



CON IL PATROCINIO DI
Associazione Nazionale Tecnici Enti Locali (ANTEL)
Anti-Seismic Systems International Society (ASSISi) – Sezione Territoriale Italiana

Seminari GLIS - Ordine degli Ingegneri di Torino
TORINO, 16 settembre 2014

Criteri per il progetto strutturale: Sicurezza strutturale e salvaguardia della vita contro protezione della funzione e resilienza



Alessandro De Stefano
Docente di Ingegneria Sismica, Politecnico di Torino

Alessandro.destefano@polito.it

SIGNIFICATO DEL TITOLO

LA PAROLA «CONTRO» NEL TITOLO VA INTESA COME L'INGLESE «VERSUS», NON CONTRAPPOSIZIONE MA SCELTA CONCETTUALE ALTERNATIVA E PIÙ COMPLETA

- ***Progetto sicuro e progetto resiliente***
 - ***Progetto sicuro (strutture): nessun collasso né perdite umane***
 - ***Progetto resiliente: danneggiamento confinato e lieve o nullo su strutture e componenti non- strutturali anche in condizioni ultime; recupero rapido e poco costoso della funzione della costruzione. Il progetto resiliente deve essere anche sicuro***

ORIGINE DEL RISCHIO:

RISCHIO = PERICOLOSITÀ X VULNERABILITÀ X ESPOSIZIONE

IL RISCHIO, SE NON CONTRASTATO, COMPORTA UNA ATTESA DI DANNO PIÙ O MENO GRAVE, FINO AL COLLASSO DELLA COSTRUZIONE.

IN DETTAGLIO, COME SI MANIFESTA IL RISCHIO?

- 1. *Terremoto più intenso del previsto (scuotibilità/ hazard+effetti di amplificazione locale)***
- 2. *Struttura duttile e flessibile, muri rigidi e fragili (vulnerabilità, difetti di progetto)***
- 3. *Deformazioni plastiche eccessive (vulnerabilità, limiti concettuali del progetto)***
- 4. *Nodi trave-colonna mal progettati e costruiti (vulnerabilità, progetto non dettagliato o costruzione non rispettosa del progetto)***
- 5. *Struttura non regolare (vulnerabilità, scelte di progetto)***
- 6. *Interazioni distruttive con il costruito o l'ambiente circostante (esposizione)***
- 7. *Degrado dei materiali (vulnerabilità, invecchiamento, aggressione ambientale)***

TERREMOTO PIÙ INTENSO DEL PREVISTO: PERICOLOSITÀ E TERREMOTO DI PROGETTO

I terremoti non sono eventi puramente probabilistici. Sono causati da fenomeni geofisici di accumulo e rilascio di energia ancora non ben conosciuti

I loro effetti sono visibili e talvolta, se li analizziamo senza pregiudizio, ne possiamo trarre spunto per rimettere in discussione concetti consolidati e consuetudini professionali.

PERICOLOSITÀ SISMICA: DEBOLEZZA DI UN APPROCCIO PURAMENTE PROBABILISTICO

La stima probabilistica della scuotibilità (PSHA = Probabilistic Seismic Hazard Assessment) mette in relazione la probabilità di un evento sismico con la Magnitudo (o l'Intensità Macrosismica) ed il tempo di ritorno (R T). La legge di Gutenberg-Richter regola la relazione. Il processo probabilistico adottato può essere la distribuzione poissoniana-esponenziale (come nelle Norme Tecniche Italiane) che si basa su un modello invariante nel tempo e senza memoria e si propone di rispondere alla seguente domanda:

Quale è il tempo di ritorno atteso di un sisma di intensità I_0 (o Magnitudo M_0) con il 10% (o il 2%) di probabilità di essere eguagliato o superato almeno una volta in n anni?

	n = 10 anni	n = 50 anni	n = 100 anni	n = 200 anni
RT ($P[I \geq I_0] = 10\%$)	95	475	950	1900
TR ($P[I \geq I_0] = 2\%$)	495	2475	4950	10000

GIOCANDO CON LA DISTRIBUZIONE ESPONENZIALE

- **Consideriamo un terremoto di intensità macrosismica I_0 , con probabilità 2% di essere uguagliato o superato almeno una volta in 100 anni. $RT = 4950$ years.**
- **Immaginiamo ora che, per rivelazione divina, sappiamo CON CERTEZZA che un terremoto così avvenne circa 4950 anni fa e mai più fino ad oggi.**
- **Quale è la probabilità che un terremoto uguale o superiore a quello avvenga il prossimo anno? Secondo la distribuzione esponenziale:**

$$P_{\text{Divine Revelation } (I \geq I_0)} = 1 - e^{-4951/RT} = 63\%$$

- **Ma se trascuriamo la storia pregressa la probabilità che un simile evento accada nel prossimo anno vale :**

$$P_{\text{PSHA}} = 1/RT = 0,02\%$$

PROBABILISTIC EXPECTATION VERSUS MAXIMUM CREDIBLE VALUE

Di fatto, senza suggerimenti soprannaturali la storia sismica dei 5000 anni trascorsi è sconosciuta. Nessun dato. Una previsione probabilistica non può basarsi su leggi di distribuzione senza dati reali. Non possiamo sostenere a cuor leggero che un terremoto intenso, definito raro ed improbabile usando una legge di distribuzione senza memoria del passato, sia davvero improbabile

Una idea alternativa è la definizione, per ogni sito, del «massimo terremoto credibile». Il metodo Neo-Deterministico (NDSHA) che la propone opera su modelli geofisici e non puramente probabilistici.

Spesso terremoti originati da sismogenesi diverse avvengono in aree poco estese ad intervalli ravvicinati

Tra i molti esempi:

- California: San Fernando (1971), Loma Prieta (1989), Northridge (1994)
- Turchia: due forti sismi presso il mar di Marmara (17 agosto, 12 novembre 1999)
- Cina: Wenchuan (maggio 2008, M 7,9), Lu Shan (150 km di distanza, 5 anni dopo)
- Cile

TEMPO DI RITORNO?

OSPEDALE REGIONALE DI LUSHAN, UN CASO ILLUMINANTE: TRE CORPI DI FABBRICA SEPARATI DA GIUNTI



Sisma di Lushan, 20 Aprile 2013:
magnitudo 7,0, lontano 150 km far, 5
anni dopo l'evento distruttivo di
Wenchuan (Magn. 8,1):

◆ 2 corpi di fabbrica fondati rigidamente al suolo.
Danni: strutture, impianti, muri, controsoffitti.

◆ 1 corpo di fabbrica isolato alla base: nessun danno (neppure cosmetico).
La sola risorsa sanitaria in loco capace di assistere i feriti dal terremoto (250.000)

2 CORPI DI FABBRICA FONDATI RIGIDAMENTE SUL SUOLO



1 UN CORPO DI FABBRICA ISOLATO ALLA BASE



**CHE COSA CI
INSEGNA
L'OSPEDALE
DI LUSHAN?**

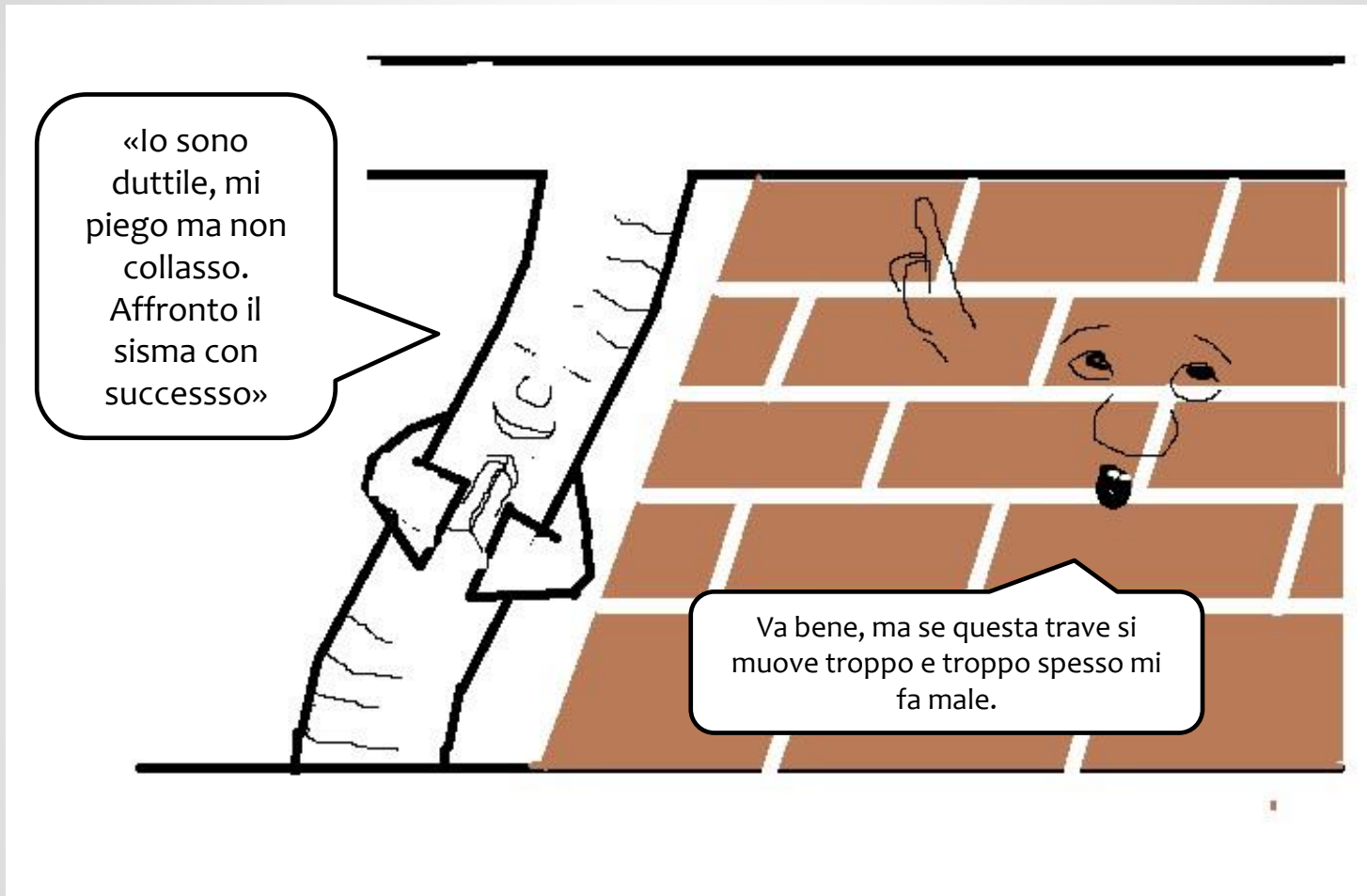
- *Per un ospedale non è importante solo la salvaguardia della vita di chi si trova nell'edificio durante il terremoto, ma anche, e soprattutto, la salvaguardia della vita di chi viene ferito fuori dall'ospedale, nei tanti edifici che collassano o subiscono danni gravi.*
- *Un ospedale che non perde neppure per un minuto la capacità operativa consente quell'assistenza e cura tempestiva che sola può evitare molti lutti.*

**DA
SICUREZZA DELLE
STRUTTURE E DELLE
PERSONE
A
PROTEZIONE DELLA
FUNZIONE,
SOSTENIBILITÀ,
RESILIENZA**

- *In una corretta progettazione antisismica la sicurezza strutturale e la salvaguardia della vita delle persone devono essere comunque garantite.*
- *Il caso dell'ospedale di Lushan aiuta a comprendere che questo è un punto di partenza e non di arrivo.*
- *Se la struttura non collassa e nessuno è gravemente ferito o ucciso ma i danni sovra-strutturali sono gravi ed estesi prendono forma gli scenari seguenti:*
 - *Le attività produttive e commerciali sono interrotte con danni economici talvolta irreversibili.*
 - *Le abitazioni sono dichiarate inagibili e gli abitanti dislocati in alberghi o alloggi provvisori, come case in legno di uso temporaneo, container, ...*
 - *Le riparazioni richiedono tempi lunghi ed impegno finanziario severo, aggravato da procedure d'urgenza scarsamente controllate e ritardi nella erogazione di contributi pubblici.*
- *Tutto ciò crea condizioni di insostenibilità e induce danni indiretti nella salute psichica degli individui, nella tenuta del tessuto sociale, nel senso di identità ed appartenenza della società civile, nella fiducia nel futuro.*

PROGETTO STRUTTURALE E NORME TECNICHE

- *Nella pratica progettuale corrente, nel pieno rispetto delle norme tecniche vigenti, l'analisi può essere lineare o non-lineare.*
- *La struttura viene poi verificata in condizioni ultime e allo stato limite di danno o servizio. Ciascuno dei due tipi di verifica può creare condizioni più restrittive e vincolanti rispetto all'altro. I due tipi di verifica richiedono due sismi di riferimento diversi; più intenso e raro in condizioni ultime, più moderato e frequente per incipiente danno o servizio.*
- *Se non limitata dallo stato limite di danno incipiente o servizio, la verifica in condizioni ultime (SLC o SLV) può ammettere ampie deformazioni plastiche nella struttura portante, fino a valori di 5-6 volte il limite elastico*
- ***Non ne soffriranno i componenti non strutturali?***




«PERFORMANCE» BASED DESIGN (PERFORMANCE= SICUREZZA STRUTTURALE E PROTEZIONE DELLA VITA).

LA STRUTTURA È DUTTILE SE LE SINGOLE MEMBRATURE LO SONO E SE VALE LA GERARCHIA DELLE RESISTENZE. LA STRUTTURA SI OCCUPA POCO DEL BENESSERE DEI COMPONENTI NON STRUTTURALI CHE TROVANO PROTEZIONE NELLA VERIFICA A DANNO INCIPIENTE, MA SOLO PER UN TERREMOTO PIÙ MODERATO.

**PROGETTO
STRUTTURALE
SOSTENIBILE E
RESILIENTE**

- *La risposta della struttura sotto il sisma di riferimento per la verifica in condizioni ultime deve rispettare il diritto dei componenti non-strutturali a sopravvivere con pochi danni, riparabili rapidamente e con costi limitati*
- *La struttura portante non deve essere obbligata a dissipare energia mediante le proprie deformazioni plastiche. La dissipazione deve essere delegata allo smorzamento elastico, se la risposta rimane sostanzialmente lineare, o a dispositivi specificamente progettati per questo scopo*
- *La verifica a danno incipiente deve essere eseguita per lo stesso terremoto che viene adottato per SLV o SLC*



«Io sono
duatile, mi
piego ma non
collasso.
Affronto il
sisma con
successo»

Smetti di comportarti come un arrogante idiota: tieni la schiena dritta e lascia a chi lo sa fare la responsabilità di reggere il terremoto. Noi tutti «non-strutturali» vogliamo danni trascurabili e riparabili presto e con poca spesa!

«RESILIENCE»BASED DESIGN (RESILIENCE= CONTENERE I DANNI E PERMETTERE UN RAPIDO E POCO COSTOSO RECUPERO DI FUNZIONALITÀ : VERSO SOSTENIBILITÀ E PREVENZIONE. (I CRITERI DI SLD SI APPLICANO A SLU)

Le difficoltà della prevenzione sismica

Kofi Annan nel 1999:

Building a culture of prevention is not easy. While the costs of prevention have to be paid in the present, its benefits lie in a distant future. Moreover, the benefits are not tangible; they are the disasters that did NOT happen.

Costruire una cultura della prevenzione non è facile. Pur se il costo della prevenzione deve essere pagato ora, i suoi benefici verranno in un futuro lontano. Inoltre i benefici non sono percepibili; essi sono i disastri che NON sono avvenuti

Prevenzione

Prevenzione significa proteggere costruzioni, infrastrutture, territorio prima che il sisma avvenga. E' praticamente fattibile solo se si costruisce in modo sostenibile e resiliente.

- Proteggere dove il danno sismico non c'è ancora stato costa molto meno che ricostruire o riparare dove il danno è già avvenuto.
- **OBIEZIONE: si, ma proteggere e prevenire prima che il sisma avvenga costa molto perché occorre intervenire su tutto il territorio nazionale.**
- **RISPOSTA :** se si guarda alla storia sismica recente e la frequenza dei terremoti importanti si constata che anche riparare e ricostruire dopo il terremoto di fatto riguarda quasi tutto il territorio nazionale.
- **Quindi prevenire conviene, anche perché si può fare senza urgenza, con criteri di priorità motivati e con procedure più trasparenti e denaro pubblico che non si muove verso strane direzioni.**

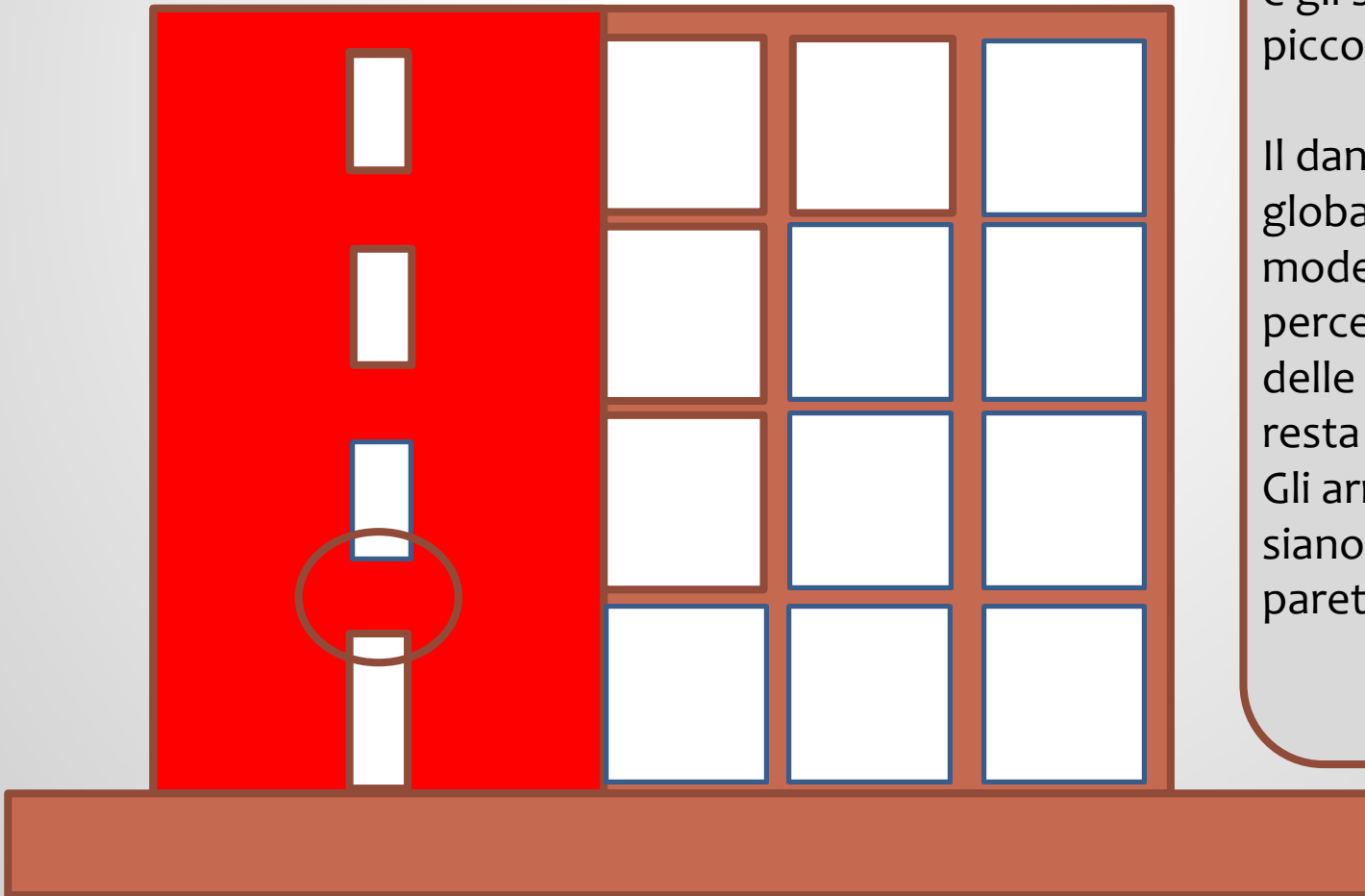
COME, DUNQUE? CHE FARE?

Parola chiave: **ENERGIA**

Il terremoto cerca di trasferire la sua energia dal suolo alla struttura. La struttura può rispondere con tre strategie alternative.

- 1. La maggior parte della energia rimane reversibile, come energia cinetica o potenziale elastica, e la risposta strutturale resta elastica o quasi. (Sismi moderati, muri di taglio, dissipatori a massa intonata). La dissipazione è delegata al “damping” lineare o a dispositivi tecnologici aggiunti*
- 2. La maggior parte della energia è filtrata via e rimane imprigionata nel suolo (isolamento sismico alla base). Soluzione applicabile anche alle strutture esistenti, purchè sia consentito uno spostamento relativo tra struttura e suolo di qualche decina di centimetri*
- 3. La maggior parte dell'energia è dissipata; E' importante che la dissipazione sia riservata a componenti con elevata isteresi o viscosità, progettati in modo che la struttura portante rimanga sotto o poco sopra il limite elastico, anche in prossimità dello SLU.*

- **Muri di taglio: elastici lineari o capaci di dissipare tramite sotto-componenti non portanti**

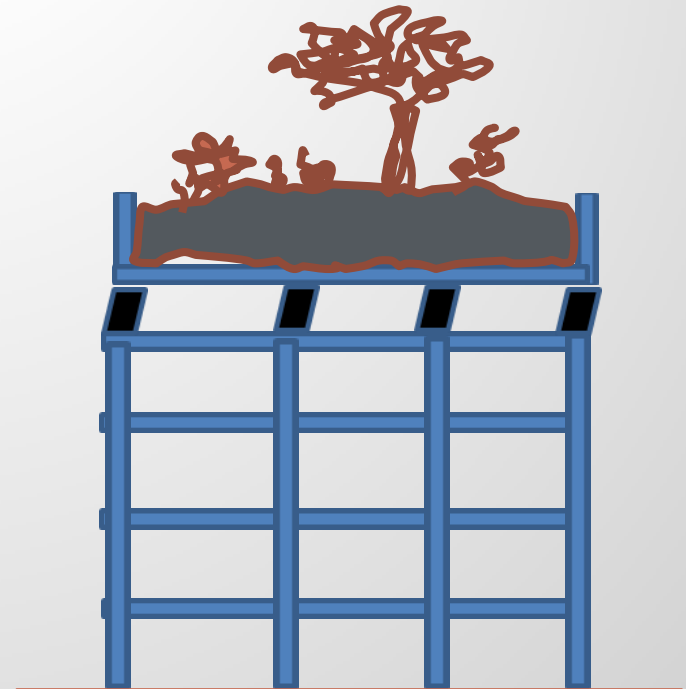
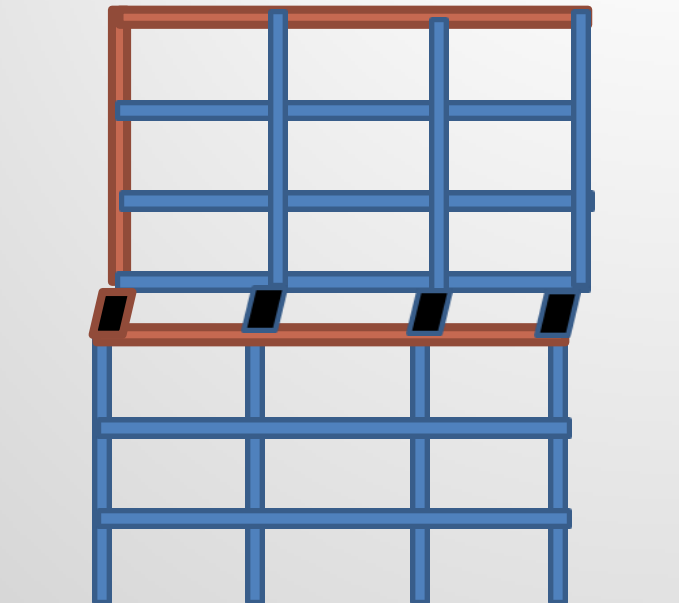
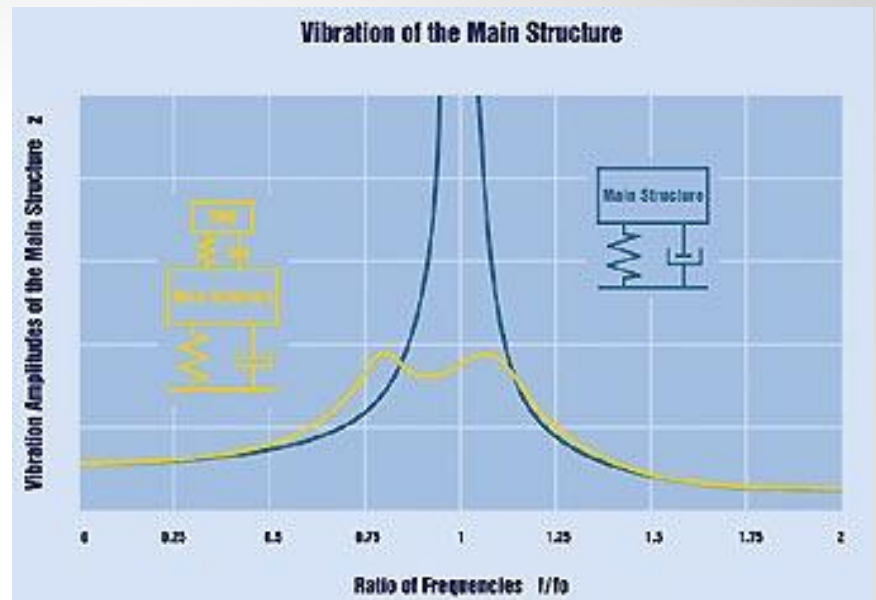


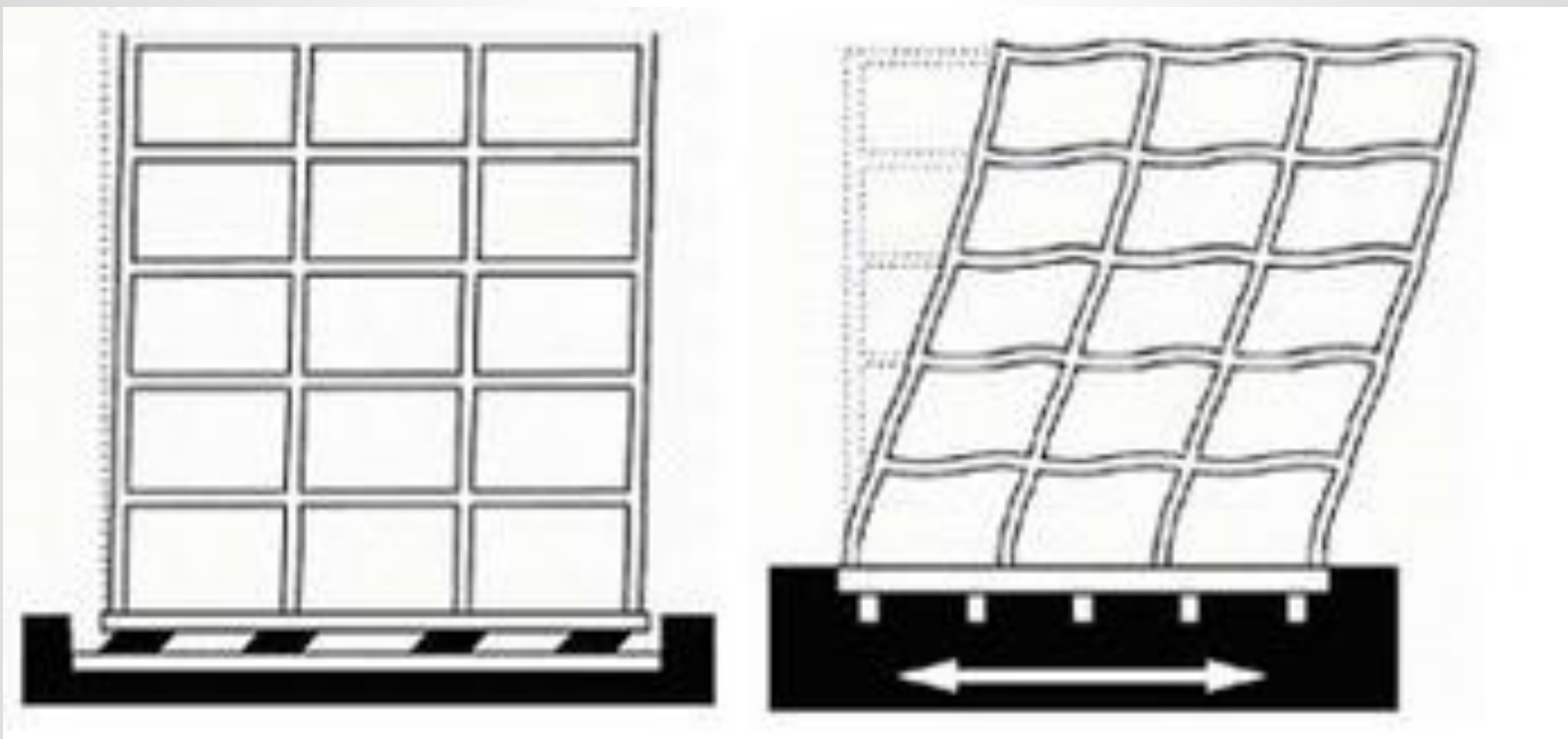
Il telaio è molto meno rigido del muro.

Nelle colonne il taglio e gli spostamenti sono piccoli.

Il danno atteso globale è piccolo o moderato ma la percezione ai piani delle accelerazioni resta molto elevata. Gli arredi è bene che siano vincolati alle pareti.

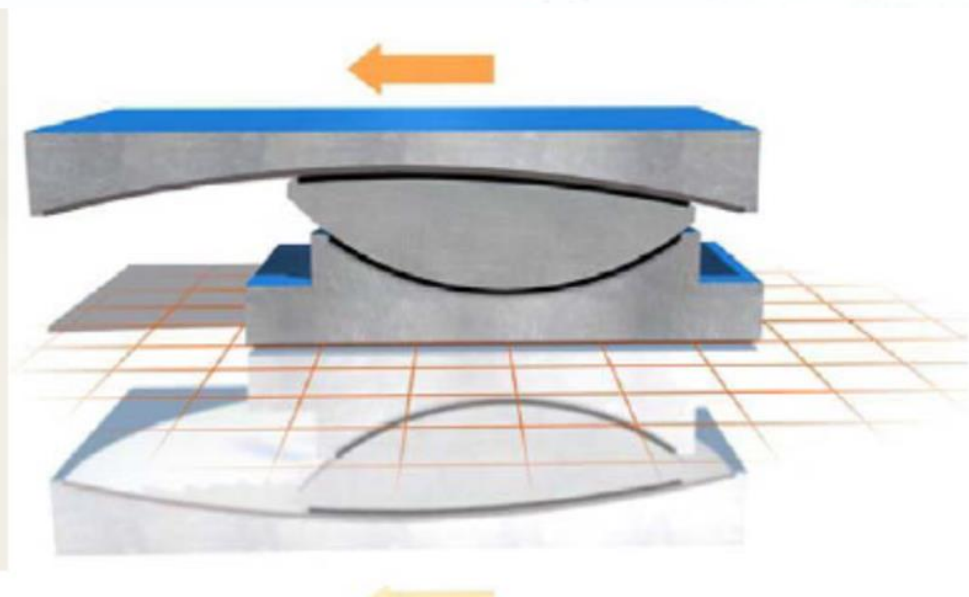
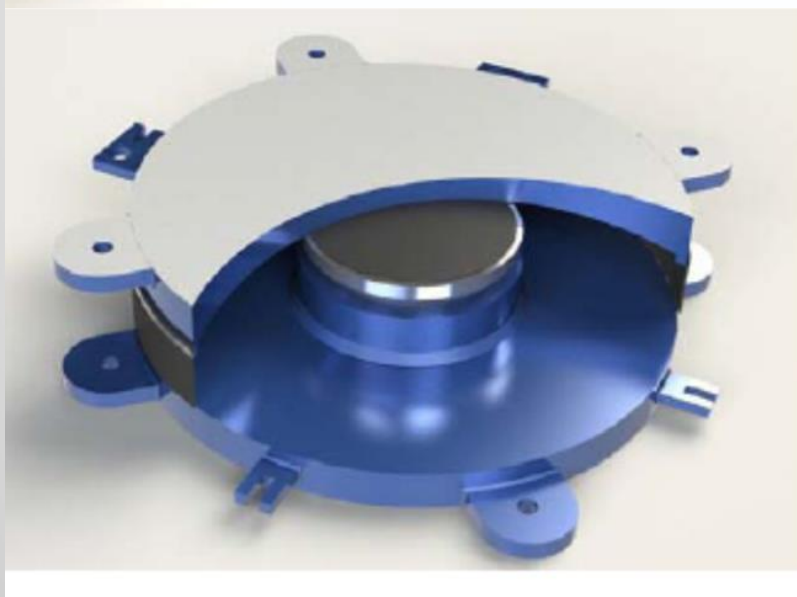
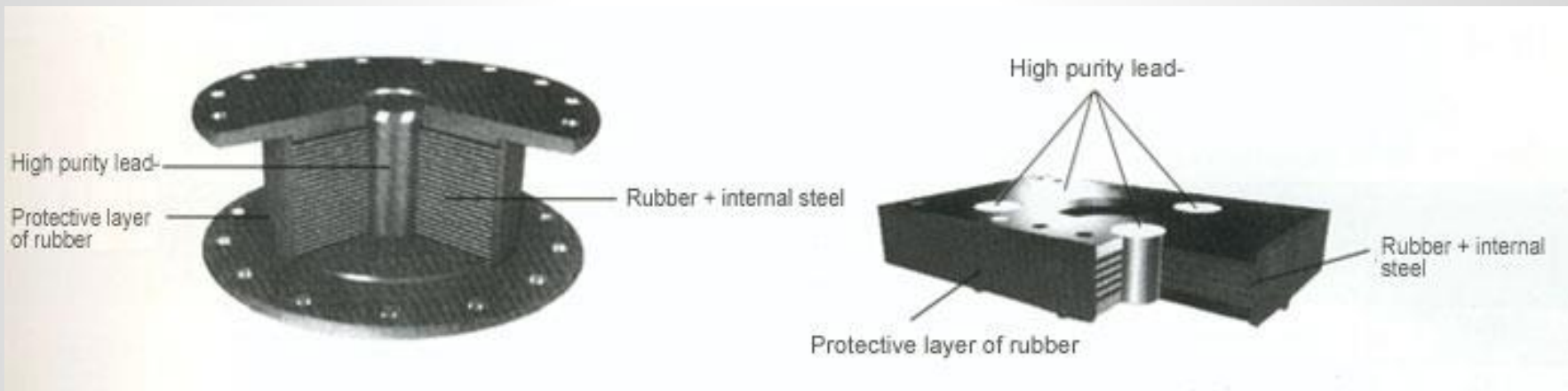
**TUNED MASS
DAMPER (TMD)
LINEARE O
MODERATAMENTE
DISSIPATIVO**





**ISOLAMENTO SISMICO ALLA BASE.
SI PUÒ APPLICARE A COSTRUZIONI ESISTENTI E NUOVE**

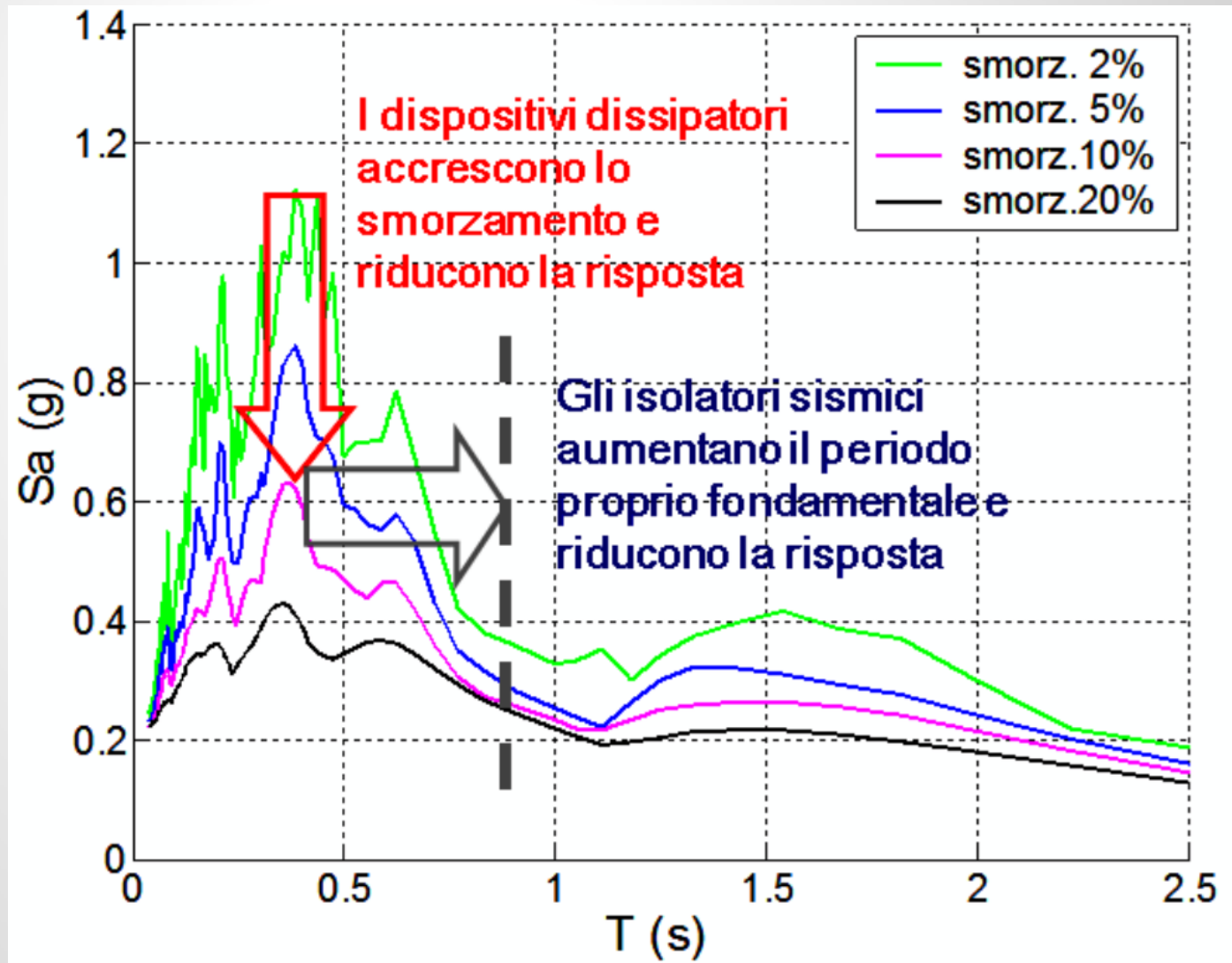
I PIÙ COMUNI DISPOSITIVI PER ISOLAMENTO ALLA BASE: LEAD-RUBBER BEARINGS (LUSHAN HOSPITAL) E CURVED SURFACE SLIDERS



**DISPOSITIVI
DISSIPATORI**

- *Viscosi*
- *Visco-elastici*
- *Attritivi*
- *Plastici*
- *Shock transmitters*

ISOLATORI O DISSIPATORI?



B.R.A.D.

**BUKLING
RESTREINED
AXIAL
DAMPERS**

**ELEVATA DISSIPAZIONE
POCA MANUTENZIONE**

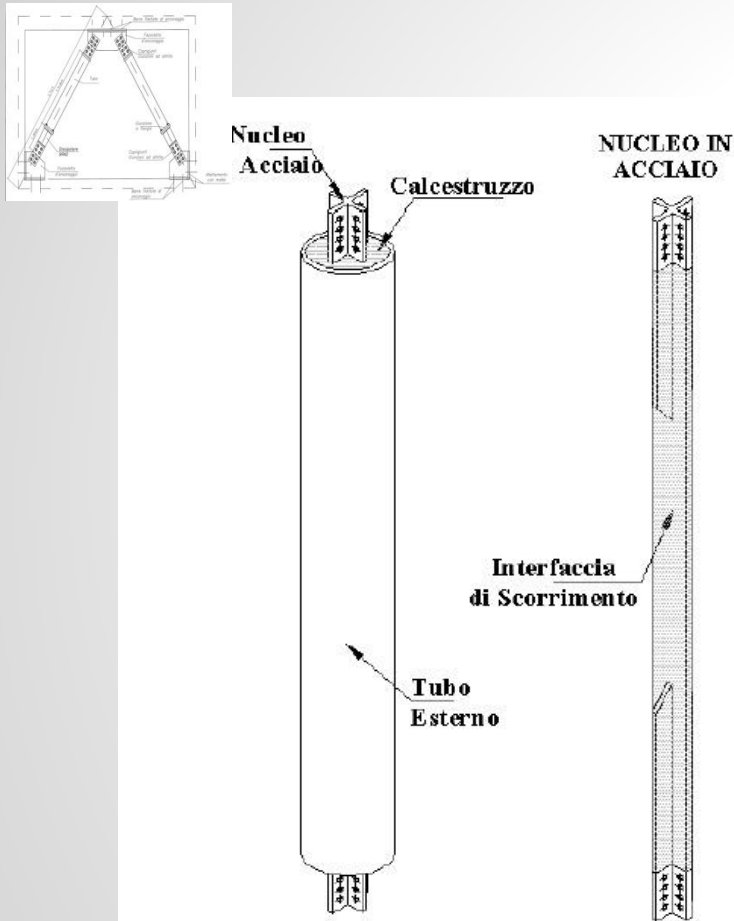


Figura A

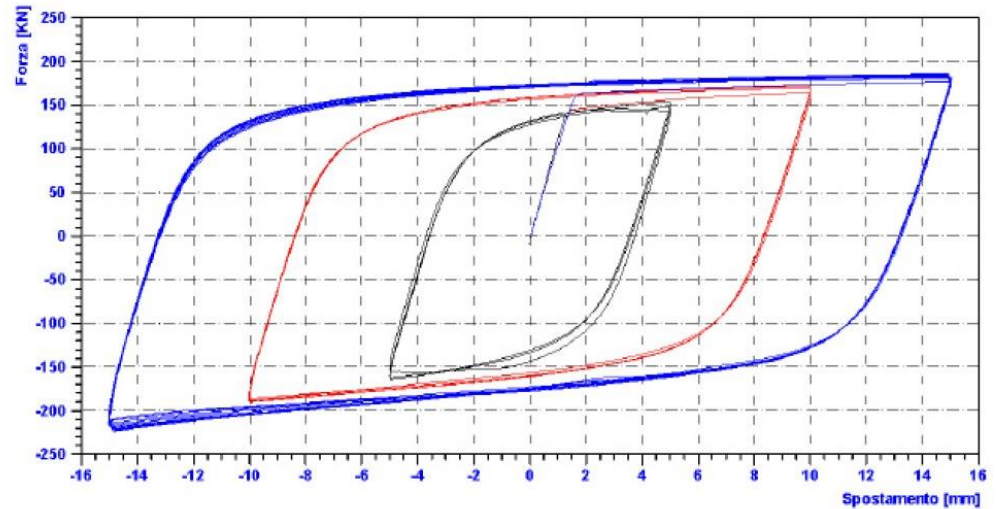
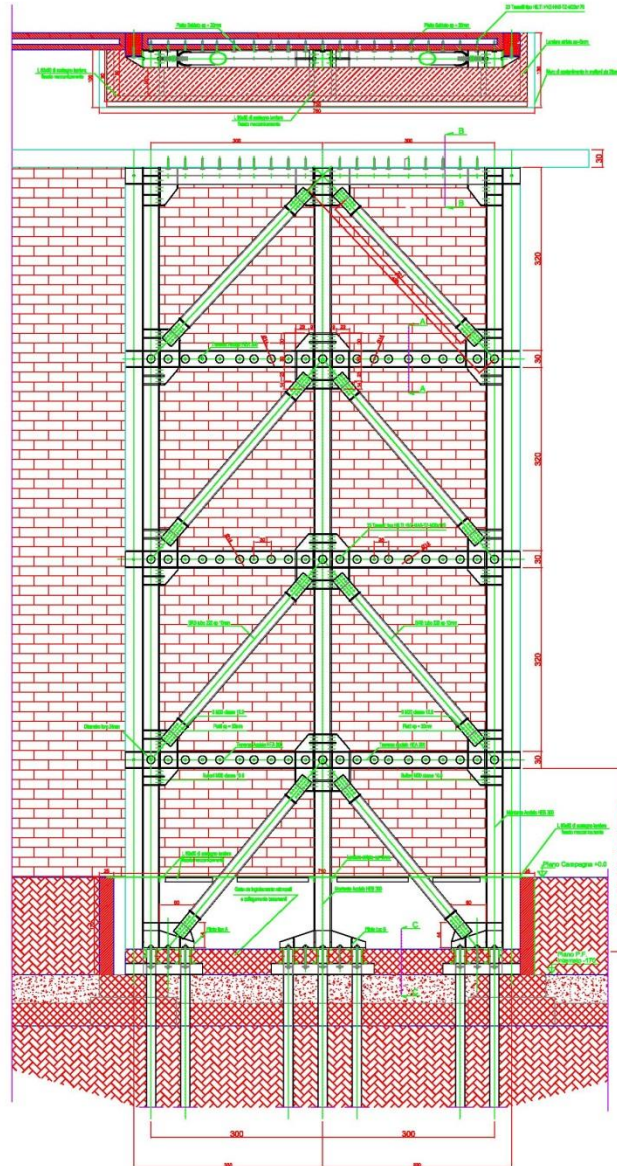
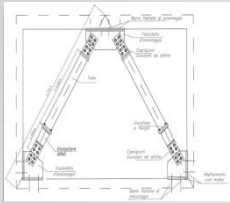


Figura D



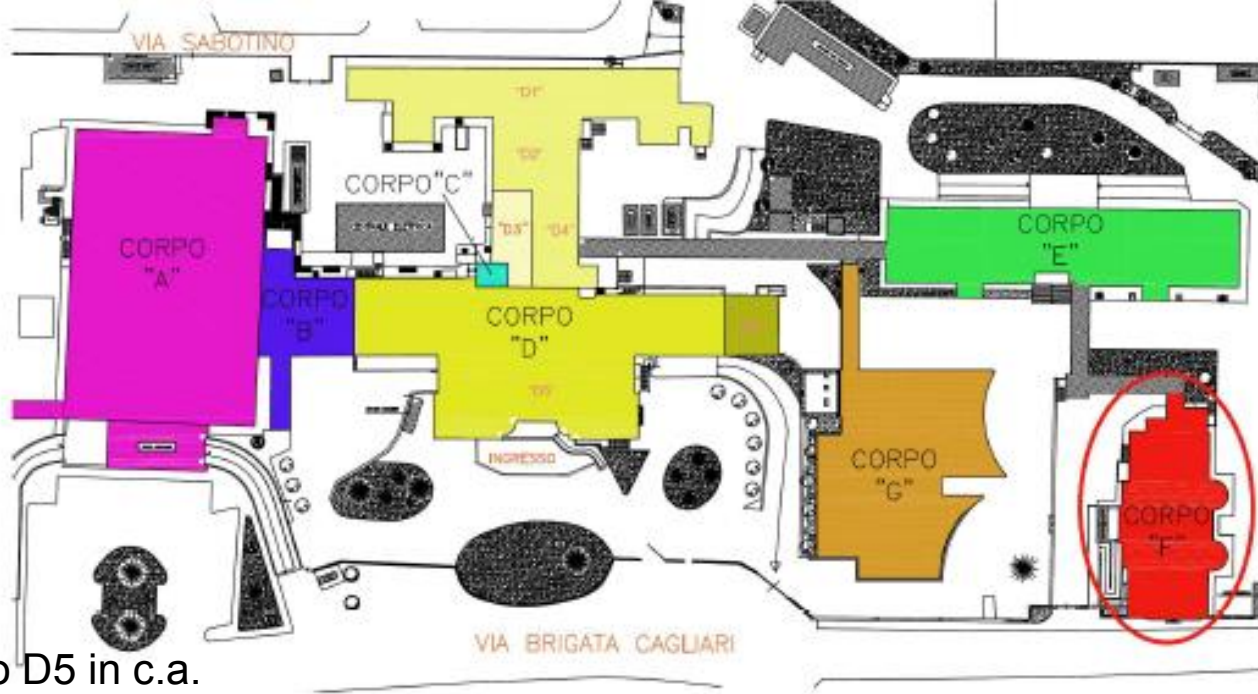
TELAIO METALLICO CON BRAD (APPLICAZIONE REALE)



**PRESIDIO
OSPEDALIERO
«EDOARDO
AGNELLI»
PINEROLO
(TO)**



PLANIMETRIA E CORPI DI FABBRICA



1936: Costruzione dell'edificio D5 in c.a.

anni '30: Realizzazione corpo F

1964: Realizzazione del corpo D2 e corridoio di collegamento

1967: Sopraelevazione 4° e 5° piano corpo D5.

1970: Realizzazione corpo E

1978: Sopraelevazione Corpo D1 e D2 (4° e 5° piano)

Sopraelevazione corpo D5 (bagni)

Aggiunta corpi ascensori e servizi igienici (Corpi D3 e D4)

1981: Realizzazione soletta di copertura monta lettighe

1987: Chiusura della cupola corpo D5

1992: Scavi per la realizzazione fabbricato B e demolizione basso fabbricato lato sinistro.

Danneggiamento parziale, sospensione lavori e incarico di verifica statica Corpo D

1994-95: Verifica statica Ing. Bruera.

>1995: Realizzazione nuovi corpi A, B, C e G con criteri antisismici.

VOLUMI DEI FABBRICATI

analisi sismica

<i>PIANO</i>	<i>CORPO A</i>	<i>CORPO B</i>	<i>CORPO C</i>	<i>CORPO D</i>	<i>CORPO E</i>	<i>CORPO F</i>	<i>CORPO G</i>
<i>Seminterrato</i>	6.500 mc	1.150 mc	220 mc	7.530 mc	2.900 mc	1.800 mc	4.950 mc
<i>Rialzato</i>	6.500 mc	1.150 mc	220 mc	7.530 mc	2.900 mc	1.800 mc	3.600 mc
<i>Primo</i>	5.700 mc	1.150 mc	220 mc	5.630 mc	2.900 mc	-	3.300 mc
<i>Secondo</i>	-	1.040 mc	220 mc	5.990 mc	2.900 mc	-	3.300 mc
<i>Terzo</i>	-	1.040 mc	220 mc	5.990 mc	-	-	-
<i>Quarto</i>	-	1.040 mc	220 mc	5.990 mc	-	-	-
<i>Quinto</i>	-	1.220 mc	220 mc	5.990 mc	-	-	-
<i>TOTALE</i>	18.700 mc	9.010 mc	1.140 mc	44.650 mc	11.600 mc	3.600 mc	15.150 mc

In muratura

**I PIANI
SEMINTERRATI E
INTERRATI
CONSENTONO
L'ISOLAMENTO
CON MODESTE
INTERRUZIONI DI
FUNZIONALITÀ
GENERALE.**

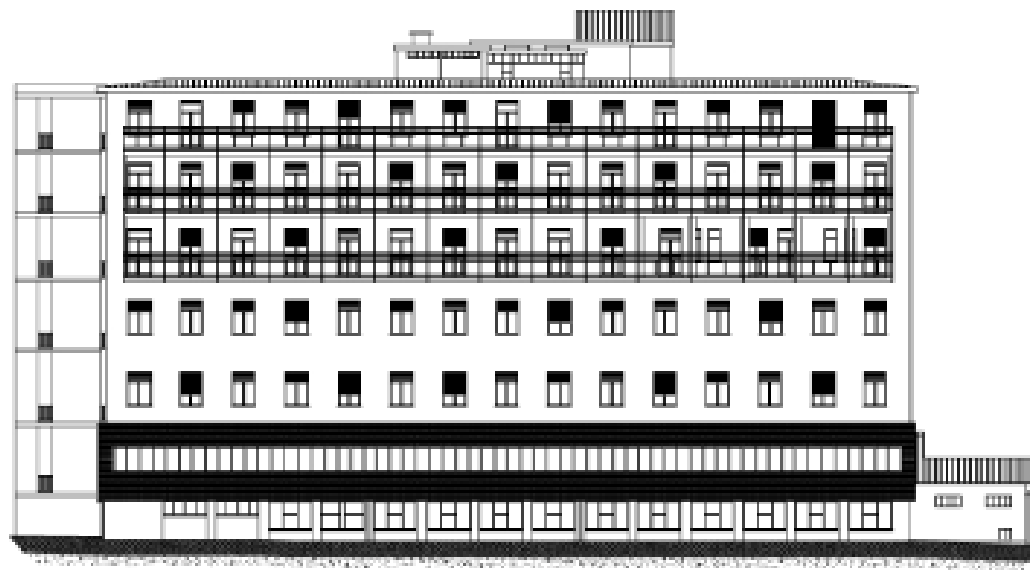


Figura 14: prospetto principale edificio D1



Figura 15: prospetto laterale corpo D

• MODALITÀ DI REALIZZAZIONE

ESECUZIONE DELLA NUOVA PLATEA ARMATA E DEL RIVESTIMENTO DEL PILASTRO CON CERCHIATURA

PUNTELLAMENTO FORZANTE ATTIVO INTORNO AL PILASTRO

INSERIMENTO NEL PILASTRO DI MARTINETTO PIATTO

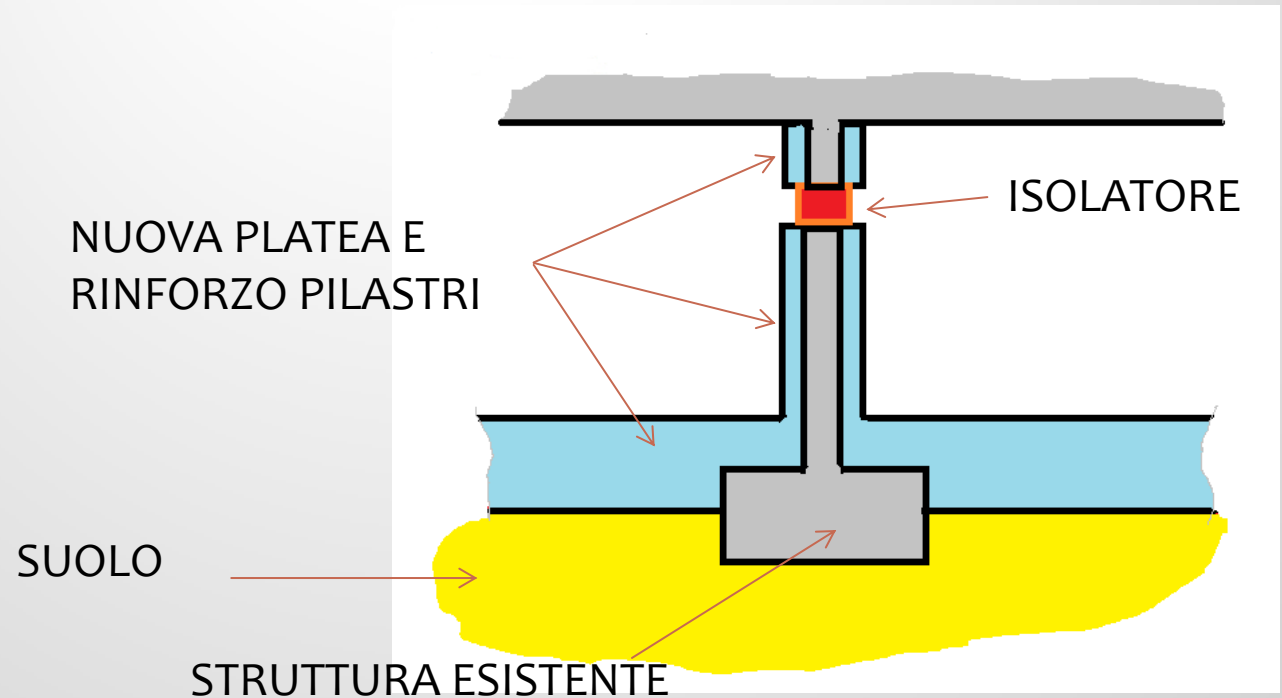
ATTIVAZIONE DEL FORZAMENTO FINO AD ANNULLARE LA PRESSIONE SUL PILASTRO

TAGLIO DEL PILASTRO E FISSAGGIO SUI DUE MONCONI DELLE PIASTRE SOLIDARIZZATE CON LA DIMA DELL'ISOLATORE

RIEMPIMENTO DEGLI SPAZI VUOTI CON MALTA ANTIRITIRO AD ALTA RESISTENZA

RILASCIO DEL FORZAMENTO

GLI ISOLATORI SOSTITUIRANNO LE DIME APPENA COMPLETATA L'INSTALLAZIONE DELLE STESSE IN TUTTA LA STRUTTURA



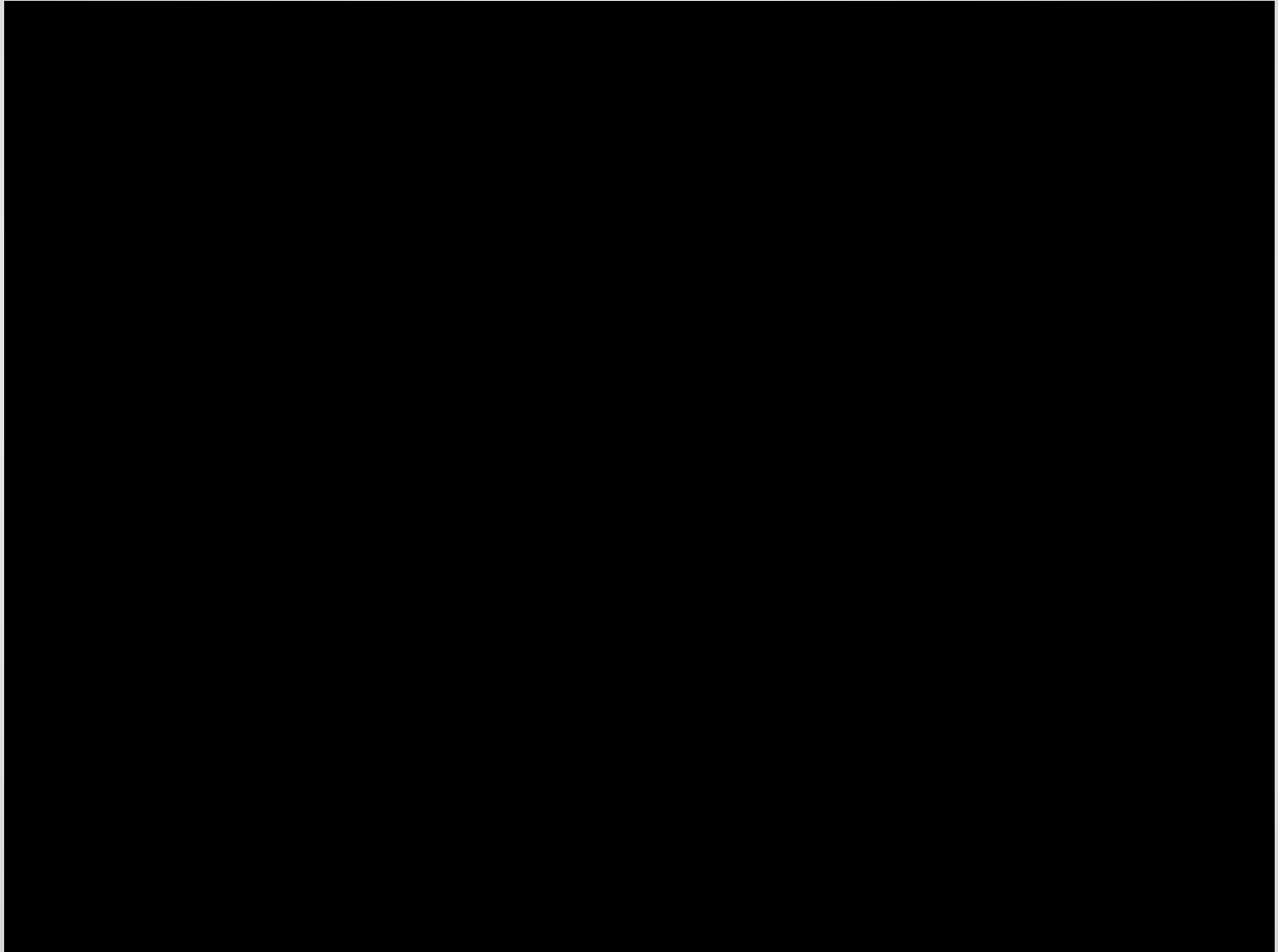
**CONFRONTO
ECONOMICO TRA
EDIFICI CON E
SENZA
ISOLAMENTO
SISMICO**

costo aggiuntivo del sistema di isolamento
(comprensivo degli isolatori veri e propri, della realizzazione delle opere strutturali aggiuntive e del giunto sismico intorno all'edificio per consentirne gli spostamenti orizzontali). Stime preliminari comprese tra : 3-6 milioni di Euro

costi socio-economici connessi all'esecuzione dell'intervento

- *Nessuna significativa interruzione delle attività ai piani superiori.*
- *Eliminazione quasi totale della delocalizzazione dei degenti*
- *Quasi nessuna necessità di interventi di rinforzo locale con conseguente parziale demolizione e rifacimento di sovrastrutture, finiture e impianti salvo che al piano interrato*

Infine isolamento per costruzioni non toccabili (beni monumentali vincolati)



**Grazie per l'attenzione
e la pazienza**