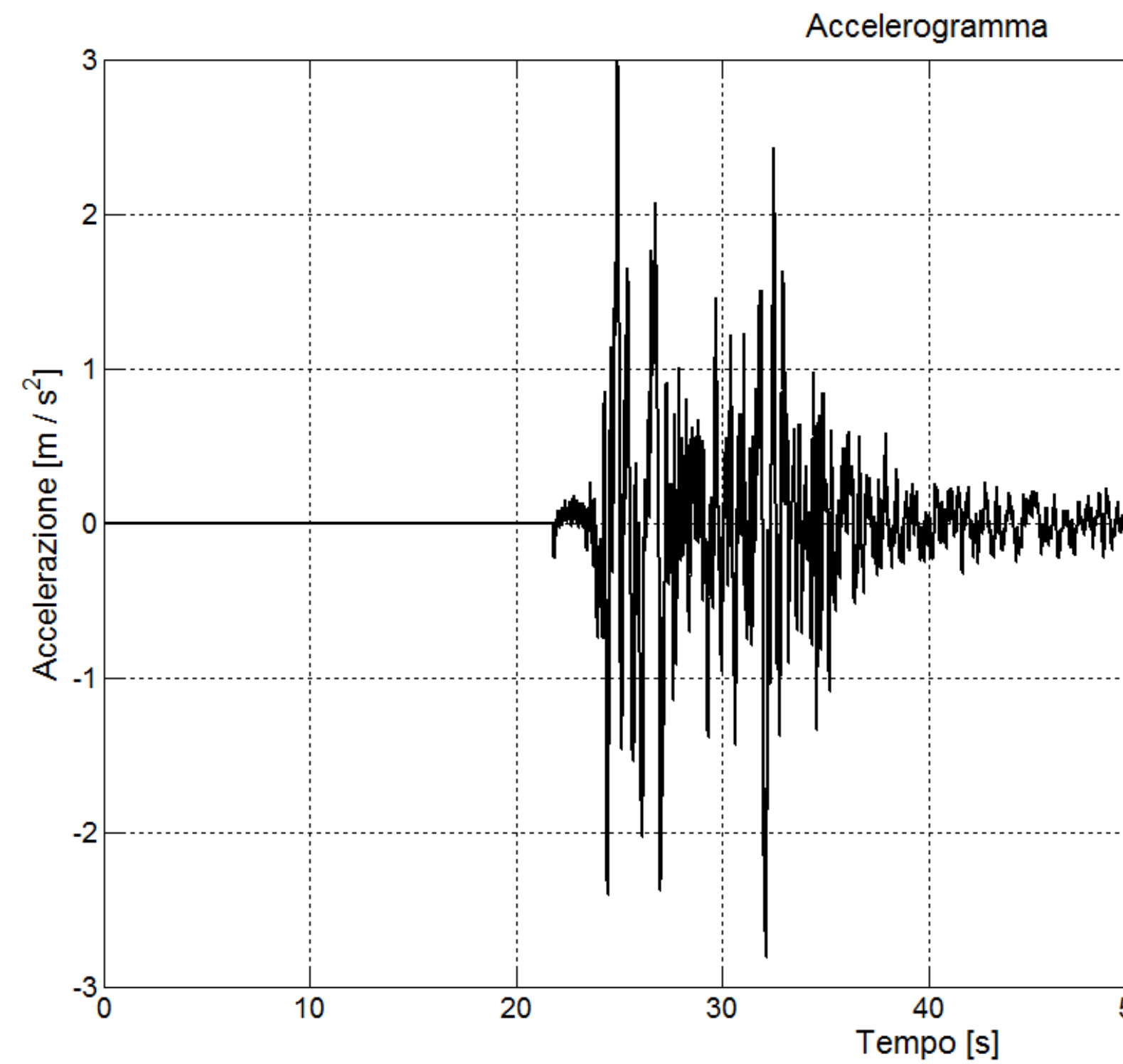
Trasporto



Input

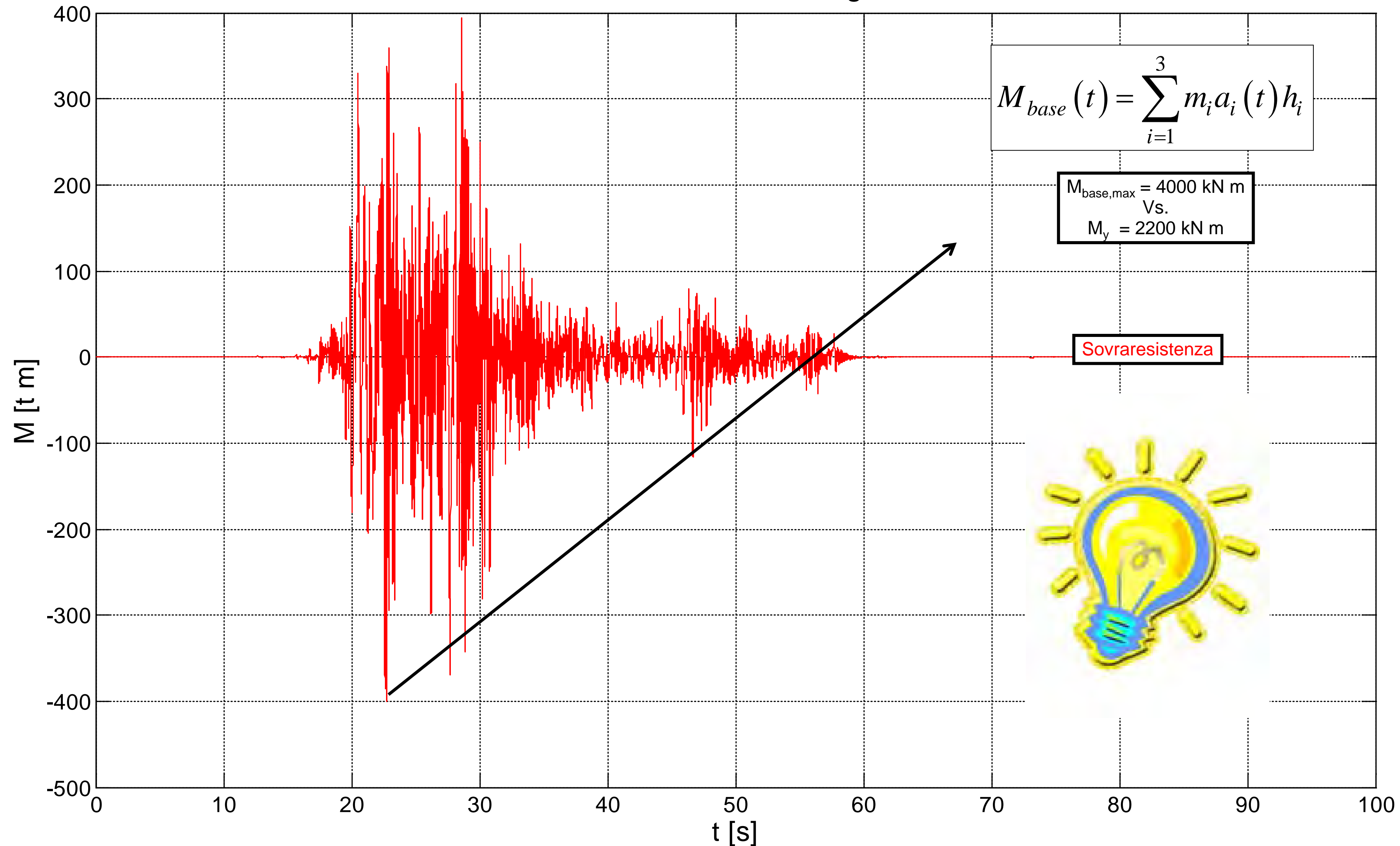
Terremoto del Montenegro (1979)

PGA = 0.305g



Base moment as function of time

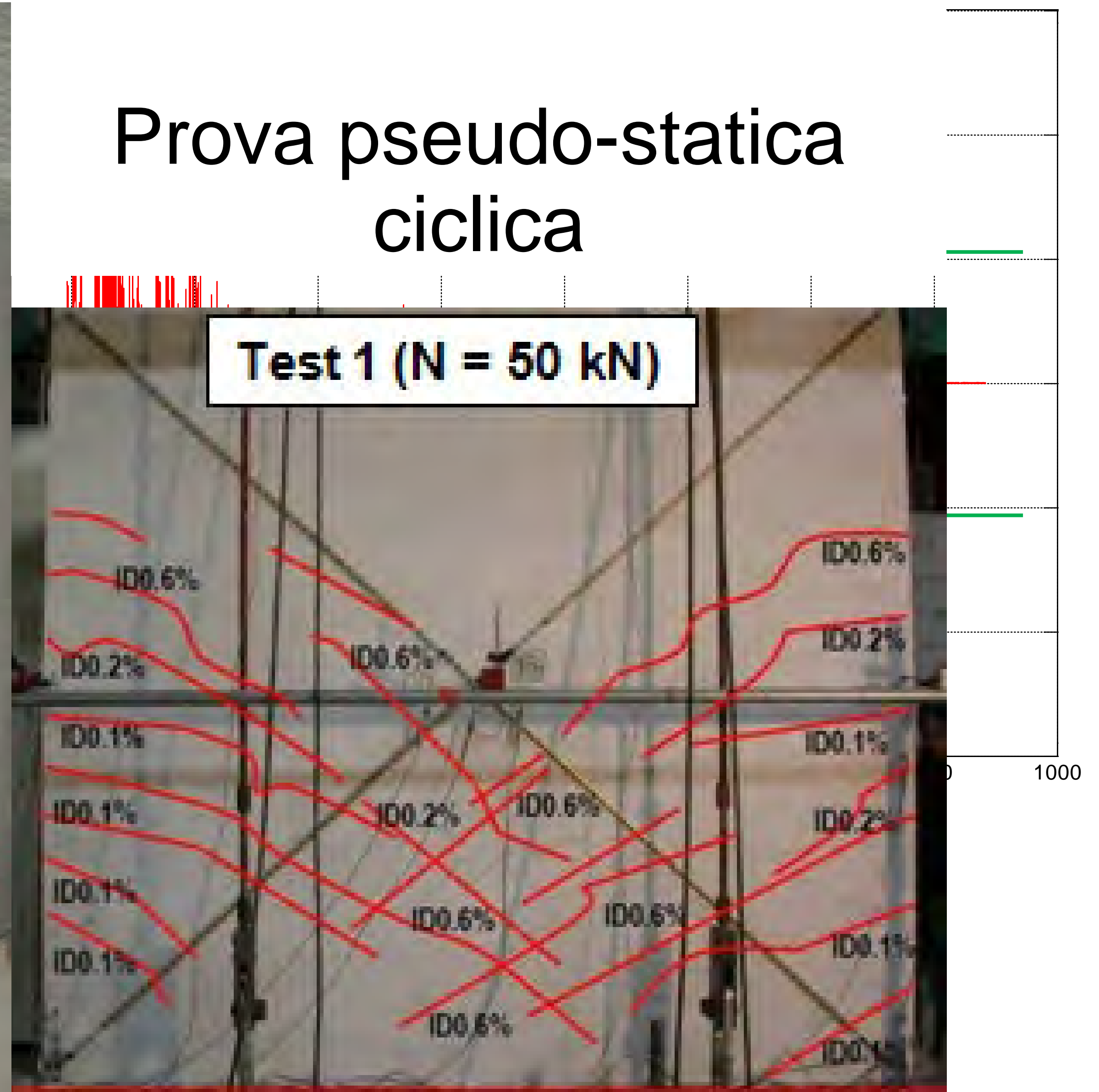
Base Moment - 1g



Prova dinamica



Prova pseudo-statica ciclica



Pareti portanti e sisma: il caso del Cile

On March 3, 1985, a strong earthquake of surface magnitude 7.8 occurred near the central coast of Chile (EERI, 1986). Approximately 400 modern, reinforced concrete buildings, designed for lateral forces comparable to those used in the highest seismic risk regions of the United States, were subjected to the strong shaking. Reconnaissance reports (EERI, 1986) and subsequent studies (Wallace and Moehle, 1989) indicated that the stiff, shear wall structures constructed in Chile performed extremely well, with little to no apparent damage in the majority of buildings. Later investigations (Wallace and Moehle, 1992, 1993) revealed that although the seismic code requirements (design forces) in Chile were similar to those used for high seismic risk regions in the U.S., detailing requirements were less stringent.

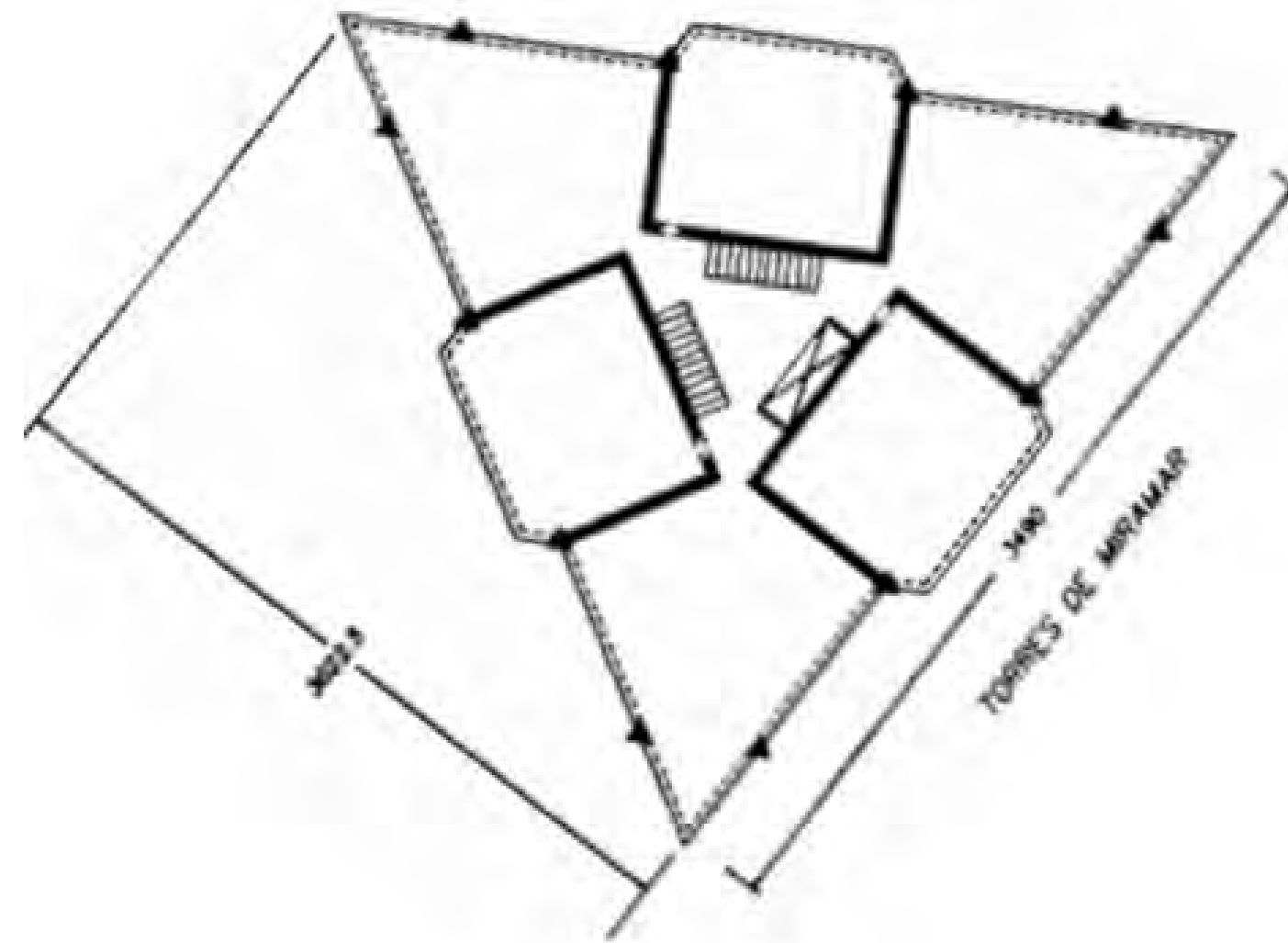
John Wallace (UCLA), 2011

Pareti portanti e sisma: il caso del Cile

MIRAMAR (1975 – 21stories)

1985 Damage: none/minor; signs of foundation rocking were reported.

Damage 2010: none/minor



Pareti portanti e sisma: il caso del Cile



HANGA ROA (1970 – 15stories)



Pareti portanti e sisma: il caso del Cile

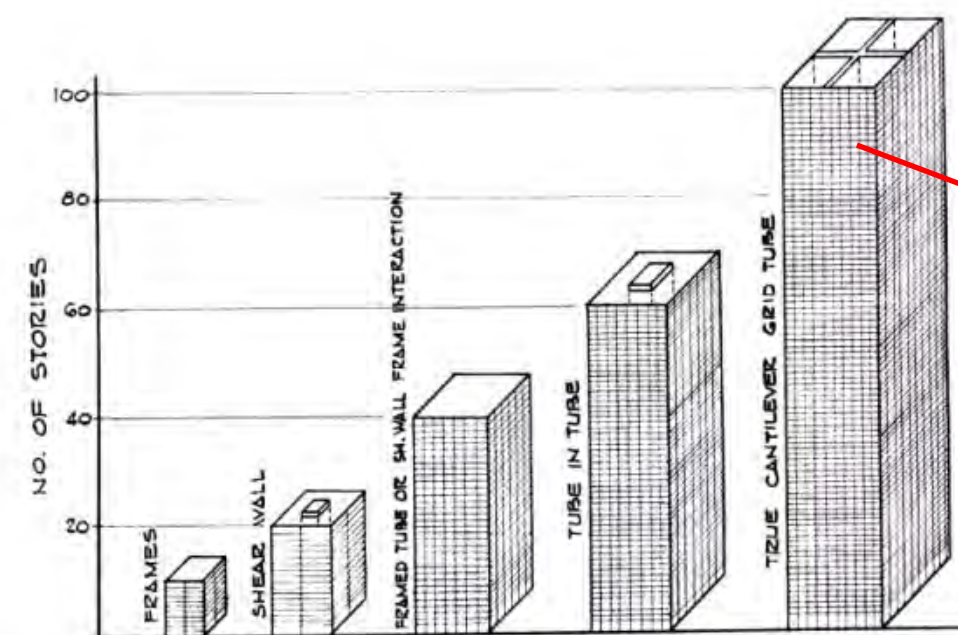
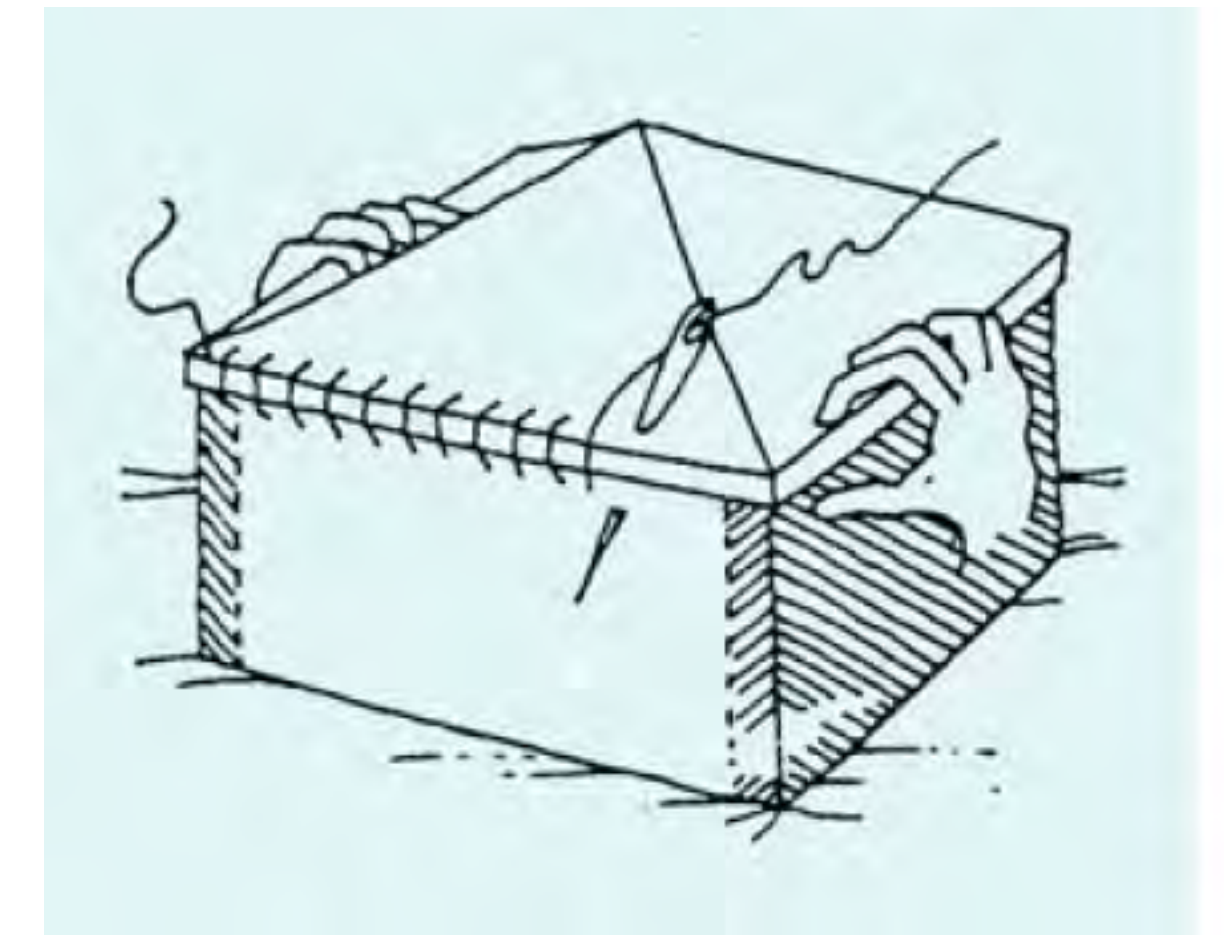
BUILDINGS WITH NO DAMAGE



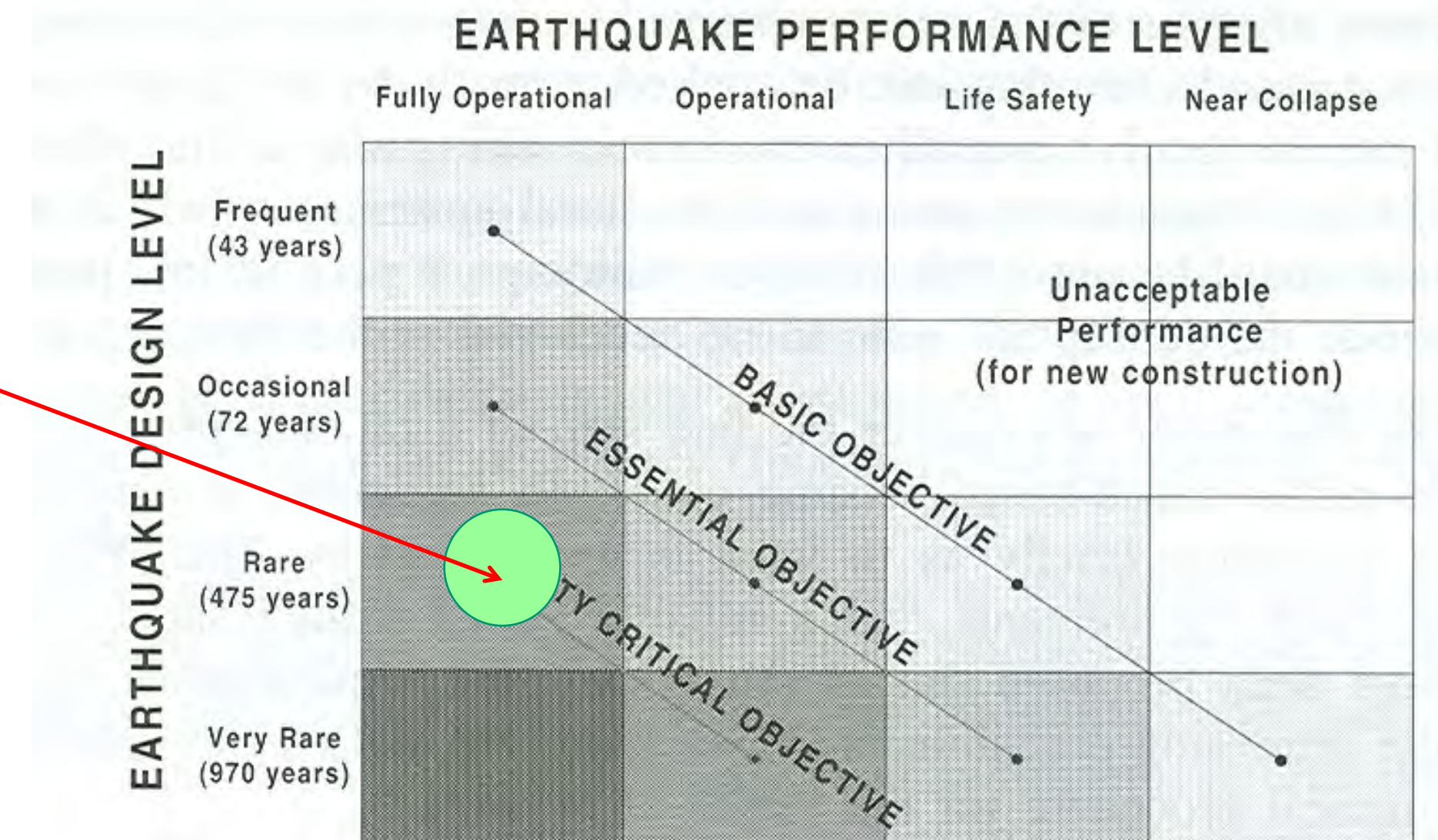
Prestazioni offerte da strutture scatolari / cellulari

EDIFICIO REALIZZATO CON PARETI PORTANTI

- Si è adottata l'armatura minima prevista da normativa;
- Strutture di questo tipo, se ben collegate, riescono a sviluppare un **comportamento scatolare** che fornisce una grande rigidezza all'intero edificio;
- Tale comportamento permette alla costruzione di **rimanere in campo elastico-lineare** anche in zone in cui si possono registrare dei terremoti di notevole intensità

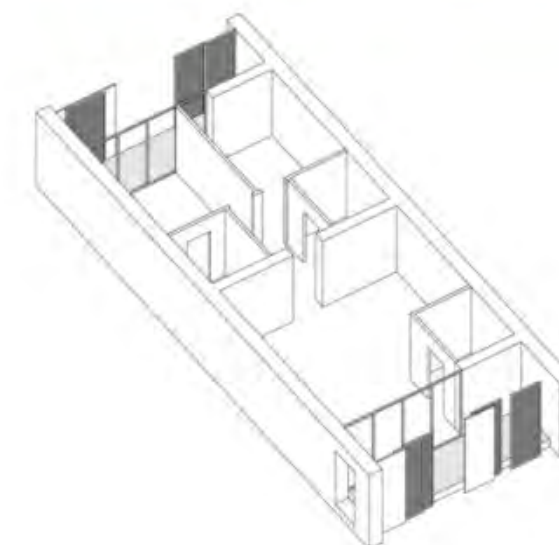
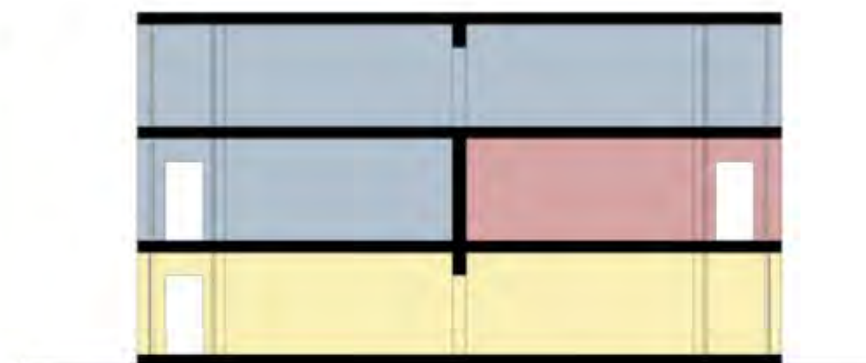


At a tall building symposium in 1966 (proceedings published in Tall Buildings, 1967), Khan demonstrated the dramatic increase in height that could be achieved economically by using a "true cantilever grid tube" structural system.



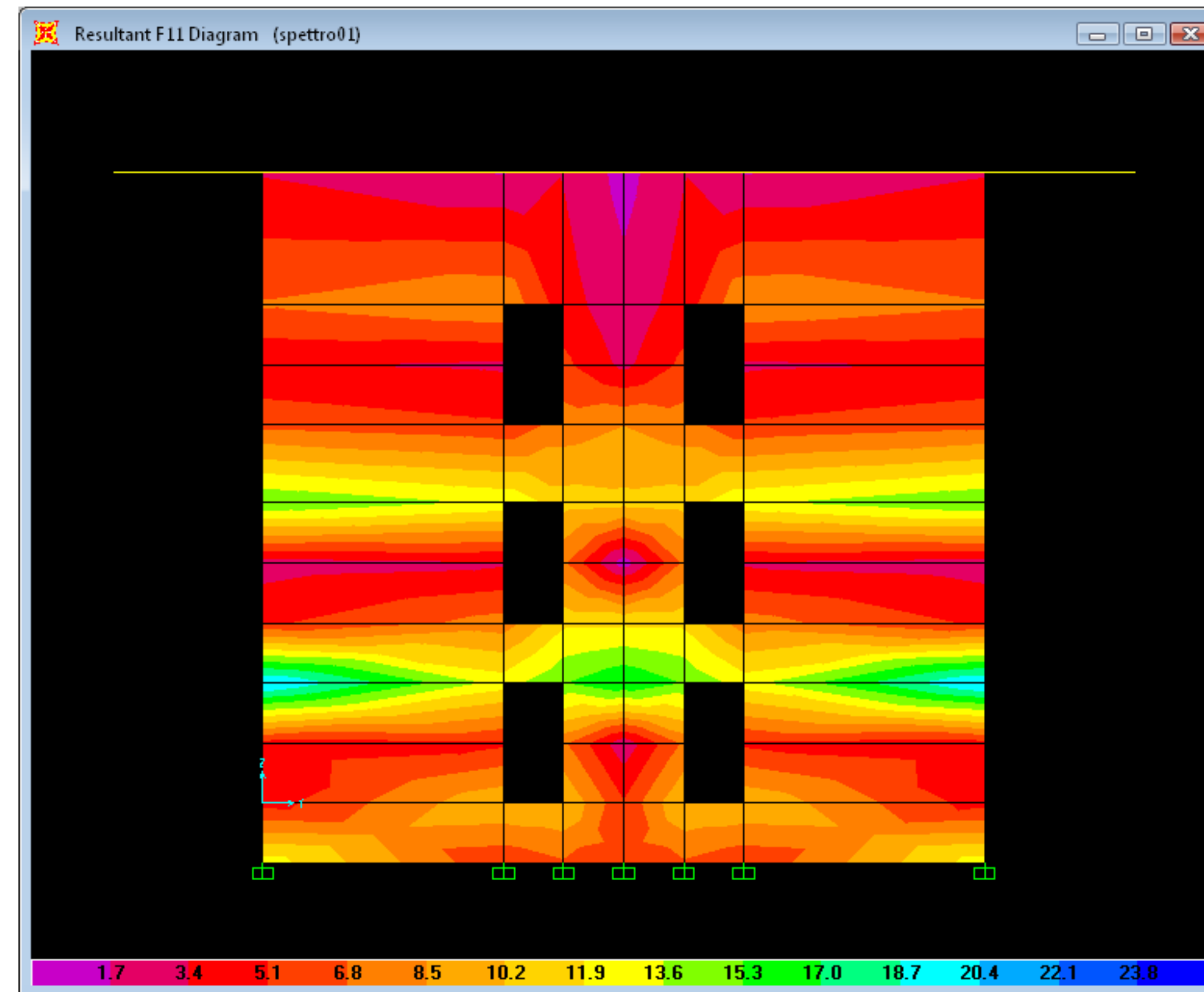
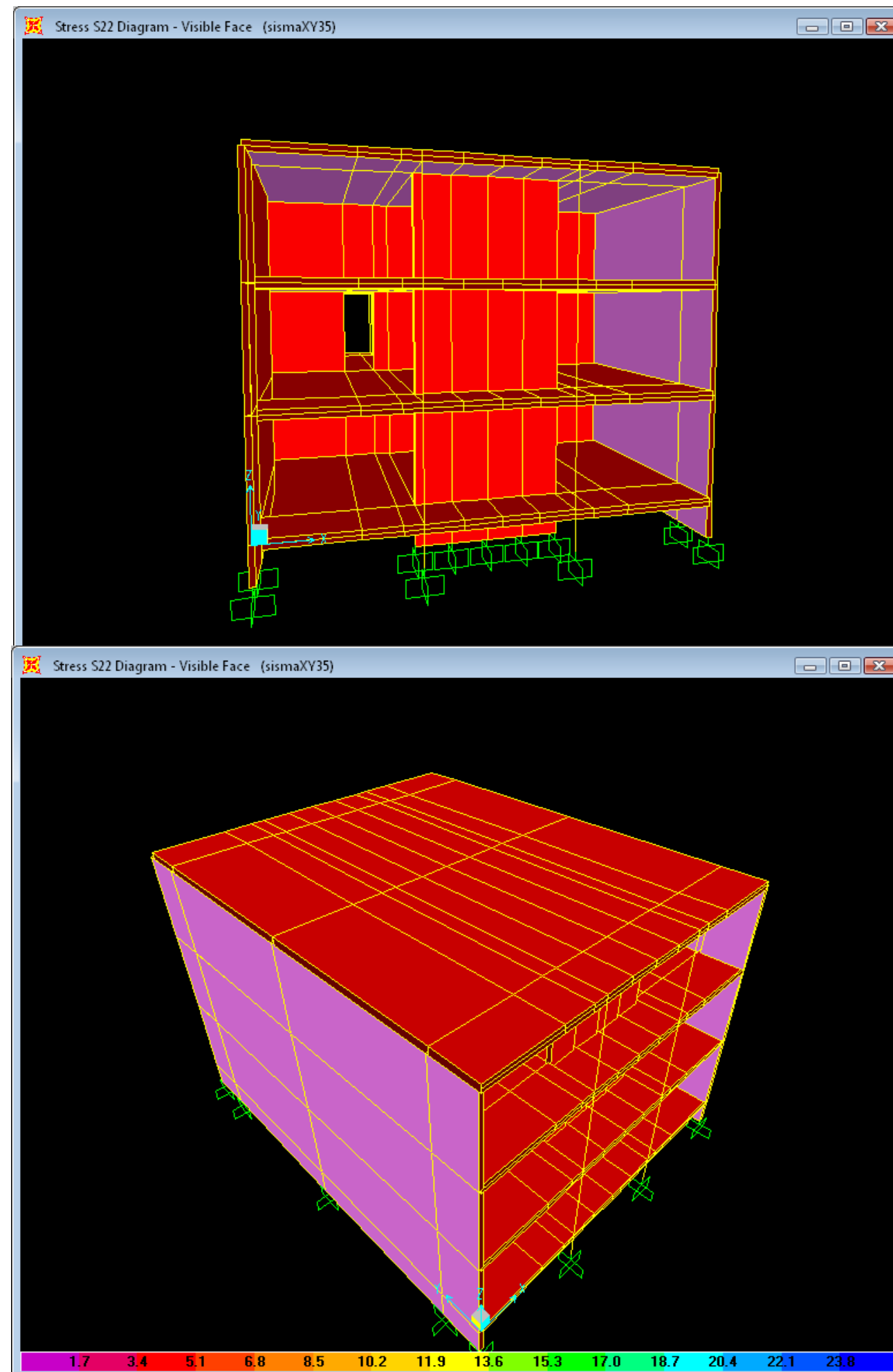


Strutture a setti portanti (comportamento "cellulare")

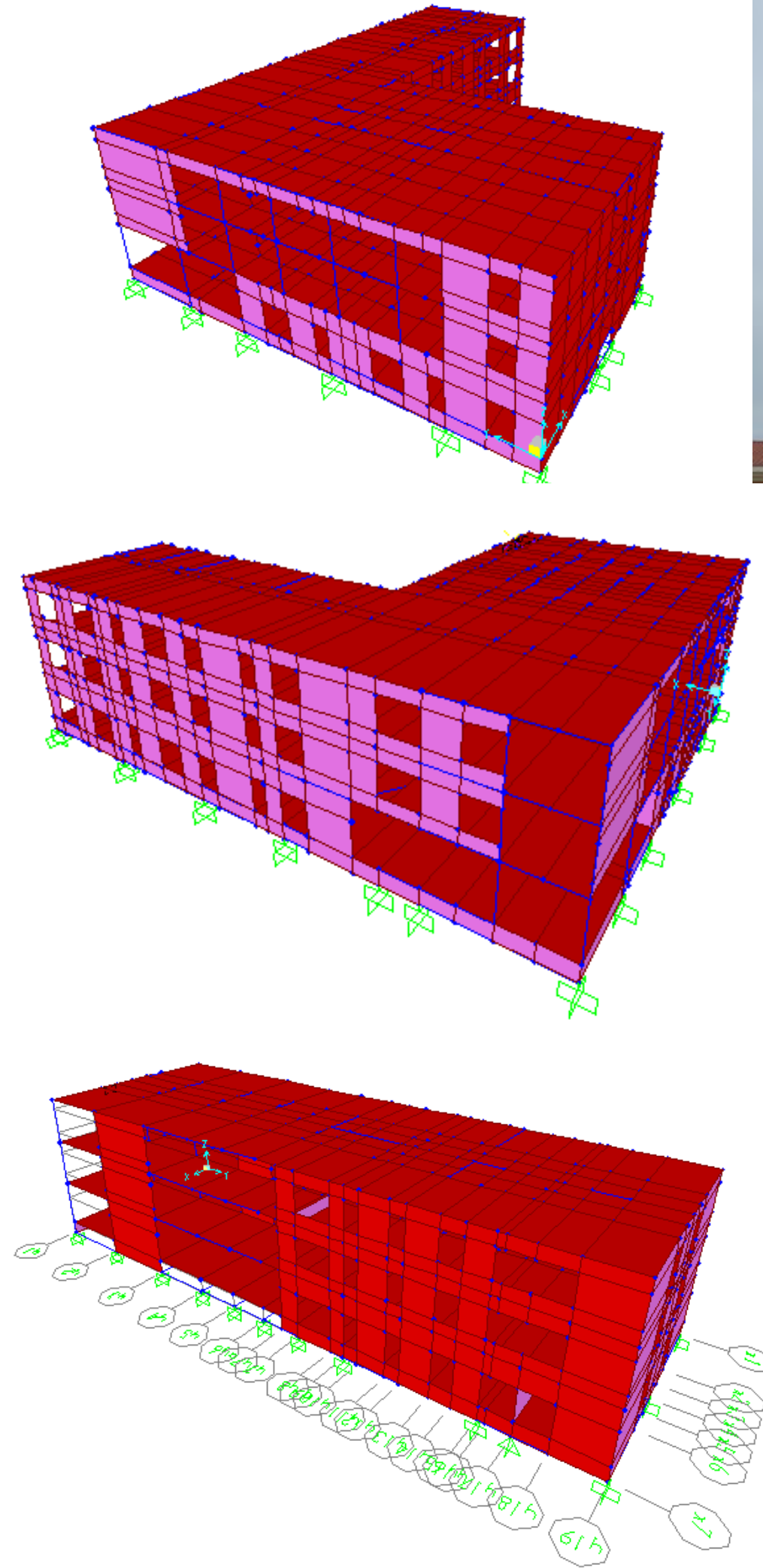


 **MODULO DOPPIO**
3/4 ABITANTI
72 mq

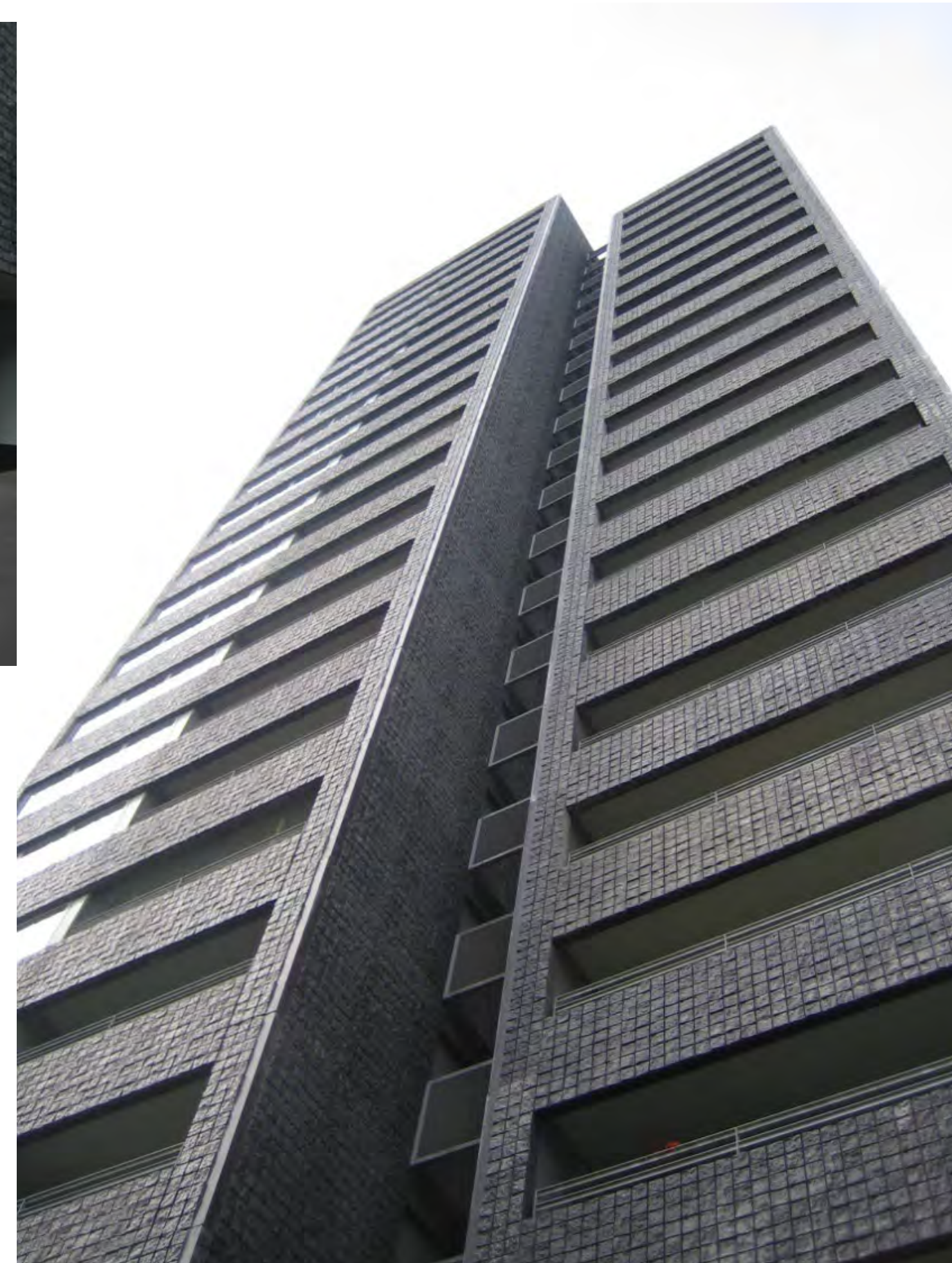
Tassi di lavoro attorno a 0,1/0,2



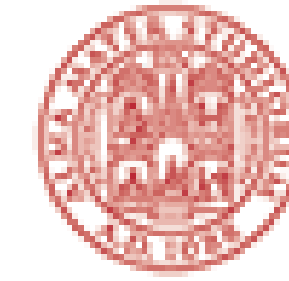
Casa protetta in provincia di Treviso



Le strutture a setti portanti e la flessibilità architettonica

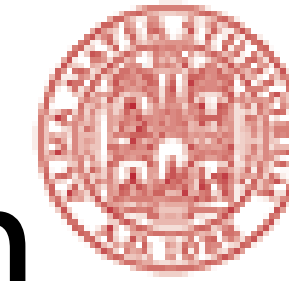


Torre KNS, Architetto Weil Arets, Amsterdam



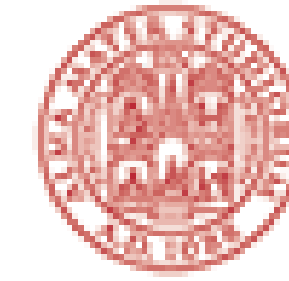
Quartiere “Sporenburg”, Amsterdam





Quartieri “Jawa” e “KNSM” Amsterdam





Quartiere “Herren 5-95” Amsterdam





Le strutture a setti portanti e la **flessibilità architettonica**

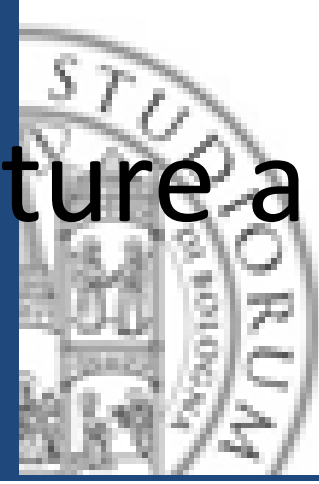


Biblioteca universitaria ad Utrecht, Weil Arets

Residenza Unifamiliare, Eduardo Souto Moura



Le strutture a setti portanti e la **flessibilità architettonica**



Le «Simona», Monte Carlo



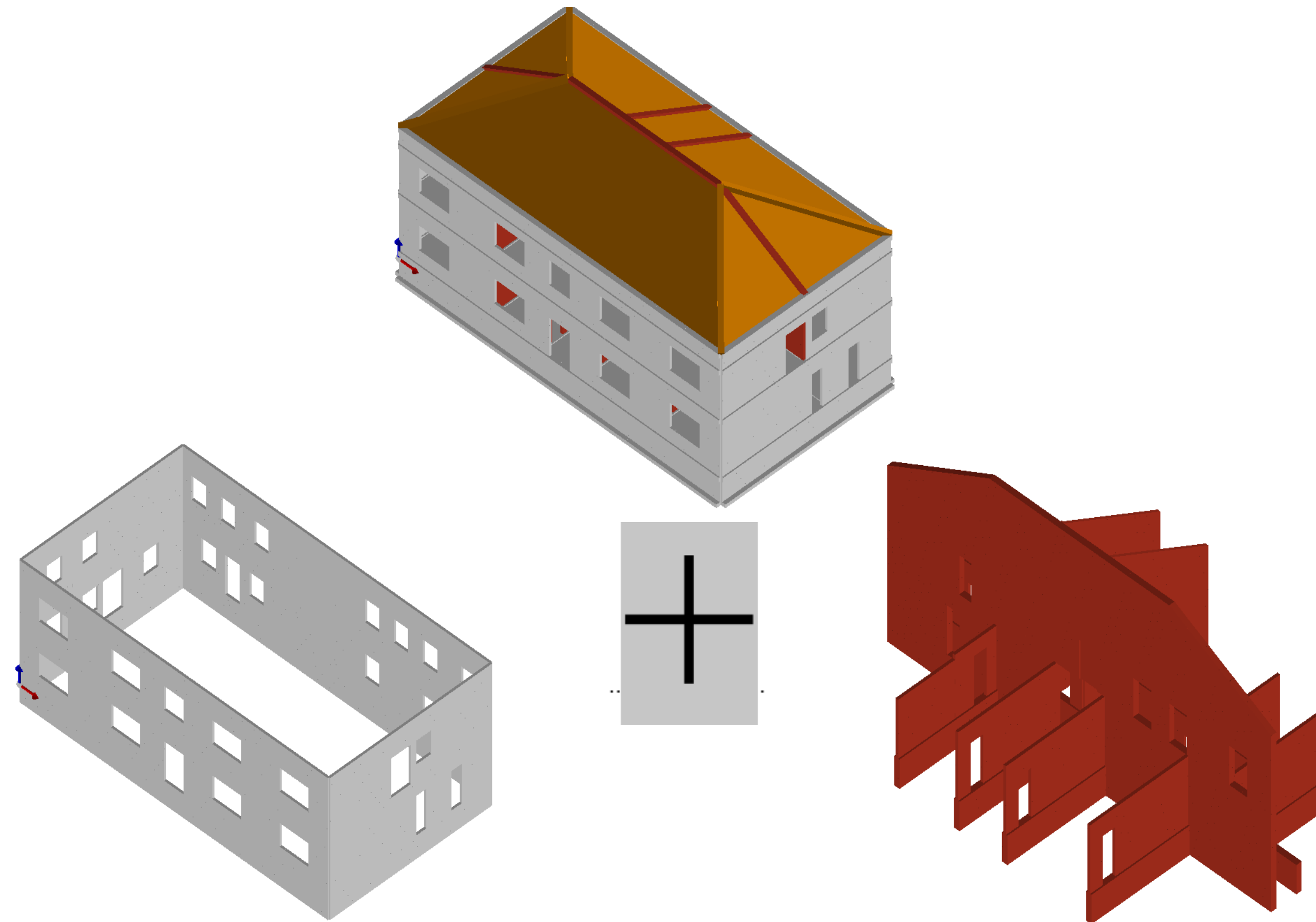


Le strutture a setti portanti e la **flessibilità architettonica**

Le «Simona», Monte Carlo

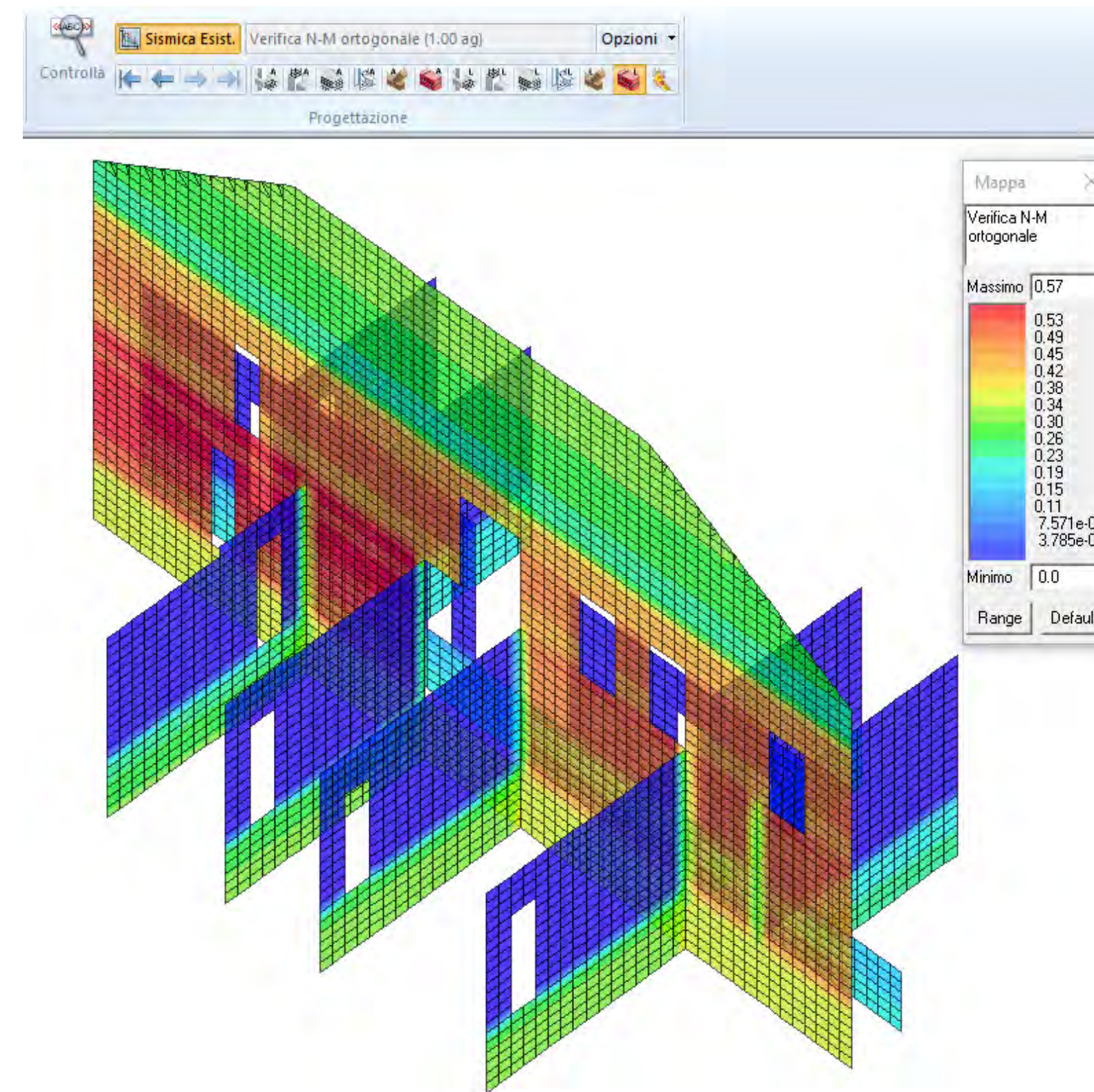


L'utilizzo della parete portante per il retrofit sismico di edificio esistenti



Tutta la "scatola" esterna diviene il Sistema resistente alle azioni orizzontali lasciando la struttura esistente sostanzialmente soggetta a sollecitazioni minime

100 % MAXIMUM
EARTHQUAKE
ACTION



Conclusioni

- I tempi sono maturi per la diffusione di soluzioni antisismiche basate sulla capacità resistente dei sistemi c.d. “Scatolari” (quali sistemi costruttivi a **pareti portanti cca**).
- Questo approccio progettuale offre innumerevoli vantaggi, non solo dal punto di vista strettamente strutturale/economico, ma anche e soprattutto in termini di prestazioni offerte all’utente del bene.
- La “scatola” antisismica a parete portante può essere utilizzata:
 - Per edifici di nuova realizzazione
 - Per edifici esistenti