



Università degli Studi di Napoli “Federico II”  
*Facoltà di Ingegneria*

# ***EDIFICI SISMICAMENTE PROTETTI:***

***TECNICHE DI ISOLAMENTO ALLA BASE, DISSIPAZIONE DI ENERGIA:***

***Appunti dalle lezioni***

*Prof. Antonello De Luca*

# **L'isolamento alla base: 3 ore in compagnia:**

**Strutture tradizionali: comportamento sismico**

**Isolamento alla base: principi di funzionamento**

**Isolamento sismico: comportamento reale ed applicazioni**

**Isolamento sismico: esempi e problemi costruttivi**

**L'Ordinanza: lettura ed esame critico**

**Calcolo di un edificio a base fissa ed isolato**

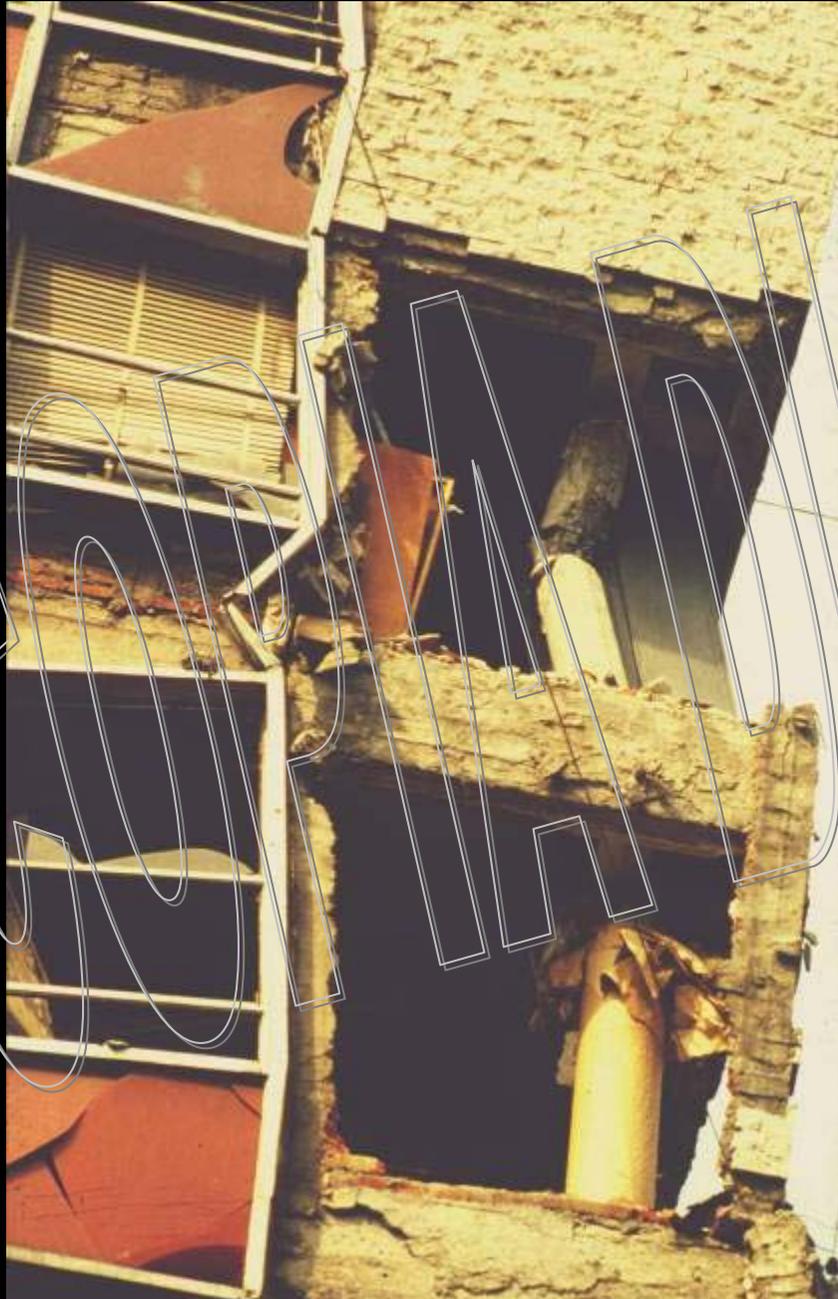
## Comportamento delle strutture in muratura



## Comportamento delle strutture intelaiate



## Comportamento delle strutture intelaiate

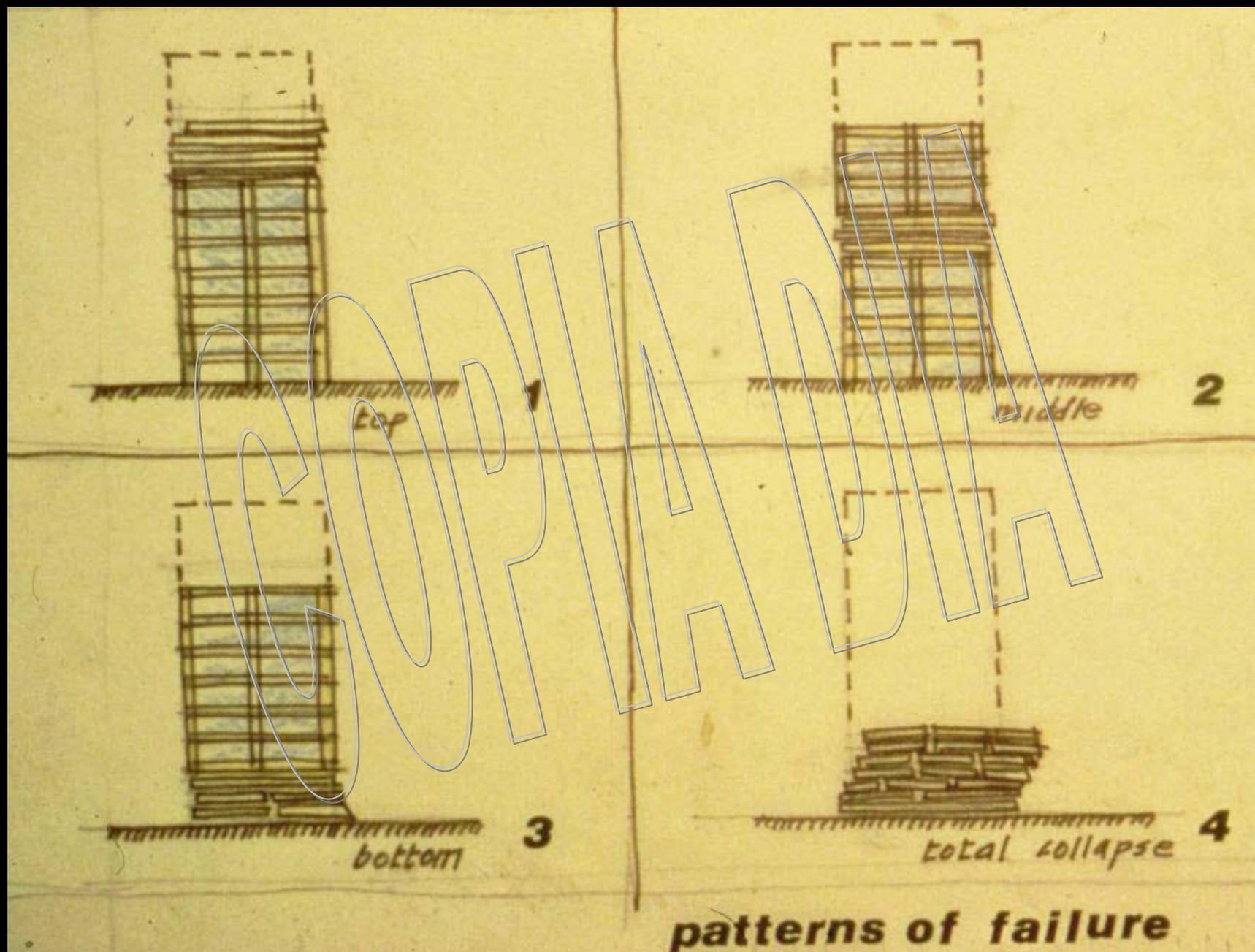


STRUTTURA

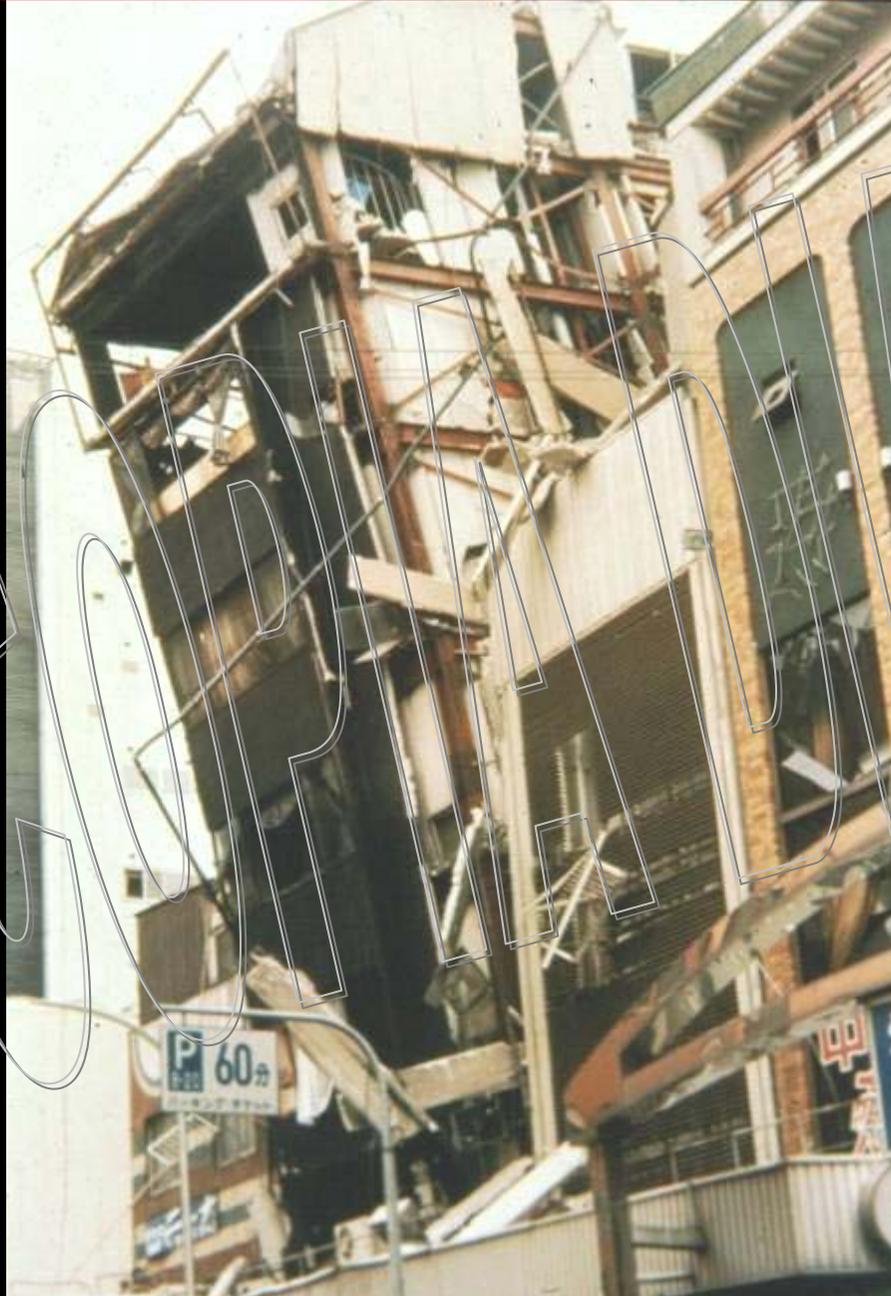
## Comportamento delle strutture intelaiate



## Comportamento delle strutture intelaiate



**Comportamento delle strutture intelaiate: eppur ce la fa'  
Ma che duttilita'**

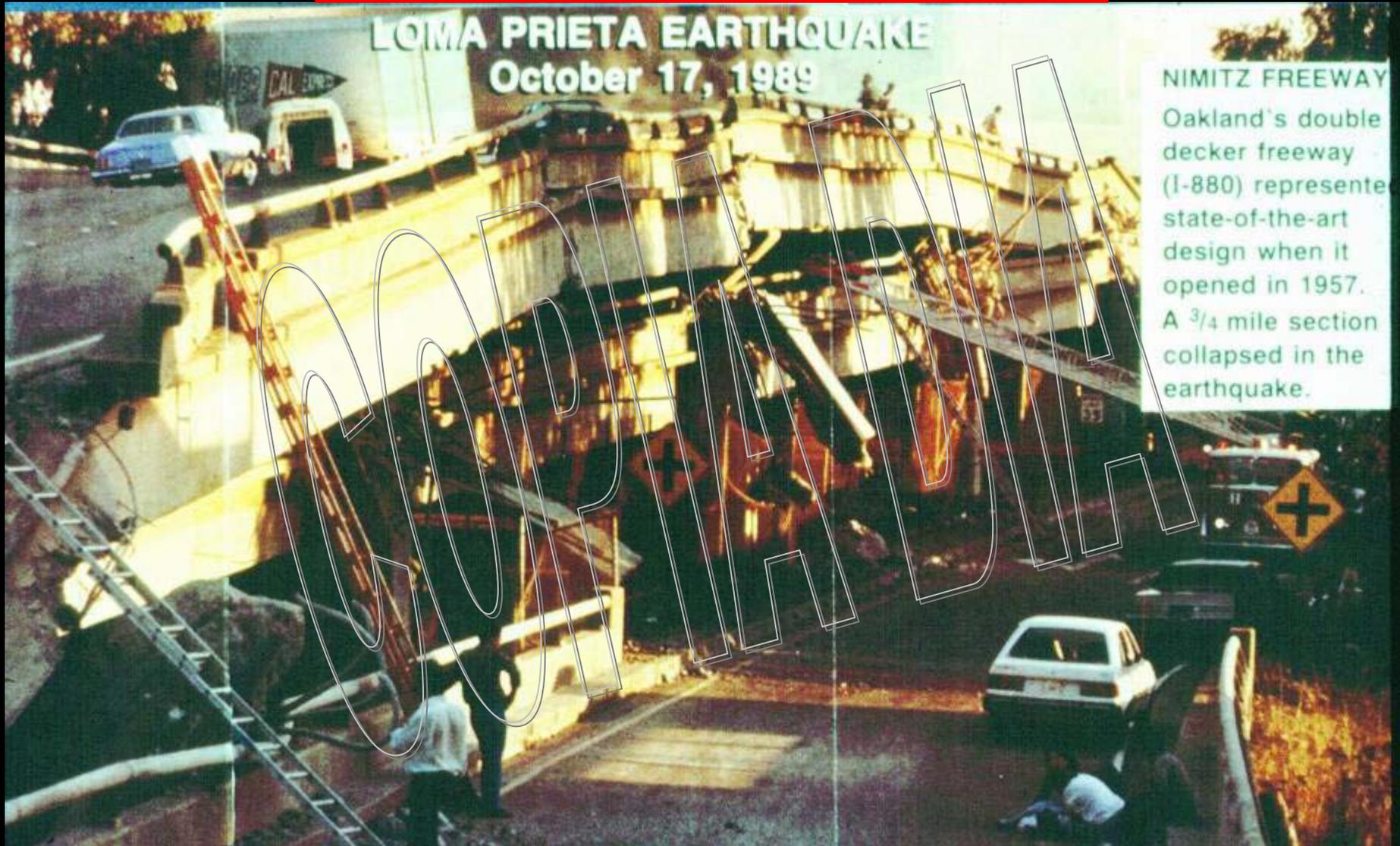


CONFINA

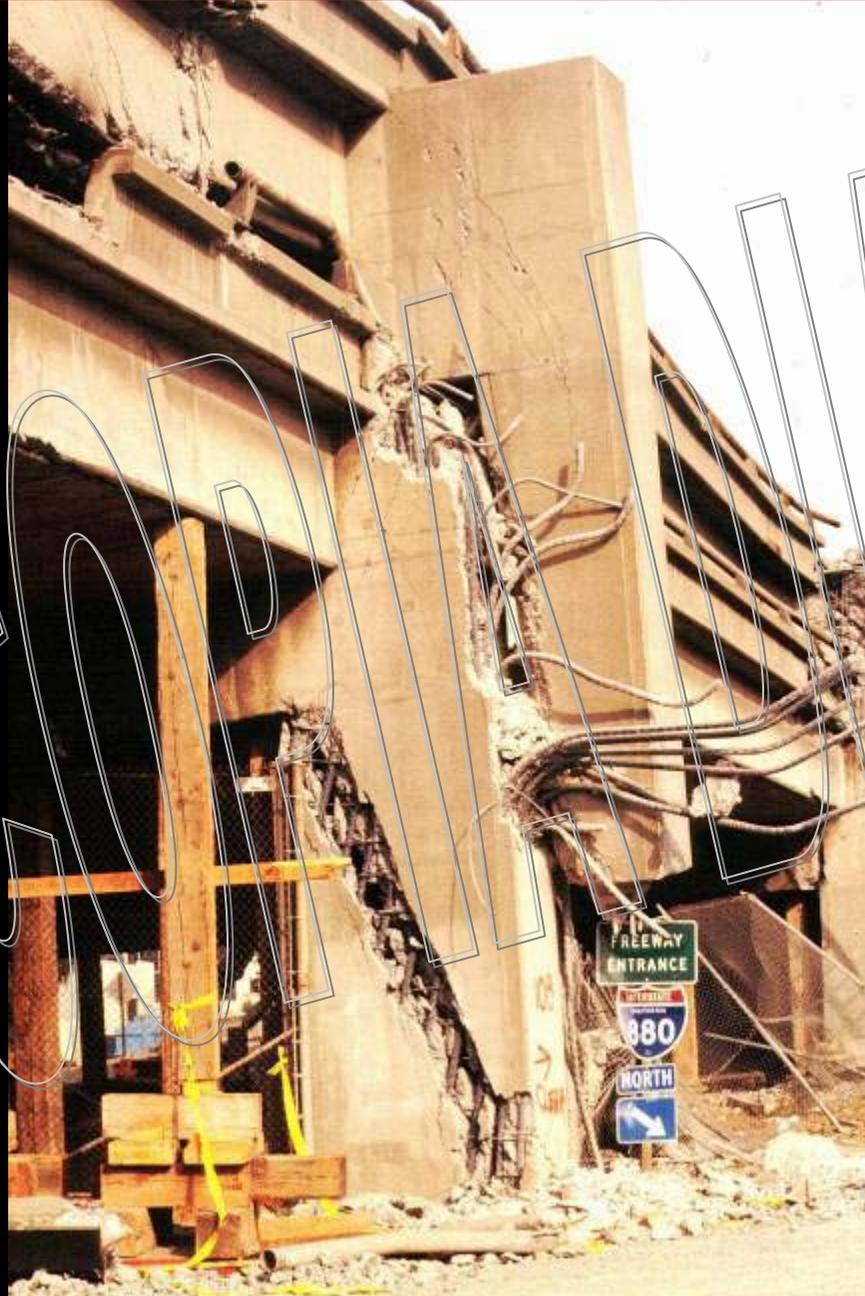
**Comportamento delle strutture intelaiate:  
Senza duttilita' !**



**Comportamento delle strutture intelaiate:  
Con duttilita' ?**



## Comportamento delle strutture intelaiate: Con duttilita' ?



CONCRETA

## Comportamento delle strutture intelaiate



# ***Northridge ethq***

**4.30 a.m. Jan 17th, '94**

- ***Magnitude***      ***MM = 6.7***  
                              ***Rich = 7.1***
- ***Ground motion***      ***dur. = 10 sec***  
                                      ***PGA = 0.6 g N-S, E-W, U-D***



# ***Northridge eq***

## **Damage:**

- ***deaths*** 68
- ***economic loss*** 20 bil. US\$
- ***bridges collapsed*** 10 (r.c.)
- ***buildings collapsed*** 40 (r.c. + timber)

**Comportamento delle strutture intelaiate:  
con duttilita' ?**



CONCRETA

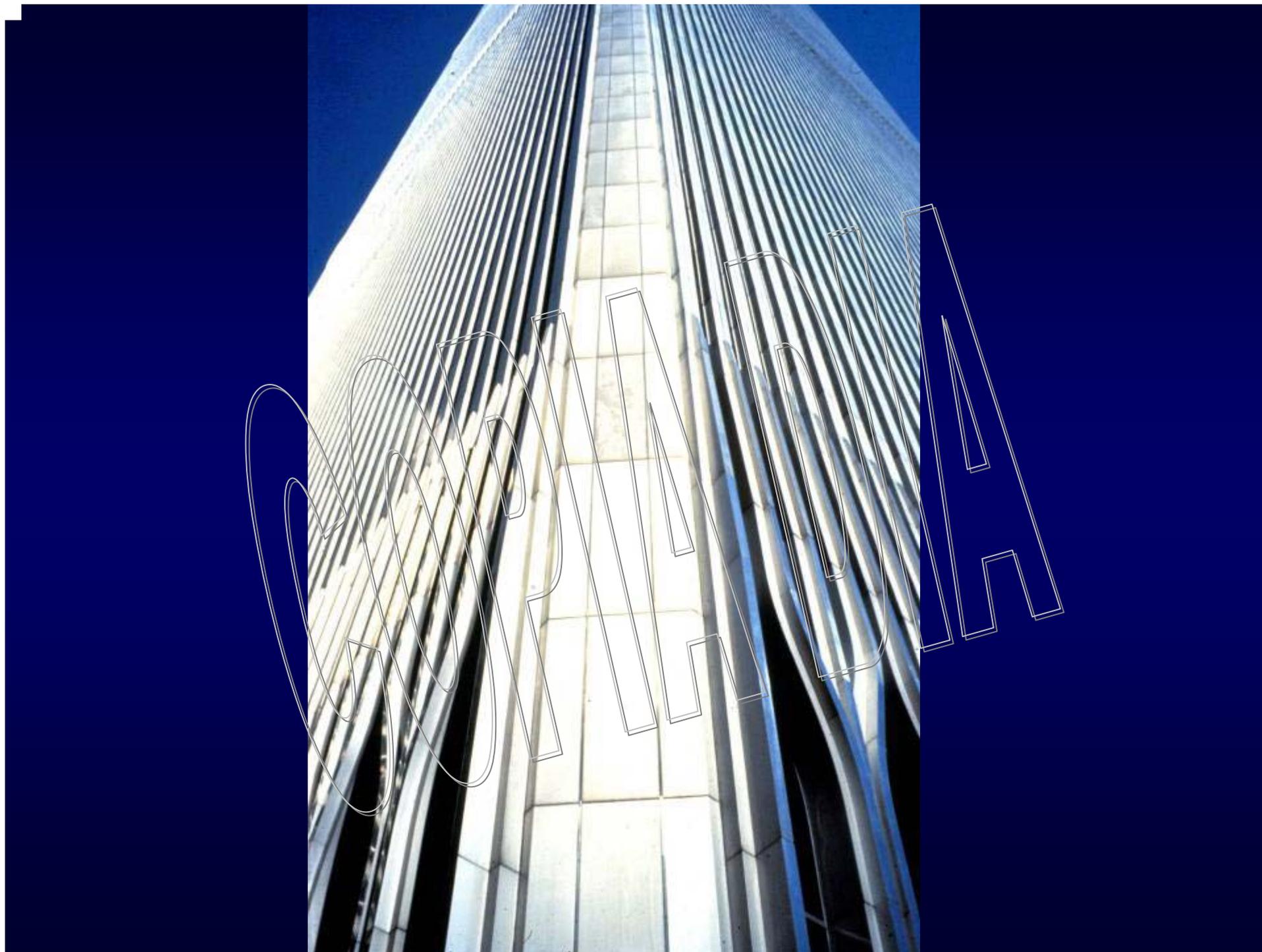


GRANDMA





ESSENCE



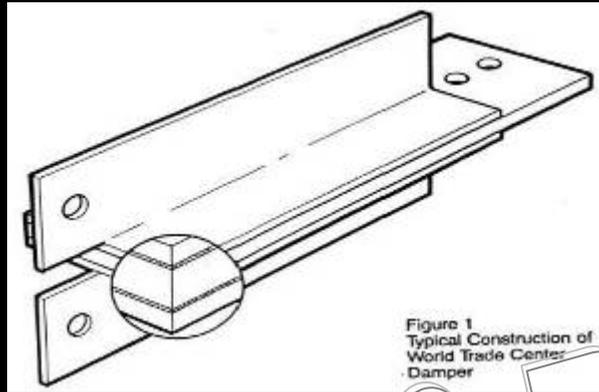
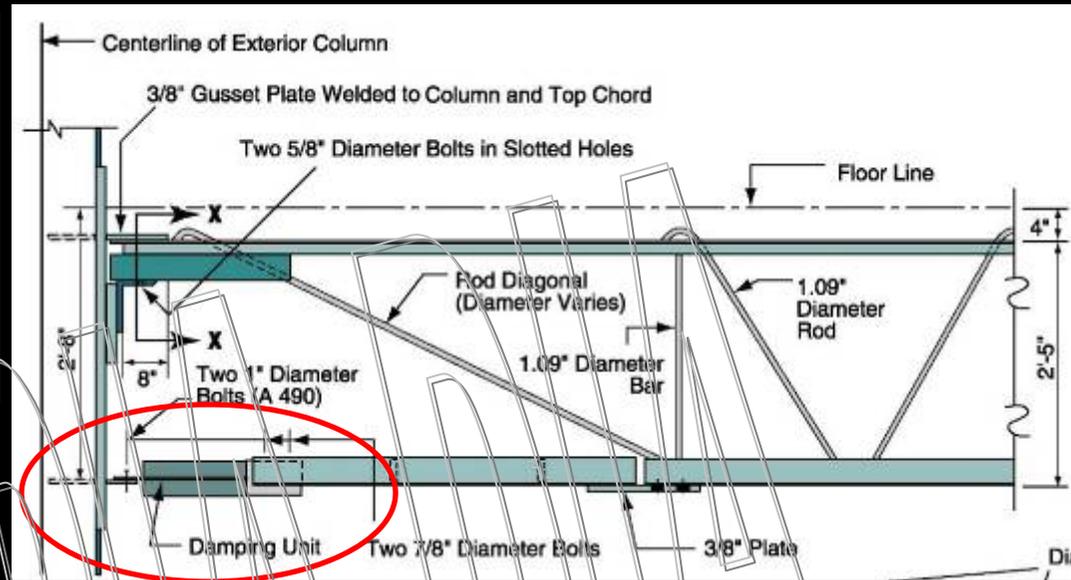
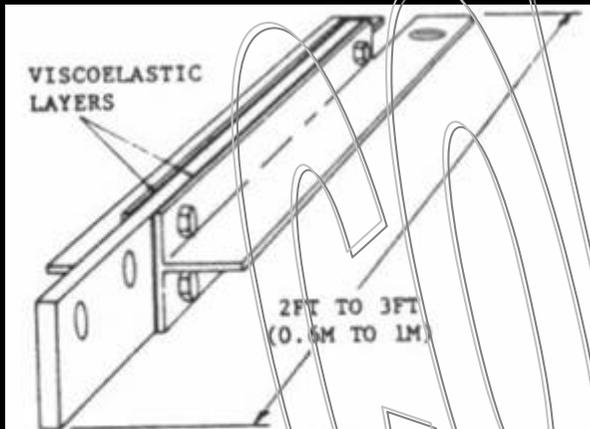
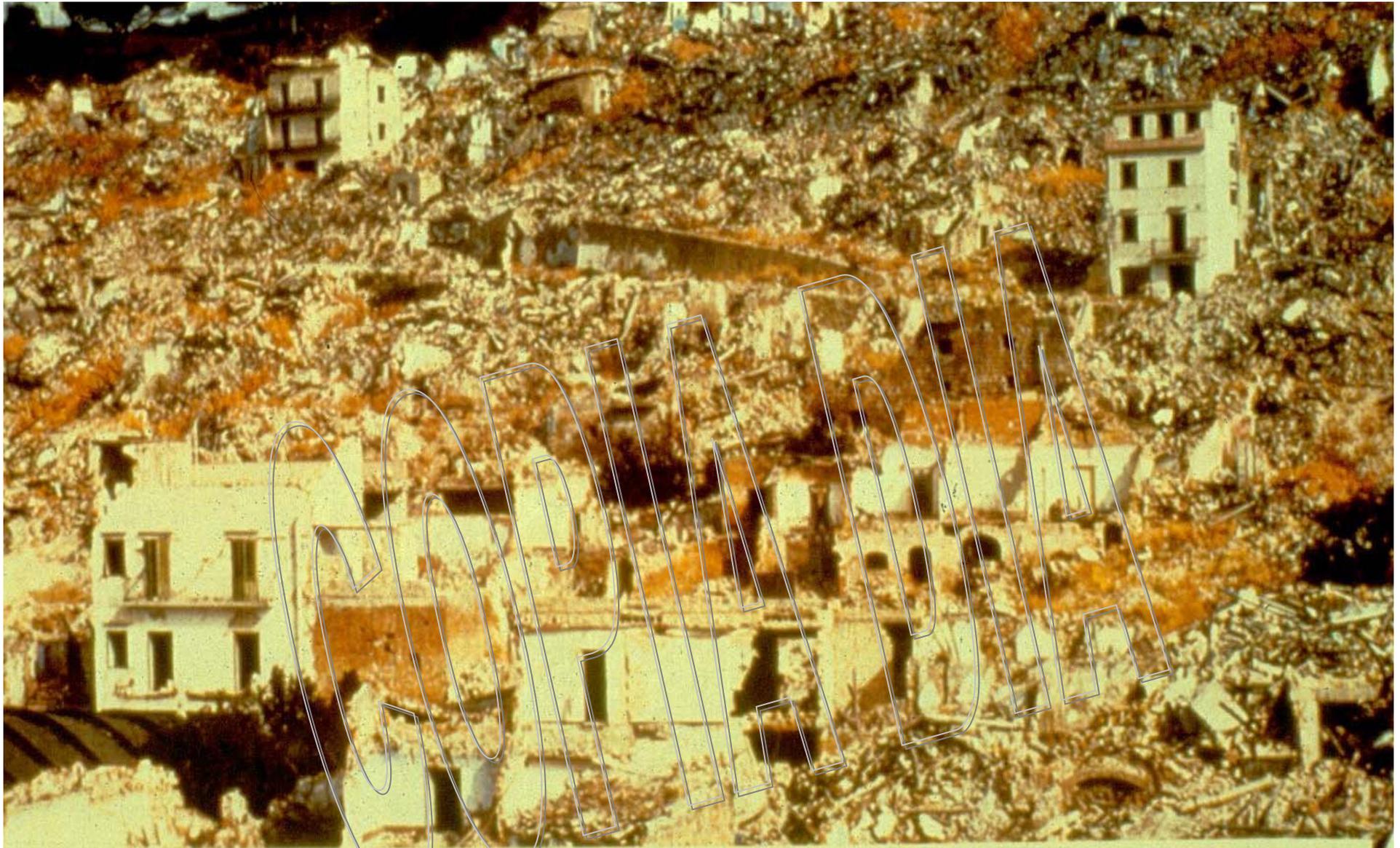


Figure 1  
Typical Construction of  
World Trade Center  
Damper



**Smorzatori: 10.000 in tutto  
l'edificio**

L'inserimento degli smorzatori (utilizzati per la prima volta) ha consentito di ridurre lo spostamento da vento da circa 200 cm a circa 100 cm. L'edificio ancora nel 2000 era l'edificio alto con minori vibrazioni da vento in New York (accelerazione al piano pari a 0.5 % g contro valori che arrivano anche a 2 % g).



**DAMAGE AT GIBELLINA SICILY IN  
1968 EARTHQUAKE**





## DOMANDA

Per evitare danni e' sufficiente costruire secondo le indicazioni normative e lo stato dell'arte ?

Dobbiamo comunque accettare danni progettando secondo il concetto della duttilita' ?

E per evitare scenari di distruzione completa a seguito del terremoto ?

## RISPOSTA

Le nuove norme sono adeguate per evitare scenari distruttivi,

**MA**

**“o' can' muozzic' o' stracciato”**

L'avanzamento delle conoscenze e le conseguenti evoluzioni delle normative hanno dimostrato, sul campo, di produrre una riduzione dei danni alle strutture.



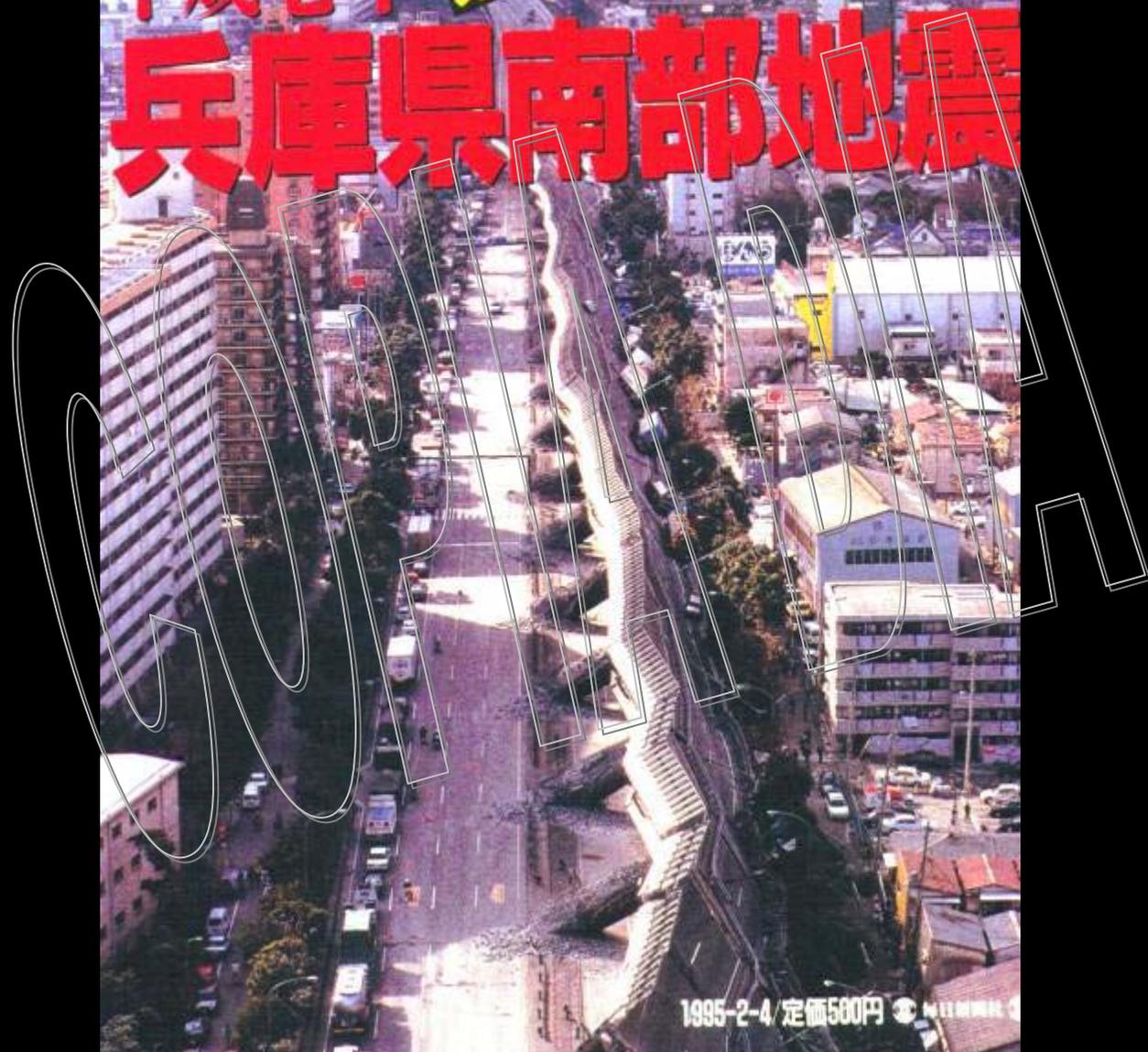




サンデー毎日 臨時増刊

平成七年 第1弾

# 兵庫県南部地震



1995-2-4 / 定価500円

# ***Yogoken-Nanbu ethq***

## ***Damage:***

- ***deaths*** **5500**
- ***economic loss*** **200 bil. US\$**
- ***buildings collapsed*** **100.000**

***Yogoken-Nanbu ethq***

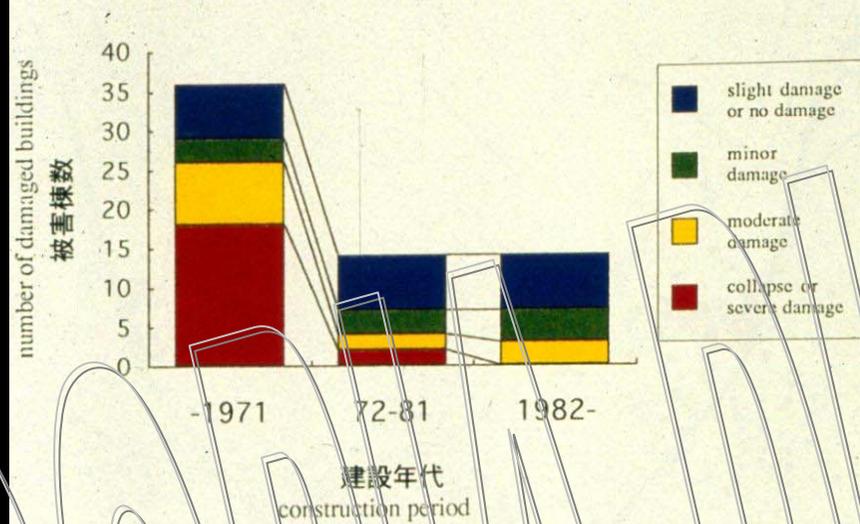
***Damage  
to Engineered Buildings***

# ***Yogoken-Nanbu ethq***

	<b>severely damaged</b>	<b>damaged</b>	<b>slightly damaged</b>	<b>total</b>
<b>RC+SRC</b>	403	253	1425	2081
<b>S</b>	286	262	777	1325
<b>total</b>	689	515	2202	3406

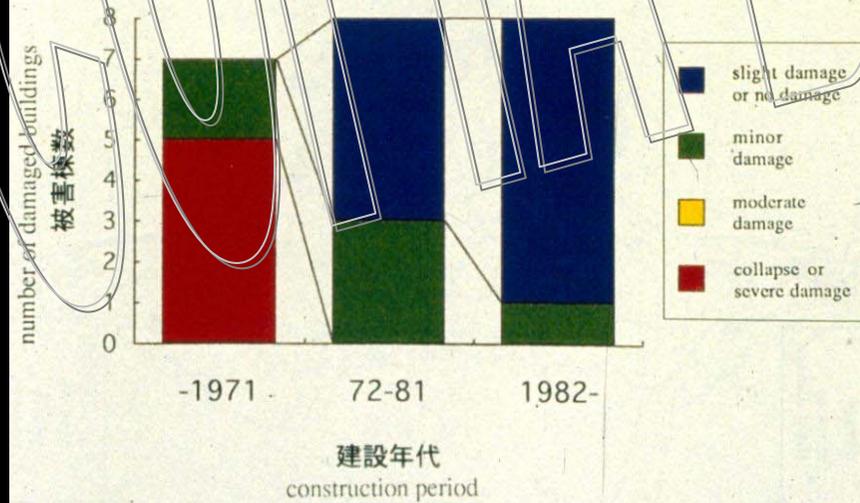
reinforced concrete structures

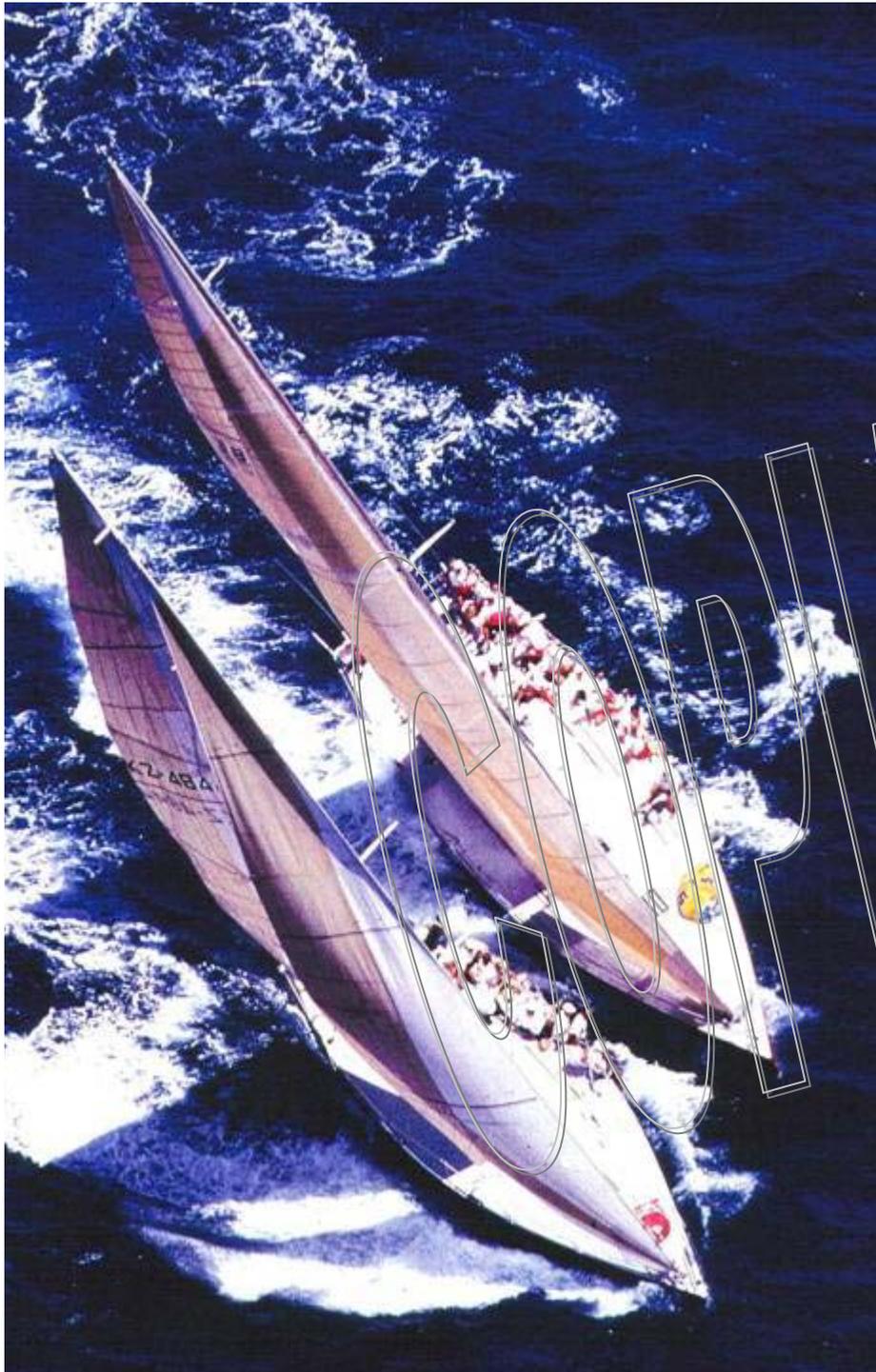
### コンクリート系建物の建設年代別被害棟数



steel structures

### 鉄骨造建物の建設年代別被害棟数

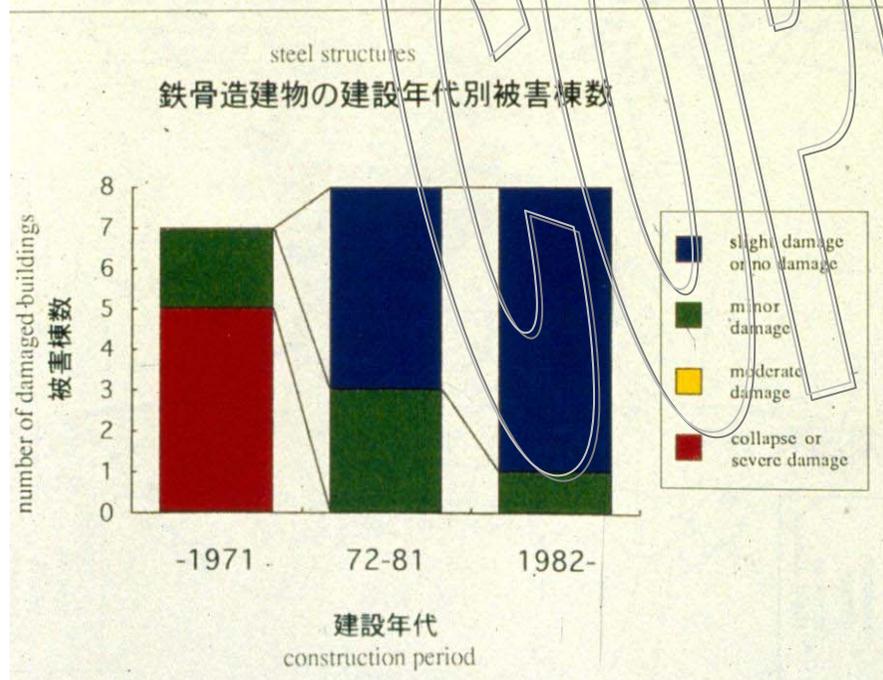
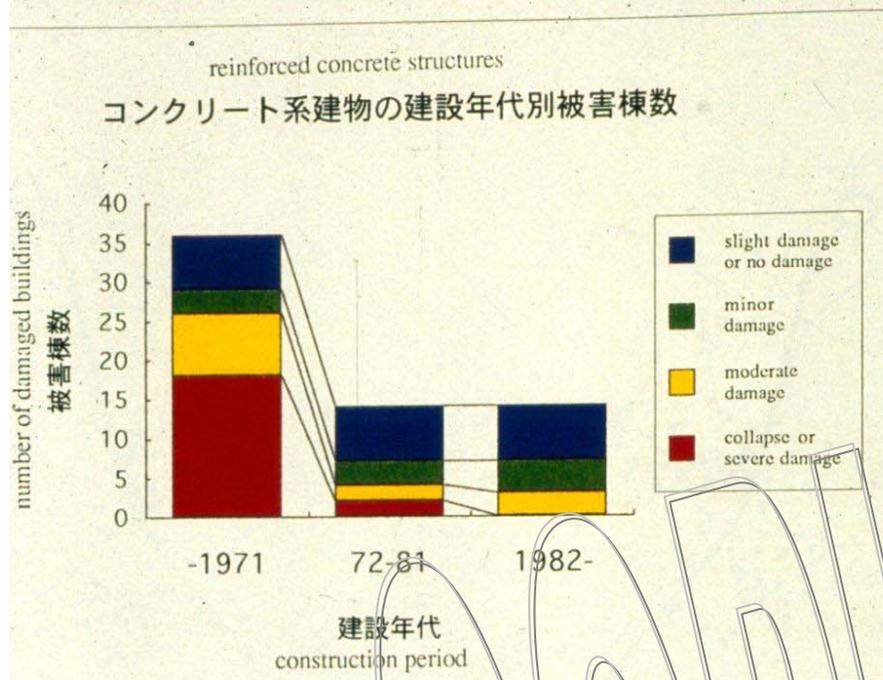




Lo stato di avanzamento delle conoscenze, della ricerca e della tecnologia, ci consente di avere costruzioni sicure ?

N.D.R. : e che non abbiano danneggiamenti ?

SODIA



L'avanzamento delle conoscenze e le conseguenti evoluzioni delle normative hanno dimostrato, sul campo, di produrre una riduzione dei danni alle strutture.

Innovazioni introdotte dalla Ordinanza:

Dettagli costruttivi  
Indicazioni sulla duttilità locale e globale  
Regolarità strutturale  
Gerarchia delle resistenze

**Innovazione: sempre positiva ?**

Importanza della sperimentazione

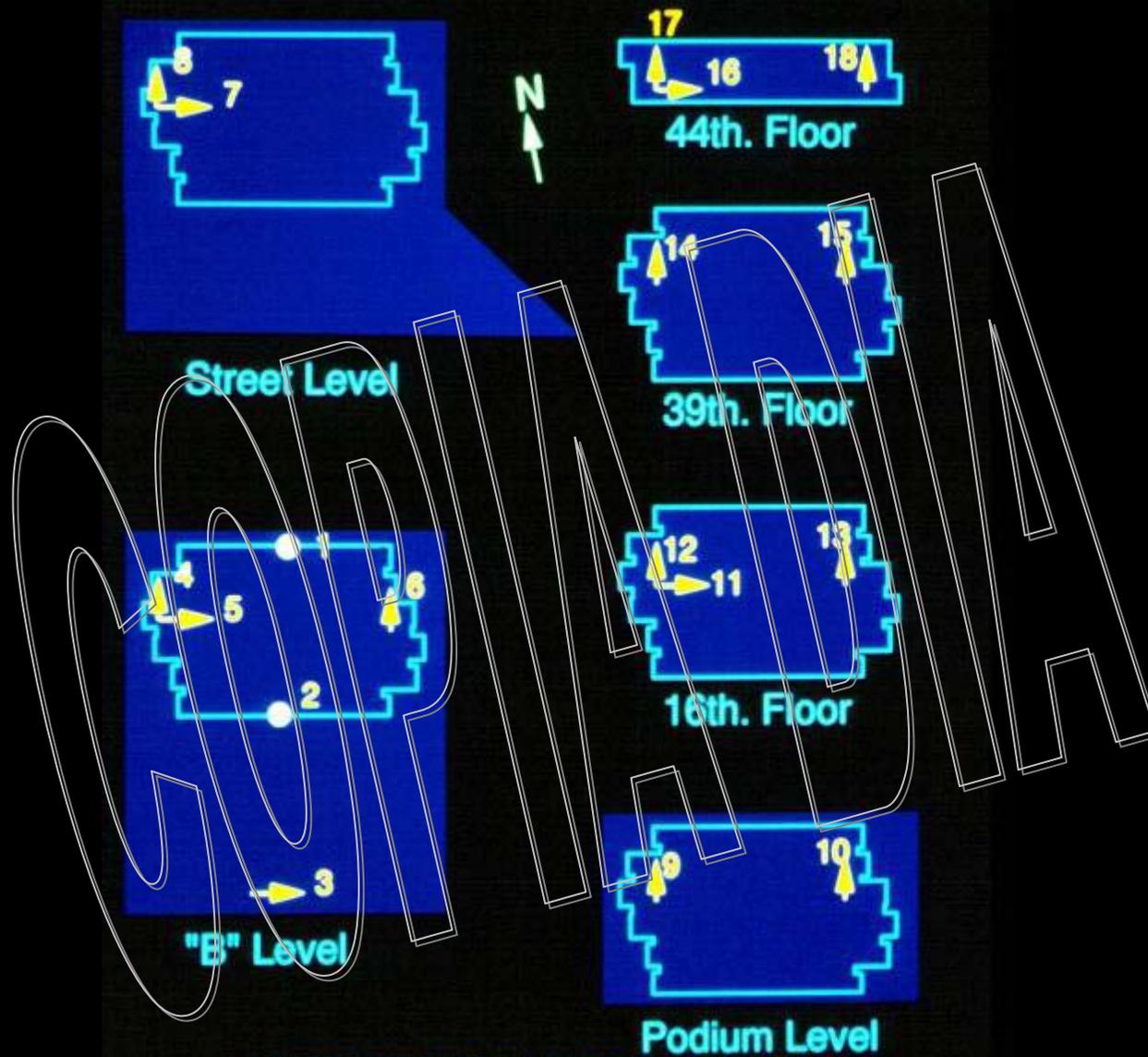
Ed a volte sul campo: verificando le reali prestazioni a seguito di un terremoto.



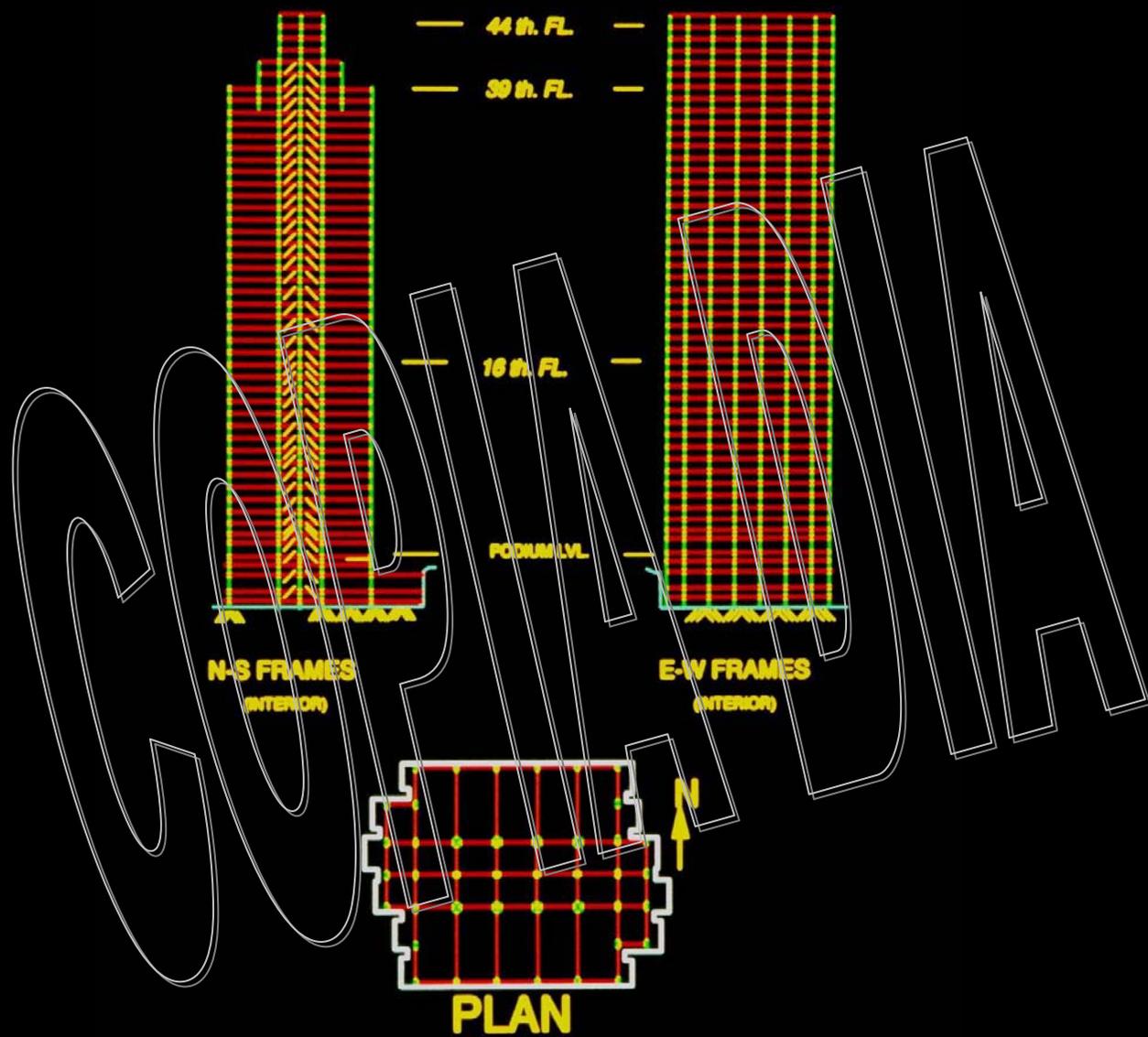
PHOTO BY ROBERT CAMERON

GRANDIA



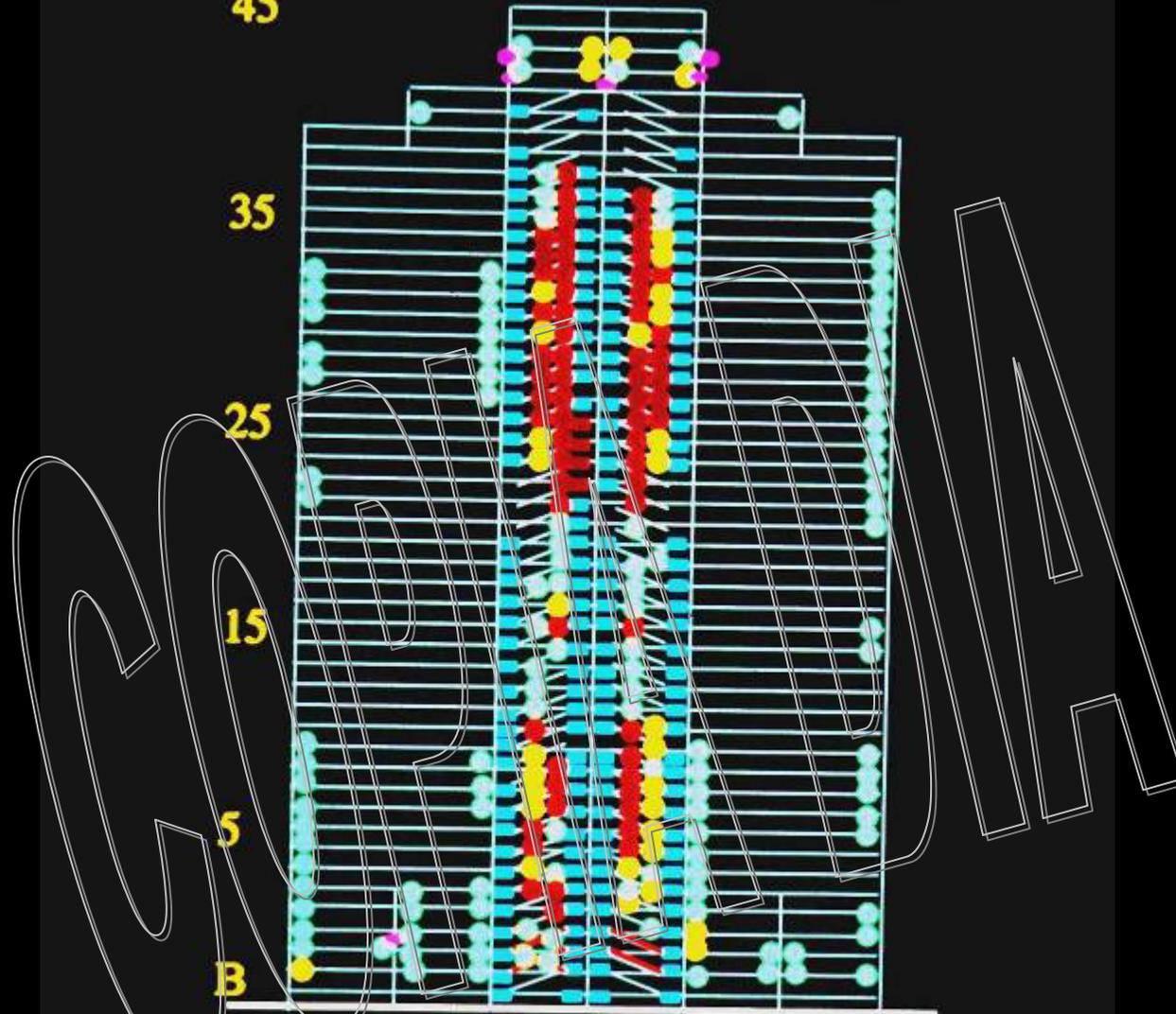


# INSTRUMENTATION PLAN



# N-S FRAMES, M8+ SAN ANDREAS

45



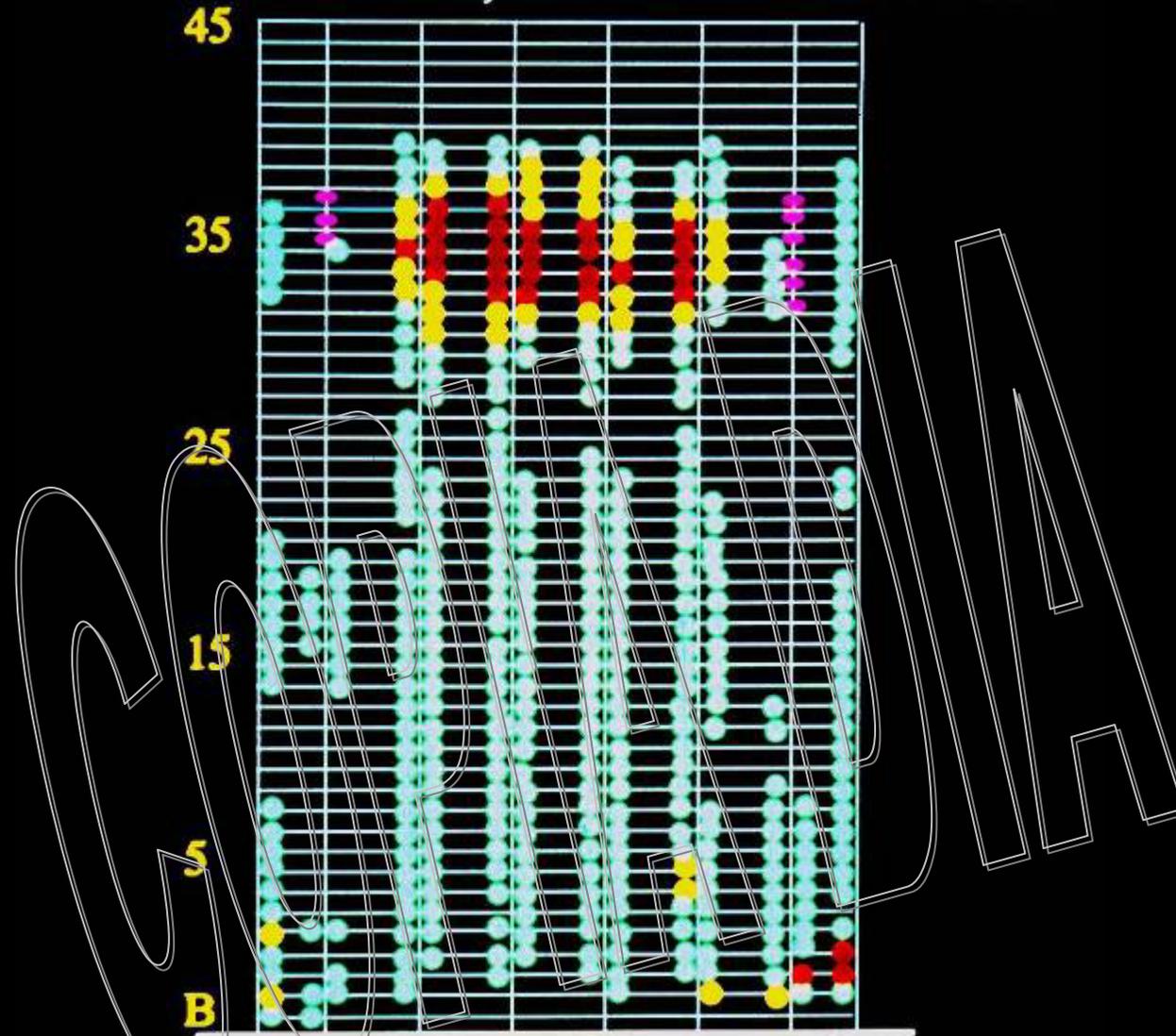
● COLUMN HINGE,  $-O < 0.005$  Rad.

● GIRDER HINGE,  $-O < 0.01$  Rad.

● GIRDER HINGE,  $-O < 0.02$  Rad.

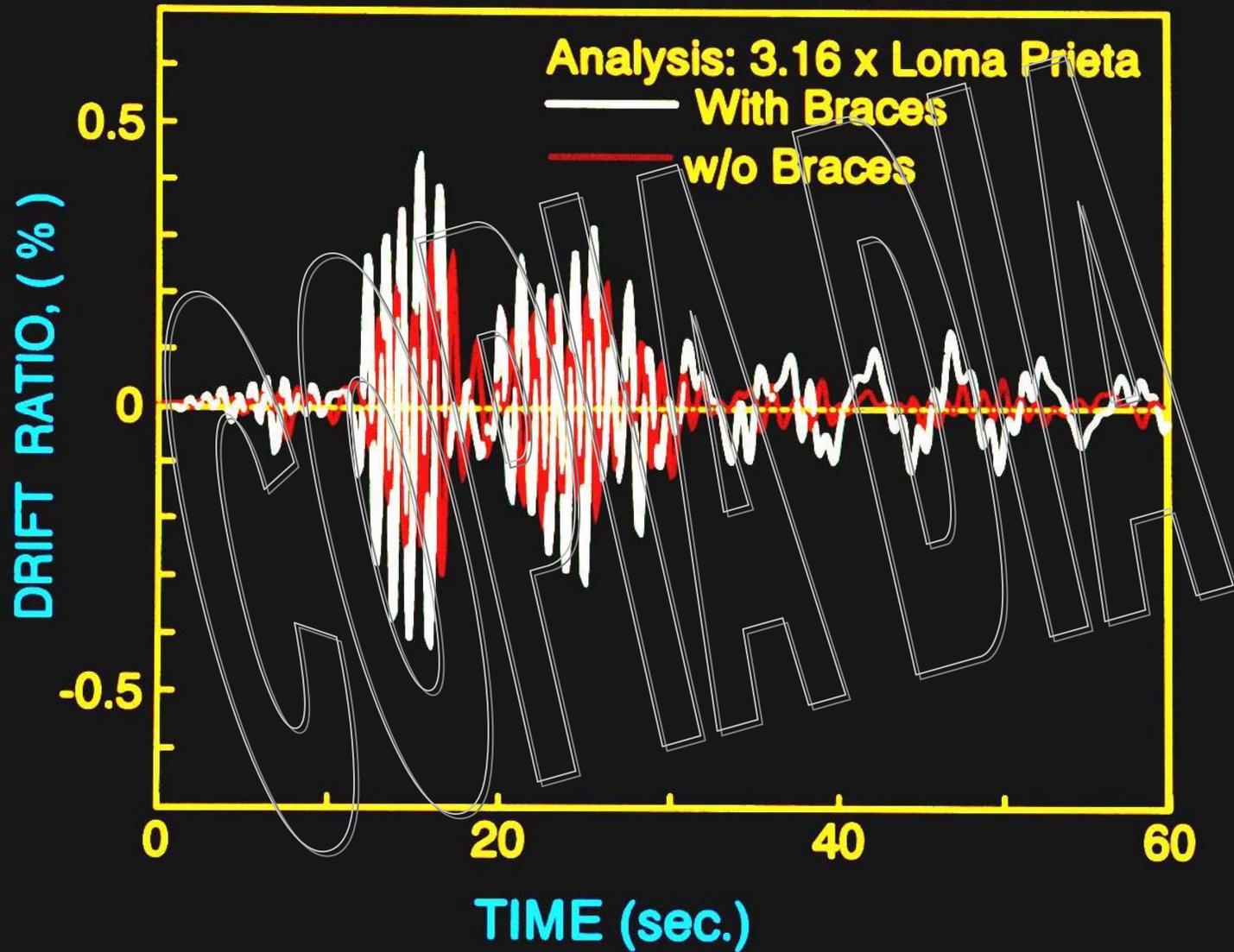
● GIRDER HINGE,  $-O > 0.02$  Rad.

# E-W FRAMES, M8+ SAN ANDREAS



- COLUMN HINGE,  $-\theta < 0.005 \text{ Rad.}$**
- GIRDER HINGE,  $-\theta < 0.01 \text{ Rad.}$**
- GIRDER HINGE,  $-\theta < 0.02 \text{ Rad.}$**
- GIRDER HINGE,  $-\theta > 0.02 \text{ Rad.}$**

# N-S Drift Ratio Time History Between 44th and 39th Floors



Per evitare danni e' sufficiente scegliere il materiale giusto:

Muratura / Cemento Armato / Acciaio ?

E' sufficiente costruire secondo le indicazioni normative e lo stato dell'arte ?

*“o' can' muozzic' o' stracciato”*

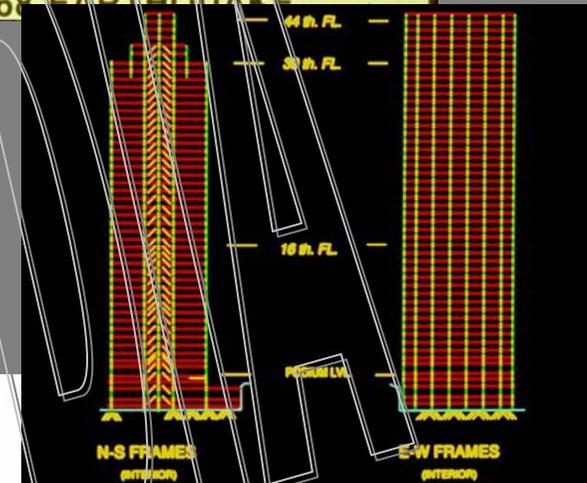
**Innovazione: sempre positiva ?**

Importanza della sperimentazione

Ed a volte sul campo: verificando le reali prestazioni a seguito di un terremoto.

Lo stato di avanzamento delle conoscenze, della ricerca e della tecnologia, ci consente di avere costruzioni sicure ?

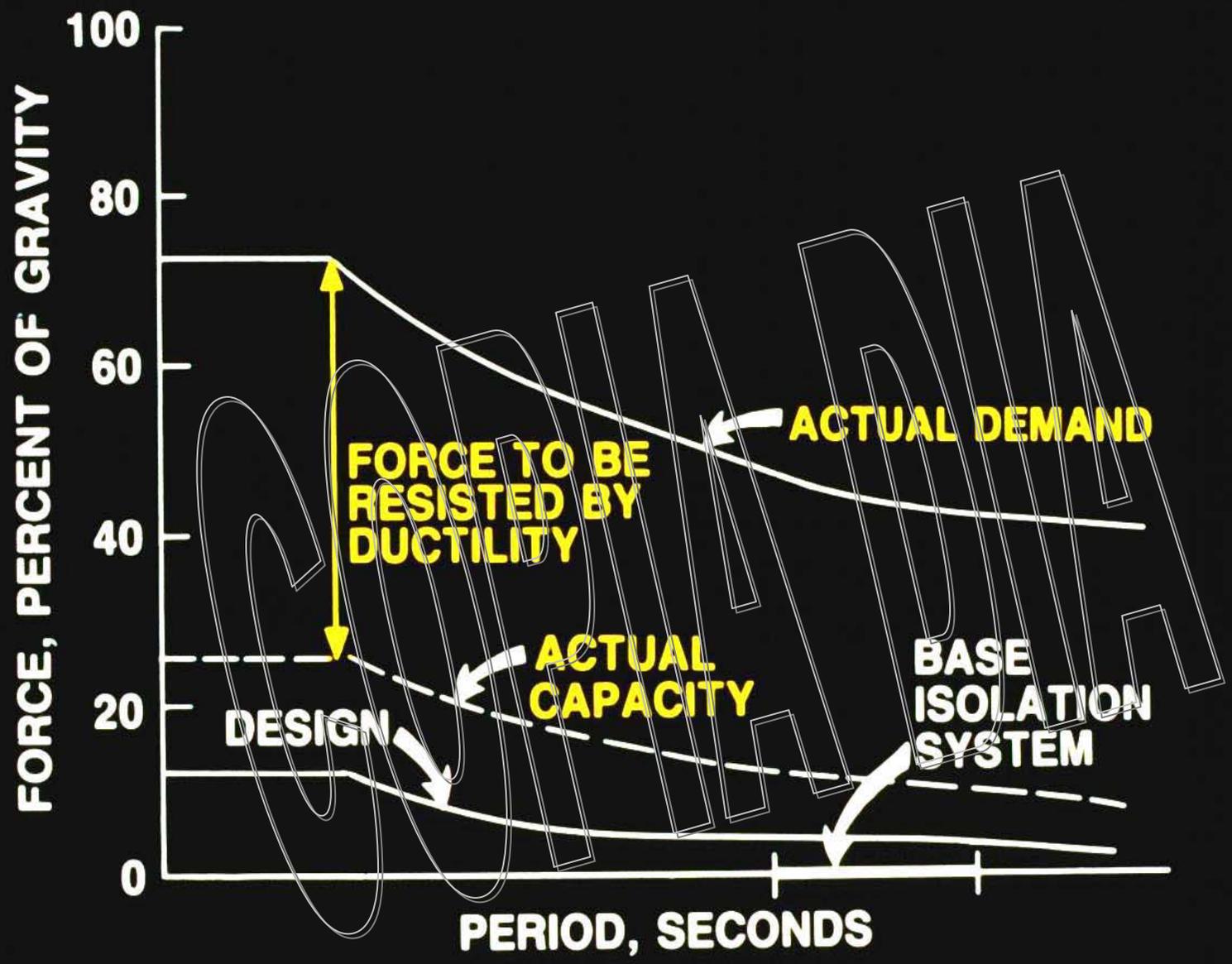
N.D.R. : e che non abbiano danneggiamenti ?



# ***Performance Based Seismic Engineering of Buildings (SEAOC Vision 2000)***

<b>ETHQ design lev.</b>	<b>Return period</b>	<b>Probability of exceedance</b>	<b>Performance Level (min.)</b>
frequent	43 years	50% in 30 years	operational
occasional	72 years	50% in 50 years	immediate occupancy
rare	475 years	10% in 50 years	life safety
very rare	2500 years	2% in 50 years	collapse prevention

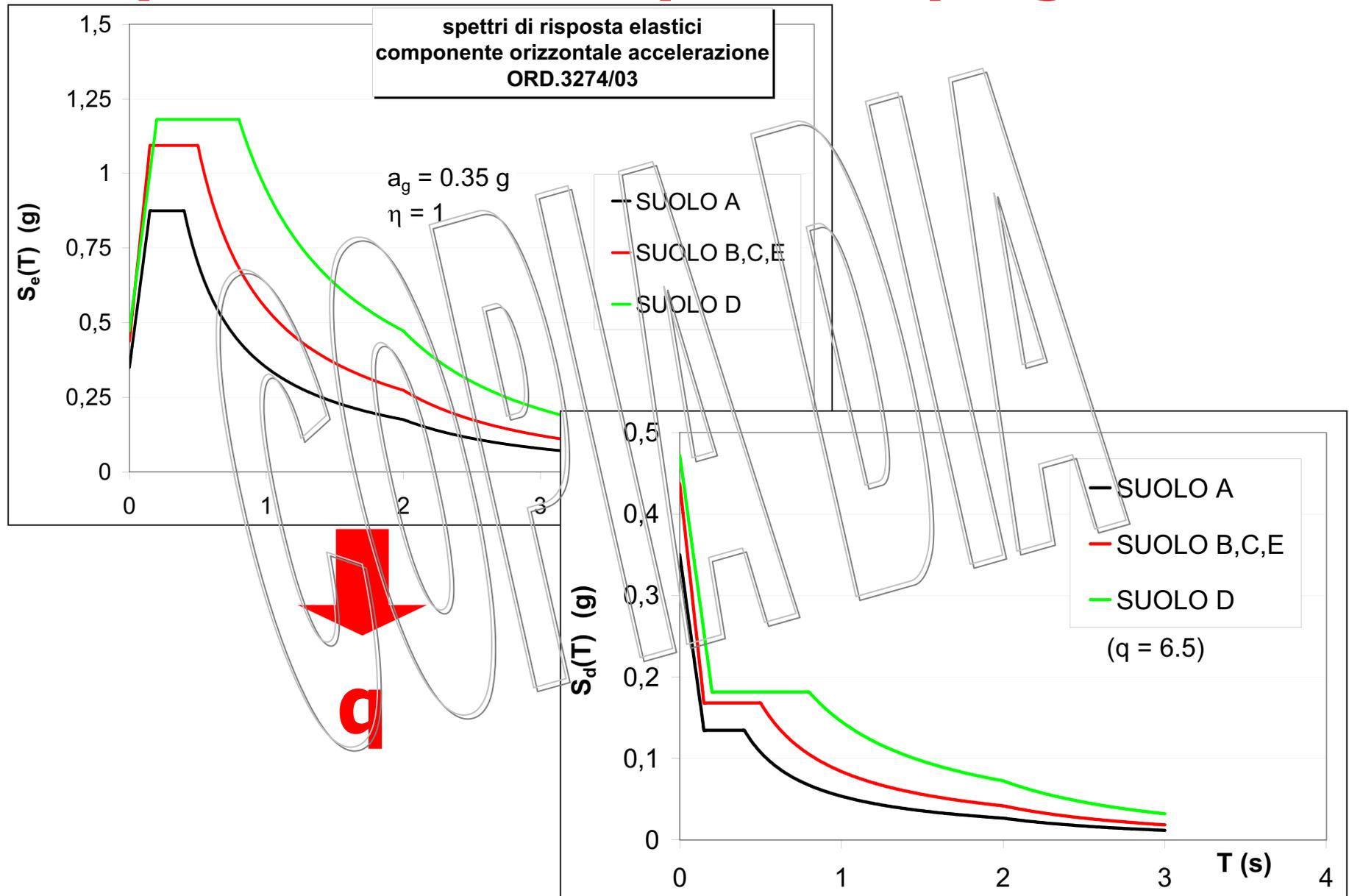
# STRUCTURAL DESIGN CONCEPTS



← **SHORT, STIFF STRUCTURES** ————— **TALL, FLEXIBLE STRUCTURES** →

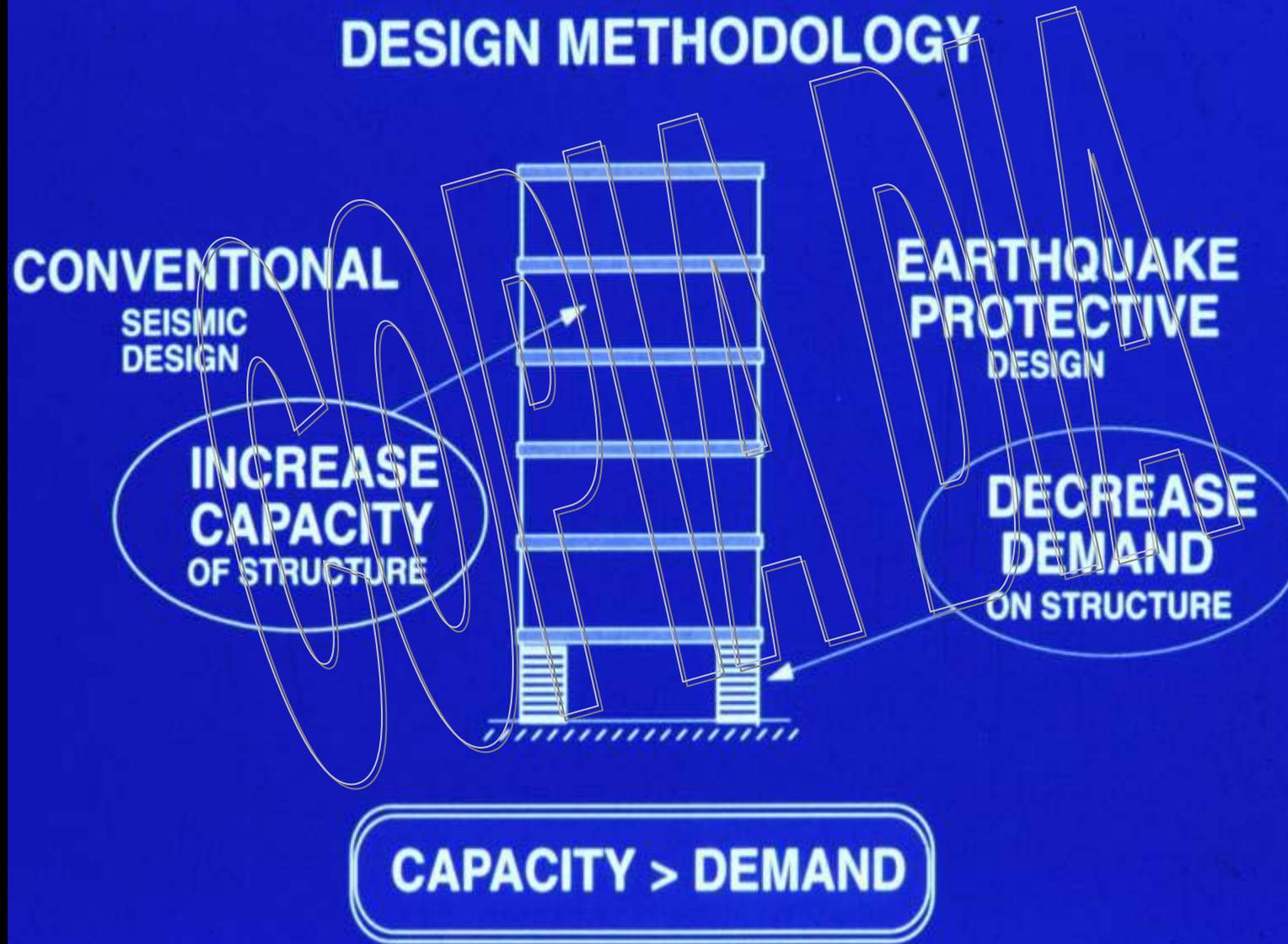
# Normative Sismiche

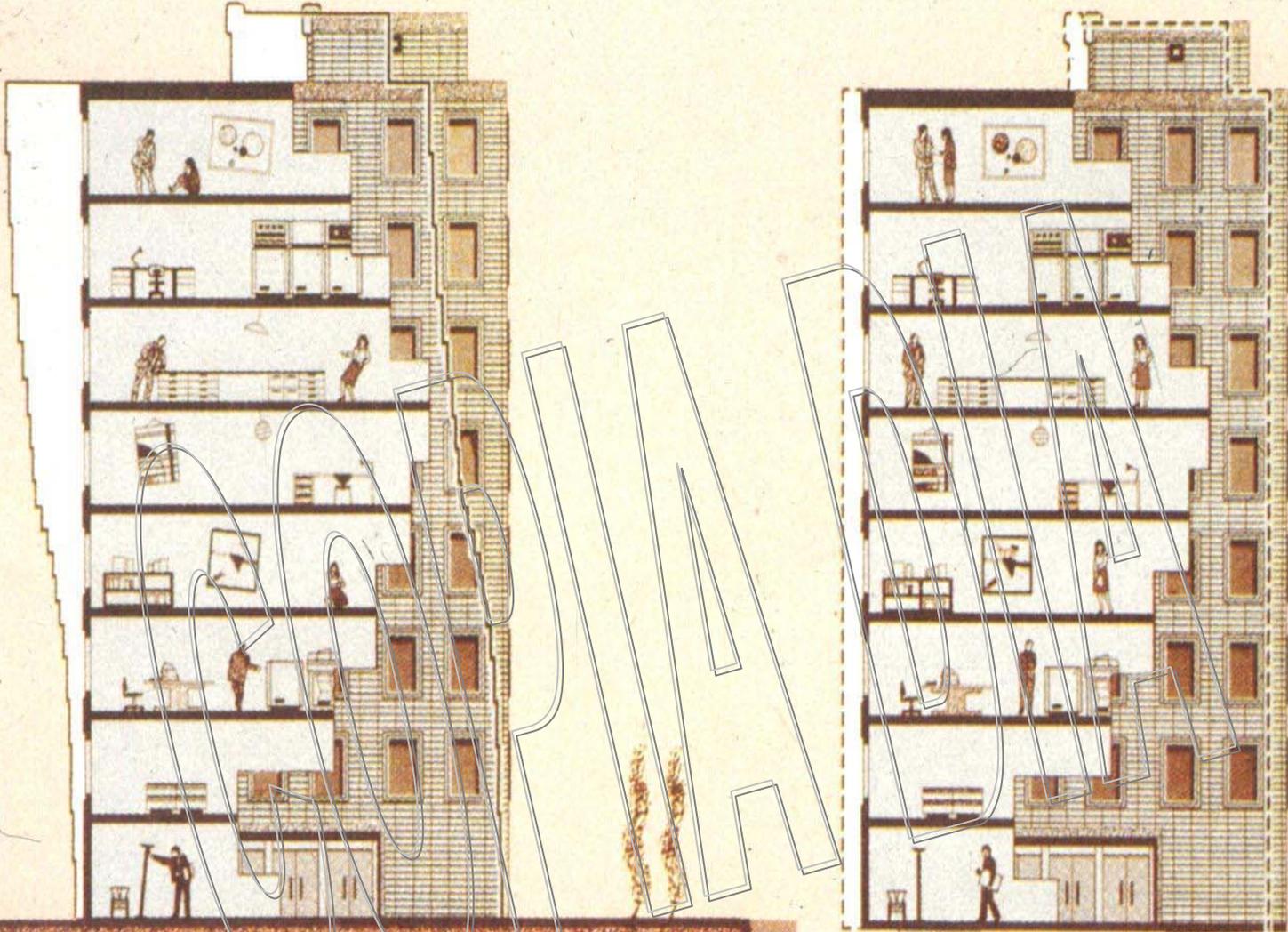
## spettri elastici e spettri di progetto



Lo stato di avanzamento delle conoscenze, della ricerca e della tecnologia, ci consente di avere costruzioni sicure ?

N.D.R. : e che non abbiano danneggiamenti ?





**CONVENTIONAL  
BUILDING**

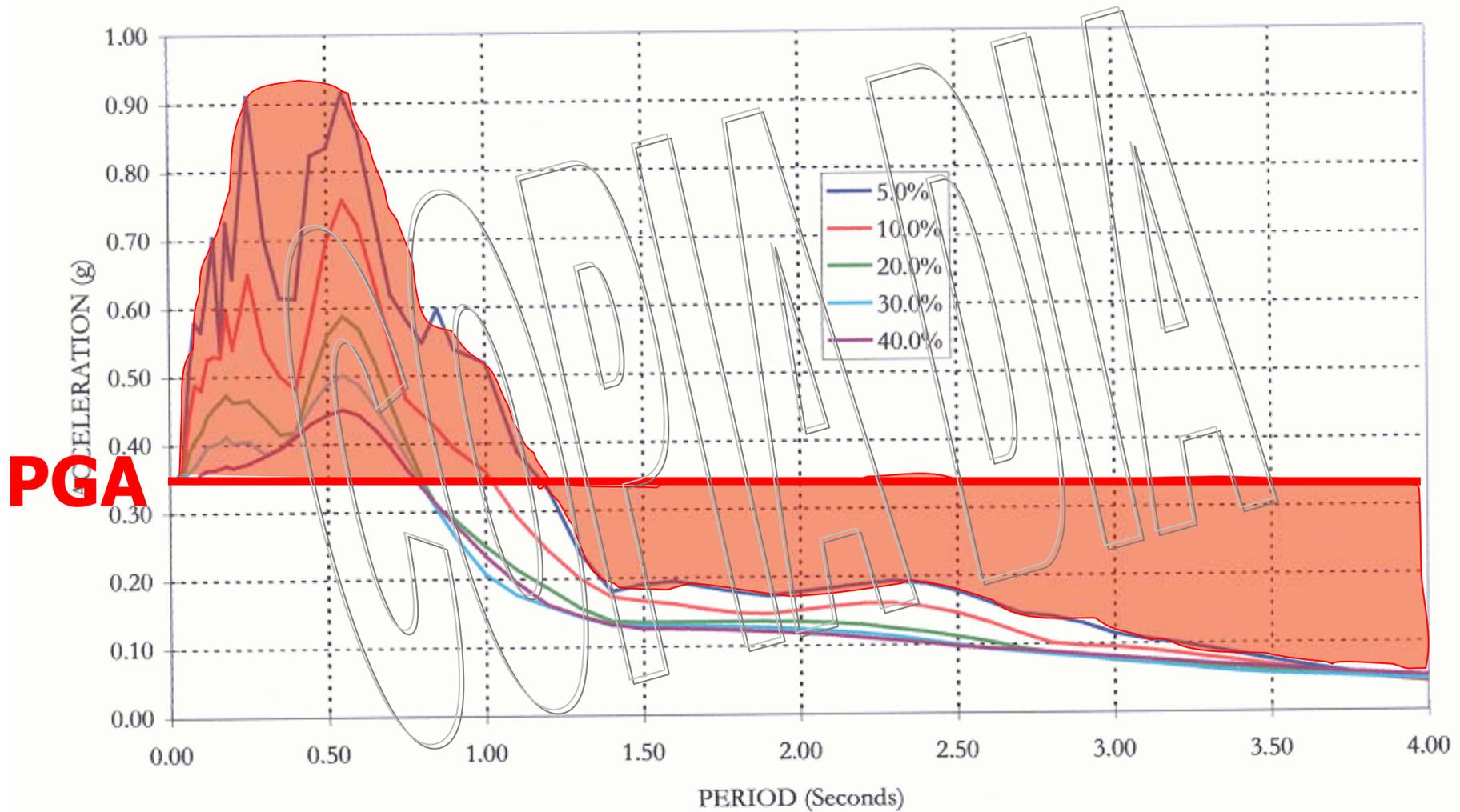
**BASE ISOLATED  
BUILDING**

# L'isolamento alla base e' Innovazione ? La vera innovazione e' l'utilizzazione

- 88/6. **De Luca, A. e Serino, G.** 1988. L'approccio energetico nella progettazione sismica. *Ingegneria Sismica*, N.3.
- 89/5. **De Luca, A., Serino, G.** 1989. Nuovi sistemi strutturali per la difesa dal rischio sismico. *Ingegneria Sismica*, N.1
- 89/6. **De Luca, A., De Stefano, M. e Faella, C.** 1989. Effetto delle imperfezioni dell'asta sul carico di stabilita' inelastico di strutture intelaiate. *Proceedings, XII Convegno CTA, Anacapri.*
- 91/3. **De Luca, A., Mazzolani, F.M., Mele, E.** 1991. Test Results on Natural Rubber and Policloloroprene Devices for Investigating the Effects of Axial Loads, *Proceedings, International Meeting on Earthquake Protection of Buildings.* Ancona.
- 91/9. **De Luca, A., Mazzolani, F.M., Mele, E.** 1991. Modelli di calcolo di apparecchi di isolamento in gomma per la valutazione degli effetti dei carichi verticali., *Proceedings V ANIDIS, Palermo.*
- 91/10 **Serino, G., De Luca, A.** 1991. La Definizione degli Spettri di Progetto nelle Strutture Isolate alla Base, *Proceedings V ANIDIS, Palermo.*
- 92/1. **De Luca, A. Serino, G.** 1992. Evaluation of displacement design spectra for base isolated systems, *Proceedings X WCEE, Madrid.*
- 92/2. **De Luca, A.** 1992. Le attivita' della Convenzione Europea della Costruzione Metallica nel campo del restauro, *Proceedings, ASSIRCO.*
- 93/2. **De Luca, A., Faella, G.,** 1993. Comportamento dinamico di strutture multipiano isolate alla base. , *Proceedings VI ANIDIS, Perugia.*
- 93/3. **De Luca, A., Faella, G., Pellegrino, C., Ramasco, R., Siano, F.,** 1993. Un modello per la simulazione di dispositivi elastomerici di isolamento sismico., *Proceedings VI ANIDIS, Perugia.*
- 93/4. **De Luca, A., Faella, G.,** 1993. Response of fixed base and base isolated r.c. frames., *Proceedings International Post-SMIRT Conference., Capri.*
- 94/2. **De Luca, A., Faella, G., Pellegrino, C., Ramasco, R., Siano, F.,** 1994. A refined model for simulating the behaviour of base isolation devices., *Proceedings V USNCEE, Chicago.*
- 94/3. **Imbimbo, M., Mele, E., De Luca, A.,** 1994. Finite element modelling of rubber bearings under large strains, *Proceedings ABACUS Users' Conference, New Port, Rhode Island, Usa.*
- 94/4. **De Luca, A, Faella, G., Mele, E.,** 1994. Effects of design level on dynamic behaviour of multistory base isolated structures, *Proceedings ERCAD 94, Berlin.*
- 94/8. **De Luca, A, Faella, G., Mele, E.,** 1994. Serviceability and ultimate performance of base isolated steel frames. *Proceedings of International Workshop and Seminar on Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas, STESSA '94, Timisoara, Romania, 26-29 June, 1994, pp.7.66-7.75.*
- 94/11. **De Luca, A, Reinhorn, A.M., Faella, G., Mele, E., Ramasco, R.,** 1994. Design level and damage in base isolated steel structures, *Proceedings, X ECEE, Vienna.*
- 94/13. **Imbimbo, M., Mele, E., De Luca, A.** 1994. Analisi tensionale agli elementi finiti di un dispositivo elastomerico soggetto a carico assiale, *Proceedings AIAS Conference, Arcavacata, Italy.*
- 94/14. **De Luca, A., Mele, E.,** 1994. State-of-the-Art report on base isolation and energy dissipation, *Proceedings of International Workshop and Seminar on Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas, STESSA '94, Timisoara, Romania, 26-29 June, 1994.*
- 95/1. **Giangreco, E., De Luca, A.,** 1995. L'influenza dei terremoti sullo sviluppo sociale e produttivo dei centri urbani. *Convegno Terremoti in Italia, Accademia Nazionale dei Lincei.*
- 95/2. **De Luca, A., Faella, G., Mele, E., Ramasco, R.** 1995. Sistemi innovativi di protezione sismica: l'isolamento sismico. *Convegno Terremoti in Italia, Accademia Nazionale dei Lincei.*
- 95/4 **Imbimbo, M., De Luca, A.** 1995. Stress analysis of laminated bearings through finite element modeling , *Proceedings CIVILCOMP.*
- 95/5 **Imbimbo, M., De Luca, A.** 1995. Influenza del fattore di forma sulle distribuzioni tensionali di un dispositivo elastomerico , *Proceedings AIMETA.*
- 95/10. **De Luca, A., Faella, G., Mele, E.,** 1995. La modellazione di strutture isolate alla base in campo non lineare. *Atti del 7o Convegno Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", Siena, 25-28 settembre, 1995.*
- 95/11. **De Luca, A., Faella, G., Mele, E.,** 1995. Il livello di progetto nelle strutture isolate alla base. *Atti del 7o Convegno Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", Siena, 25-28 settembre, 1995.*
- 95/12. **De Luca, A., Mele, E.** 1995. L'isolamento sismico nel restauro di edifici storici. *Atti del 7o Convegno Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia", Siena, 25-28 settembre, 1995.*
- 96/1. **De Luca, A., Faella, G.** 1996. The influence of superstructure design criteria on seismic force reduction factors for base isolated structures. *Proceedings of XI WCEE, Acapulco.*
- 96/2. **Mele, E., De Luca, A., Ramasco, R.** 1996. The effect of using different device numerical models on the global nonlinear behaviour of base isolated structures. *Proceedings of XI WCEE, Acapulco.*
- 96/3. **De Luca, A., Mele, E.** 1996. The recent Kobe earthquake: general data and lessons learned on steel structures. *Proceedings of COST-C1 Seismic Working Group 4th Meeting, Capri, October 3-6.*
- 96/5. **De Luca, A.** 1996. Innovative strategies and techniques for seismic protection. *Proceedings of "Japan in Italy '95-'96", Symposium on "Safe City", Napoli, February 9-10.*
- 96/6. **De Luca, A. Mele, E.** 1996. The seismic isolation in the retrofit of historic buildings. *Proceedings of "Usa/Italy Seminar on the seismic restoration of historic buildings" Los Angeles, July 22-25.*
- 97/2. **Mele E., De Luca A.** 1997. Seismic strengthening of cultural heritage through base isolation: some case studies. *Proceedings of International Conference New Technologies in Structural Engineering , Lisbon, Portugal, July 1997.*
- 97/3. **De Luca A., Mele E.** 1997. Base isolation and energy dissipation. General Report. *Proceedings of 2nd International Conference Behaviour of Steel structures in Seismic Areas, STESSA'97, Kyoto, Japan, August 1997.*
- 97/5. **Faella G., De Luca A.** 1997. Base Isolation as a strategy for improving performance of moment resisting steel frames. *Proceedings of 2nd International Conference Behaviour of Steel structures in Seismic Areas, STESSA'97, Kyoto, Japan, 223-230, August 1997.*
- 97/7. **De Luca A., Mele E.** 1997. Base isolation for seismic protection of monuments, *Proceedings of the International Workshop on : Testing and modeling of innovative systems for seismic response control of buildings and bridges, Napoli 17-18 May 1996, CUEN ottobre 1997.*
- 97/8. **De Luca A., Faella G.** 1997. Seismic force reduction factors for base isolated structures, *Proceedings of the International Workshop on : Testing and modeling of innovative systems for seismic response control of buildings and bridges, Napoli 17-18 May 1996, CUEN ottobre 1997.*
- 97/9. **Mele E. De Luca A., Ramasco R.** 1997. Modeling problems in base isolation, *Proceedings of the International Workshop on : Testing and modeling of innovative systems for seismic response control of buildings and bridges, Napoli 17-18 May 1996, CUEN ottobre 1997.*
- 97/10. **Ramasco R. De Luca A.** 1997. : Testing and modeling of innovative systems for seismic response control of buildings and bridges, Napoli 17-18 May 1996, Editors published by CUEN ottobre 1997.
- 98/1. **Imbimbo M. and De Luca A.** 1998. F.E. stress analysis of rubber bearings under axial loads, in corso di revisione su *Computers & Structures.*
- 98/3. **De Luca, A., Faella, G.** 1988. Modeling of elastomeric devices in the dynamic linear and nonlinear range, *Proceedings of the US-Italy workshop on "Seismic protective systems for bridges", Columbia University, New York City, April 27-28 1998.*
- 98/5. **De Luca, A.** 1998. L'isolamento sismico nel restauro di edifici storici. *Primo Campus Post-Universitario in diagnosi e terapia dei dissesti statici, Saluzzo 1997*

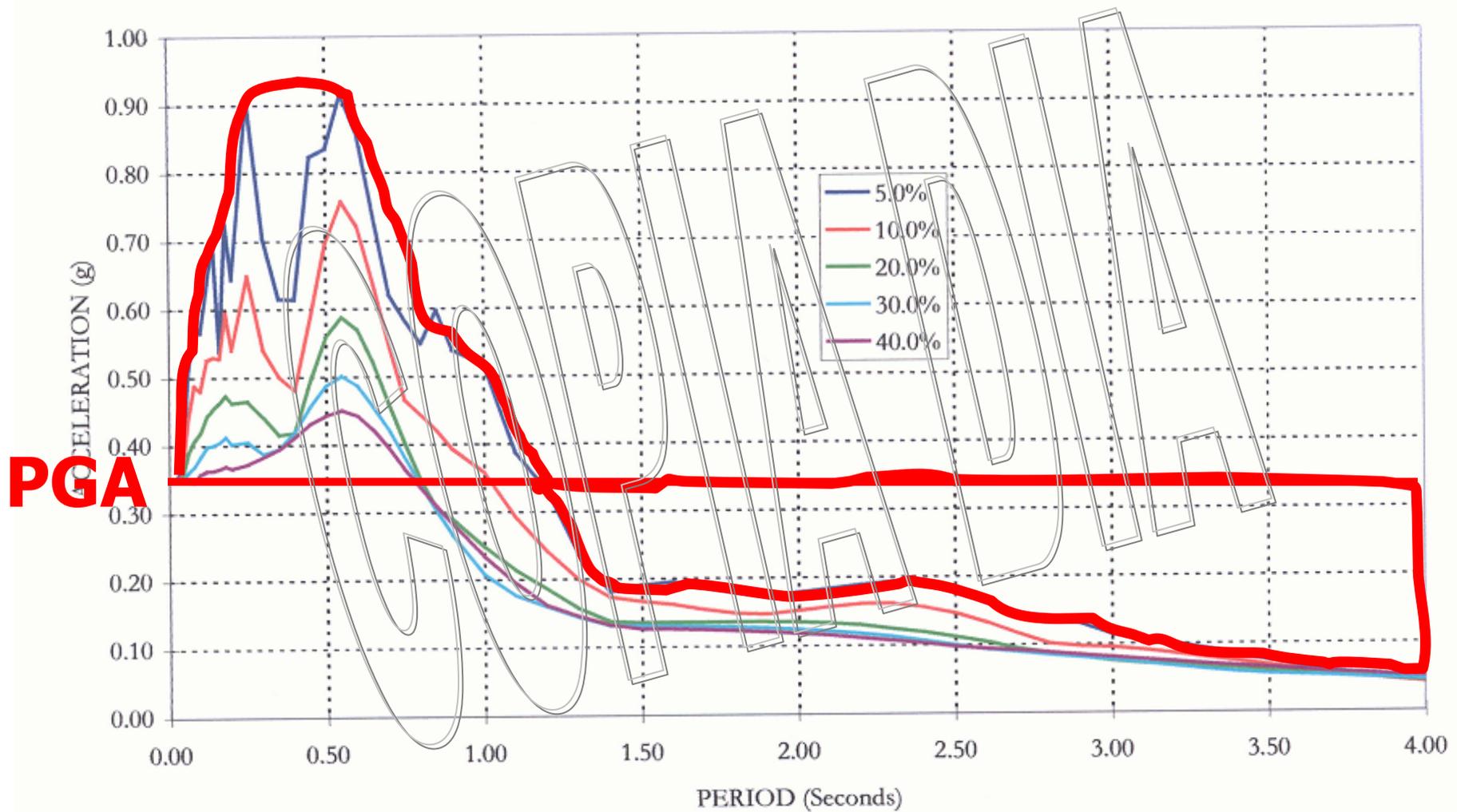
# Spettri di risposta input sismici

FIGURE 2-7 EL CENTRO 1940: ACCELERATION SPECTRA



# Spettri di risposta input sismici

FIGURE 2-7 EL CENTRO 1940: ACCELERATION SPECTRA



# Progettazione Sismica

Rigidezza struttura  $\rightarrow$  infinita

accelerazione  $\rightarrow$  accelerazione al suolo

deformazioni  $\rightarrow$  0

Rigidezza struttura  $\rightarrow$  nulla

accelerazioni  $\rightarrow$  0

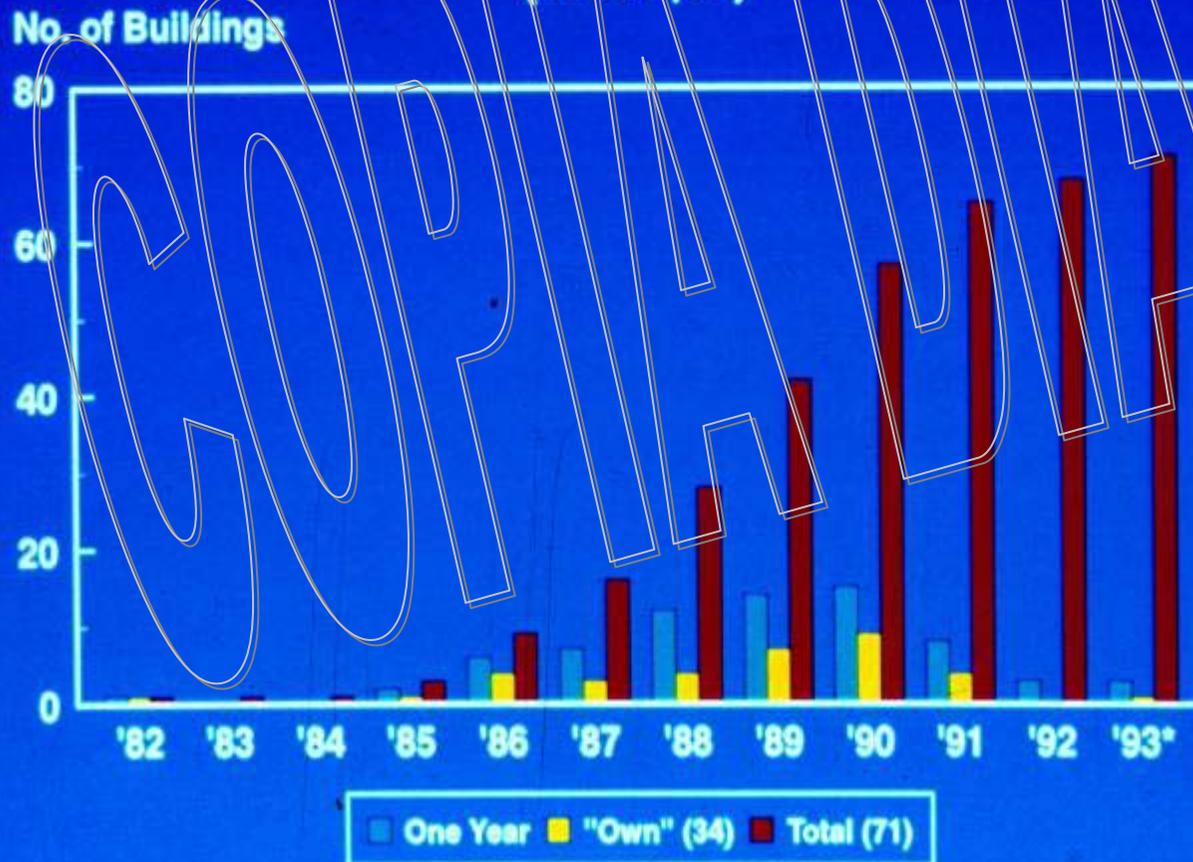
deformazioni  $\rightarrow$  deformazioni al suolo

L'isolamento alla base e' Innovazione ? La vera innovazione e' l'utilizzazione.

La verifica sperimentale e' sul campo: con terremoti reali

## Isolated Buildings in Japan

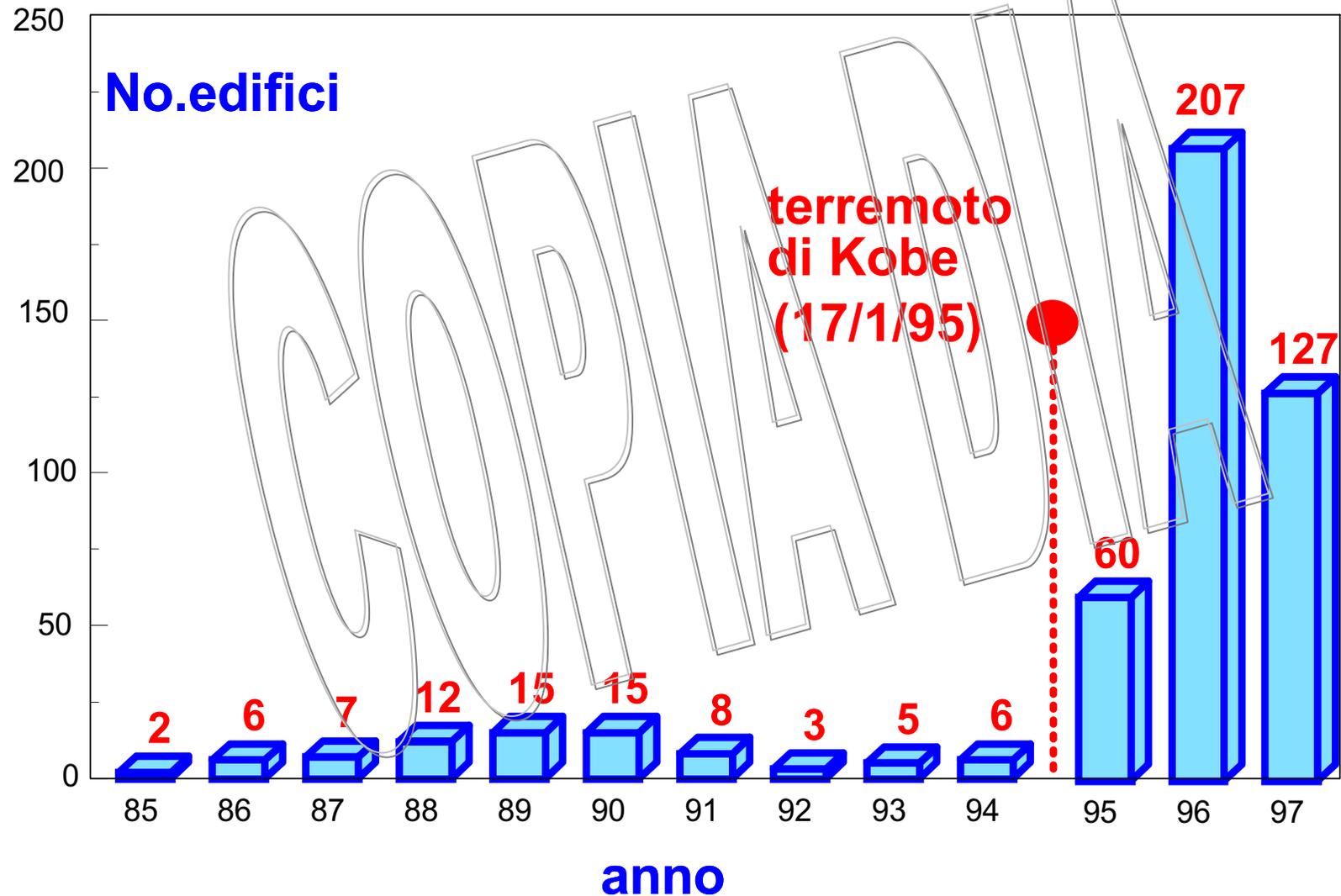
Number of Buildings By Year  
(as of 2/93)



L'isolamento alla base e' Innovazione ? La vera innovazione e' l'utilizzazione.

La verifica sperimentale e' sul campo: con terremoti reali

## APPLICAZIONI DI ISOLAMENTO SISMICO IN GIAPPONE

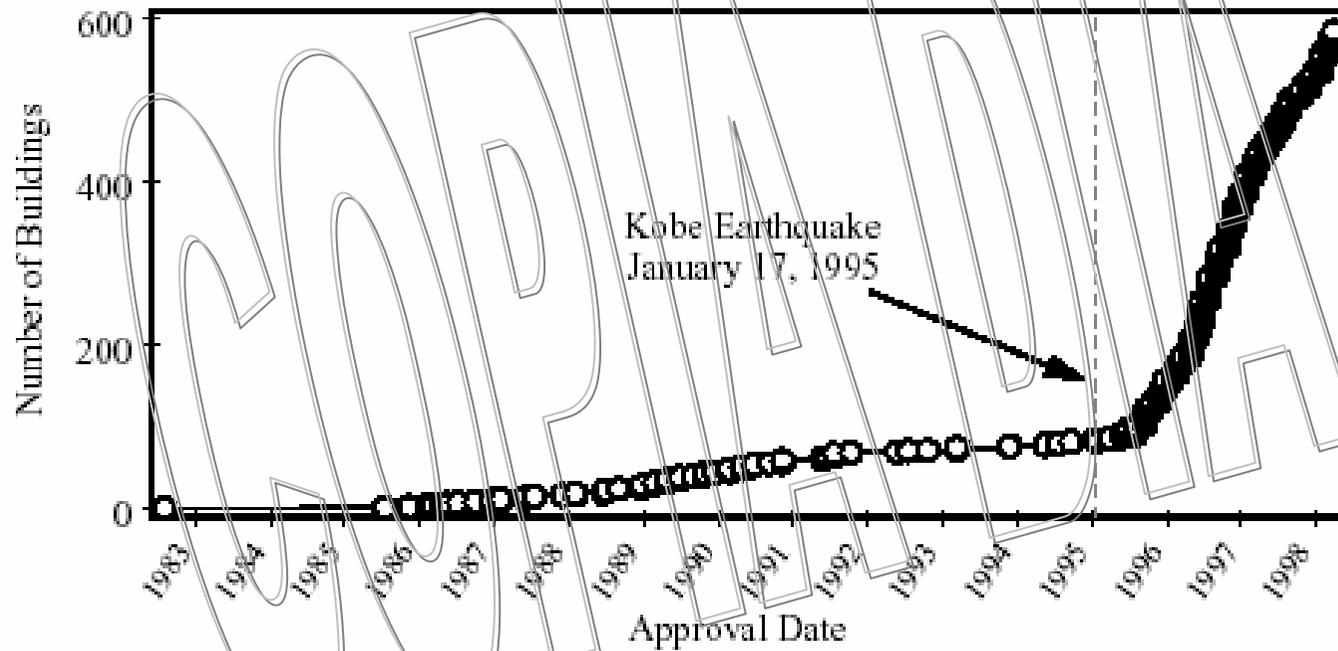


The 1995 Kobe (Hyogo-ken Nanbu)  
Earthquake as a Trigger for  
Implementing New Seismic Design  
Technologies in Japan

to appear in:

*Lessons Learned Over Time, Learning From Earthquakes, Volume III*  
Earthquake Engineering Research Institute, 1999

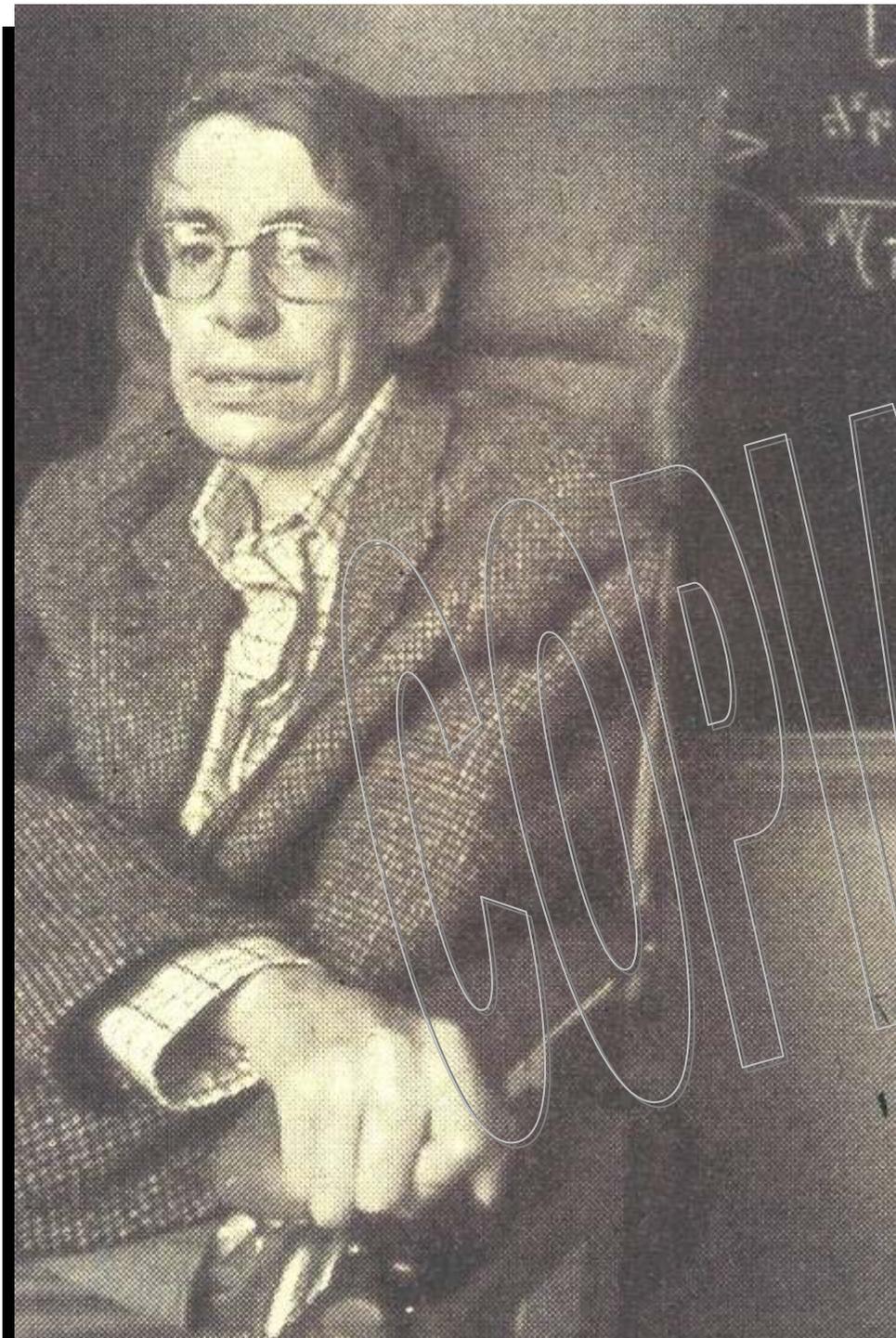
Peter W. Clark  
Ian D. Aiken  
Masayoshi Nakashima  
Mitsuo Miyazaki  
Mitsumasa Midorikawa



*Growth of seismic isolation applications in Japan before and after the 1995 Kobe earthquake*

# Applicazioni del BIS nel mondo





*.... Sono del parere che una teoria fisica é un modello matematico che usiamo per descrivere il risultato di osservazioni.*

*Oltre a ciò non ha senso chiedersi se corrisponde o no alla realtà.*

**“Black holes and baby universes and other essays” , Bantam Books , 1993 , pg 182.**

**L'isolamento alla base e' Innovazione ? La vera innovazione e' l'utilizzazione.**

**La verifica sperimentale e' sul campo: con terremoti reali**



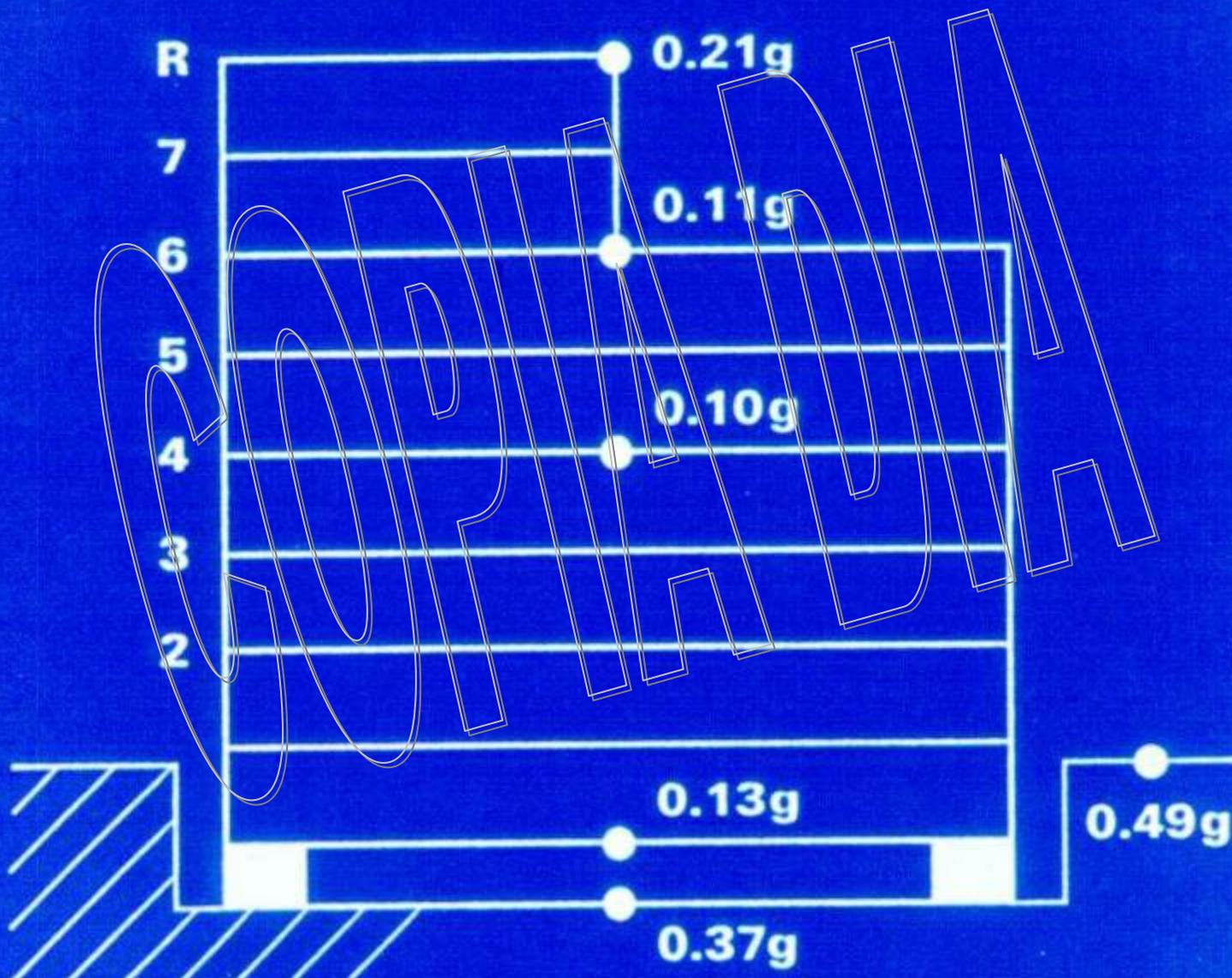
**L'isolamento alla base e' Innovazione ? La vera innovazione e' l'utilizzazione.**

**La verifica sperimentale e' sul campo: con terremoti reali**



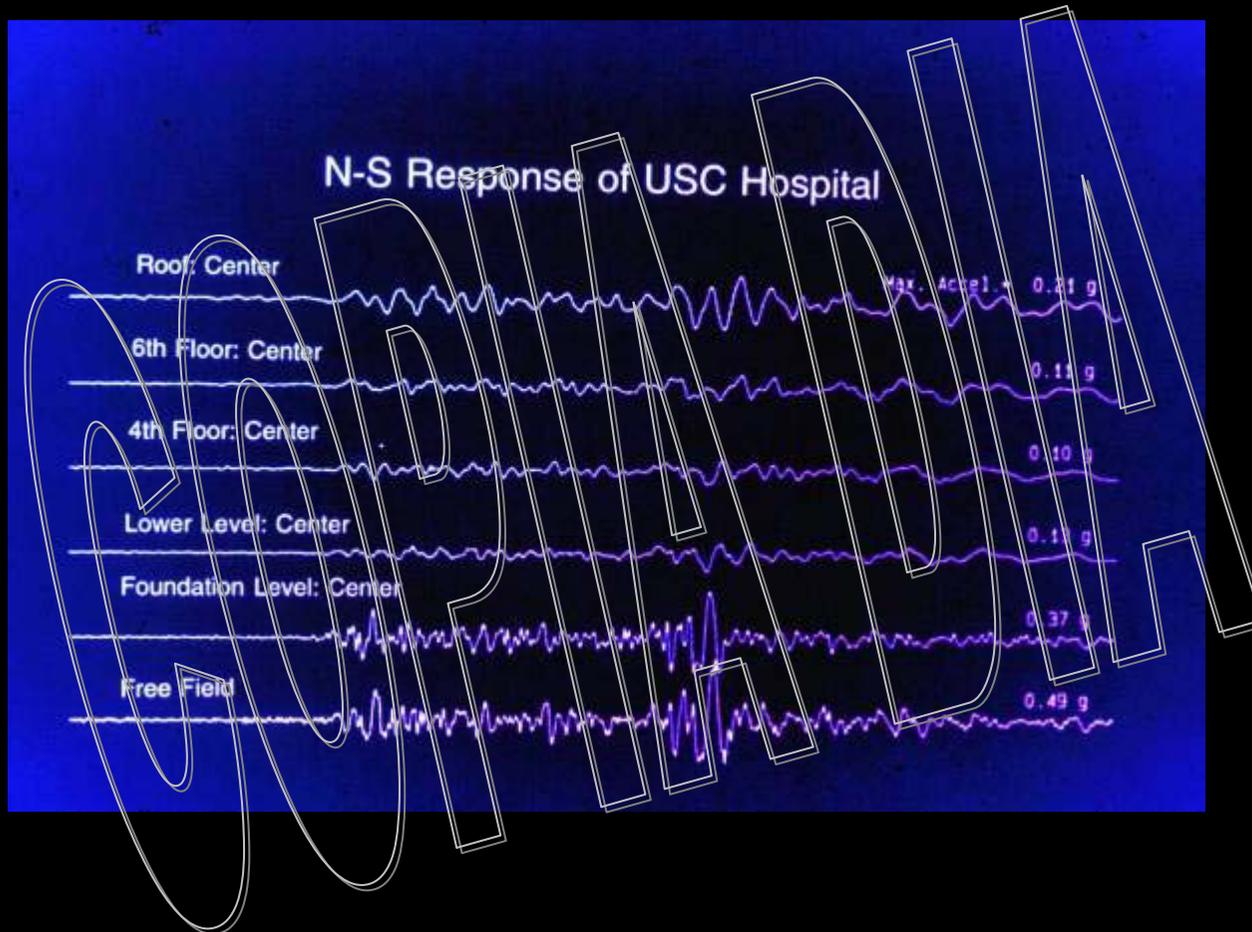
**L'isolamento alla base e' Innovazione ? La vera innovazione e' l'utilizzazione.**

**La verifica sperimentale e' sul campo: con terremoti reali**



**L'isolamento alla base e' Innovazione ? La vera innovazione e' l'utilizzazione.**

**La verifica sperimentale e' sul campo: con terremoti reali**



**La verifica sperimentale e' sul campo: con terremoti reali:  
Performance misurata in terremoti reali**

**USC Hospital - Northridge Ethq ('94):**

0.37g a livello del suolo

0.13g al di sopra del sistema isolato

0.21g a livello del tetto



**Fattore di riduzione = 2.85**

**Fattore di riduzione = 1.76**

**WJPostal Center - Kobe Ethq ('95):**

0.40g a livello del suolo

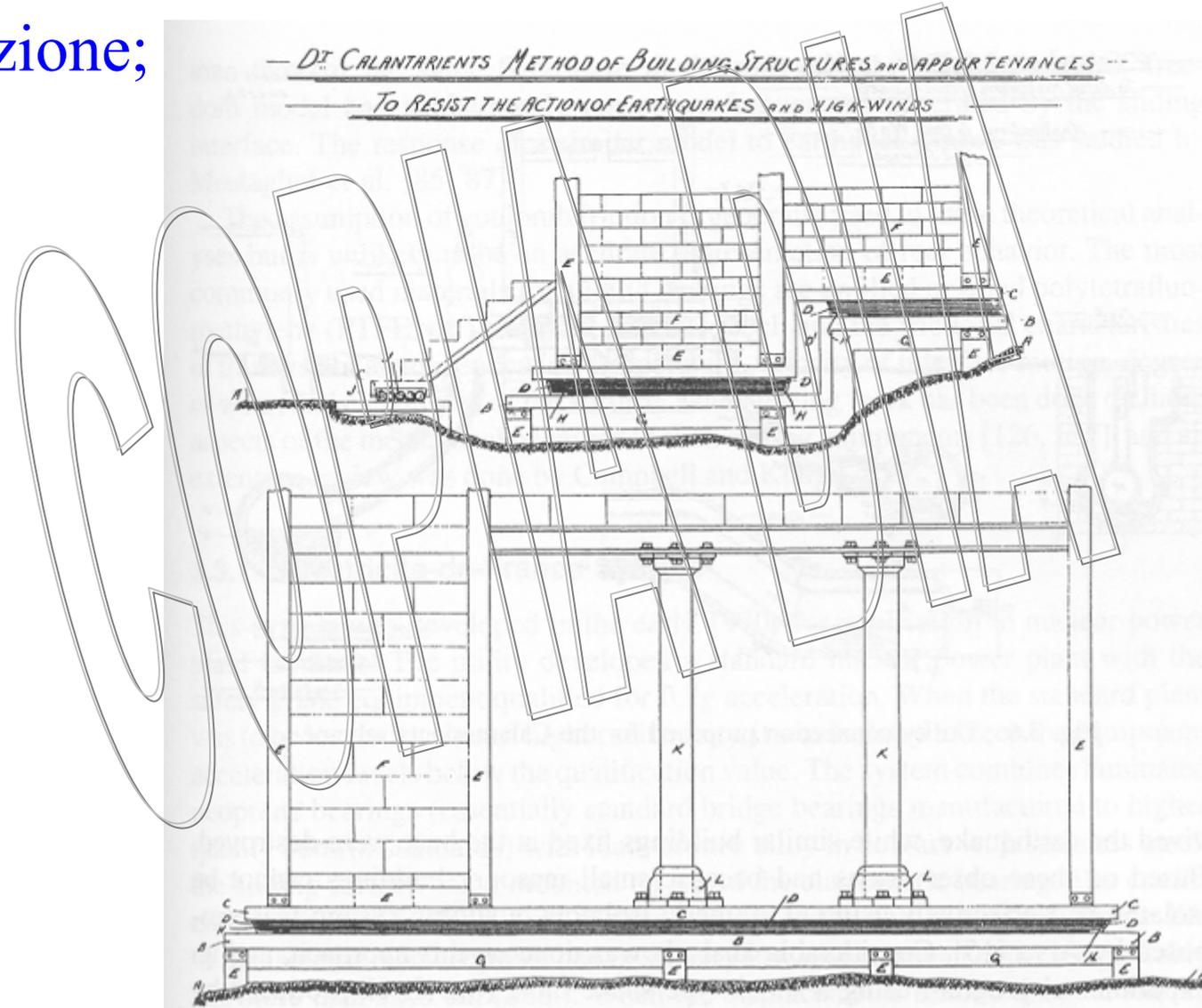
0.13g al sesto piano



**Fattore di riduzione = 3.08**

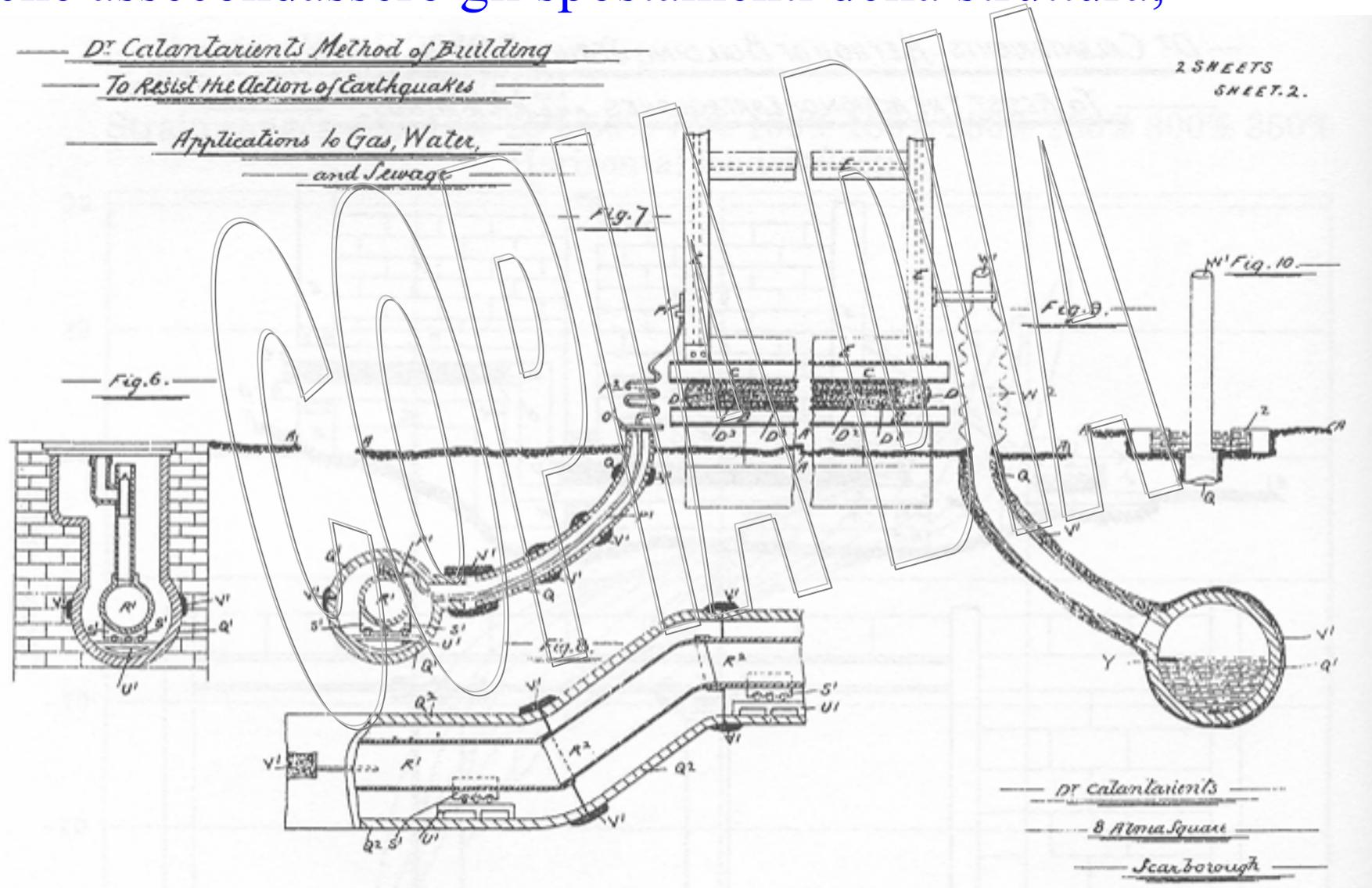
# Nascita del concetto di Isolamento

- Nel 1909 in **Inghilterra**, [J. A. Calantarients](#) proponeva l'isolamento alla base mediante uno strato di sabbia o talco in fondazione;



# Nascita del concetto di Isolamento

... studiando anche ingegnosi collegamenti per le tubazioni che assecondassero gli spostamenti della struttura;



**Qualcosa di piu' moderno ed affidabile: gli isolatori  
Non sempre basta solo una idea**





## Caratteristiche degli isolatori



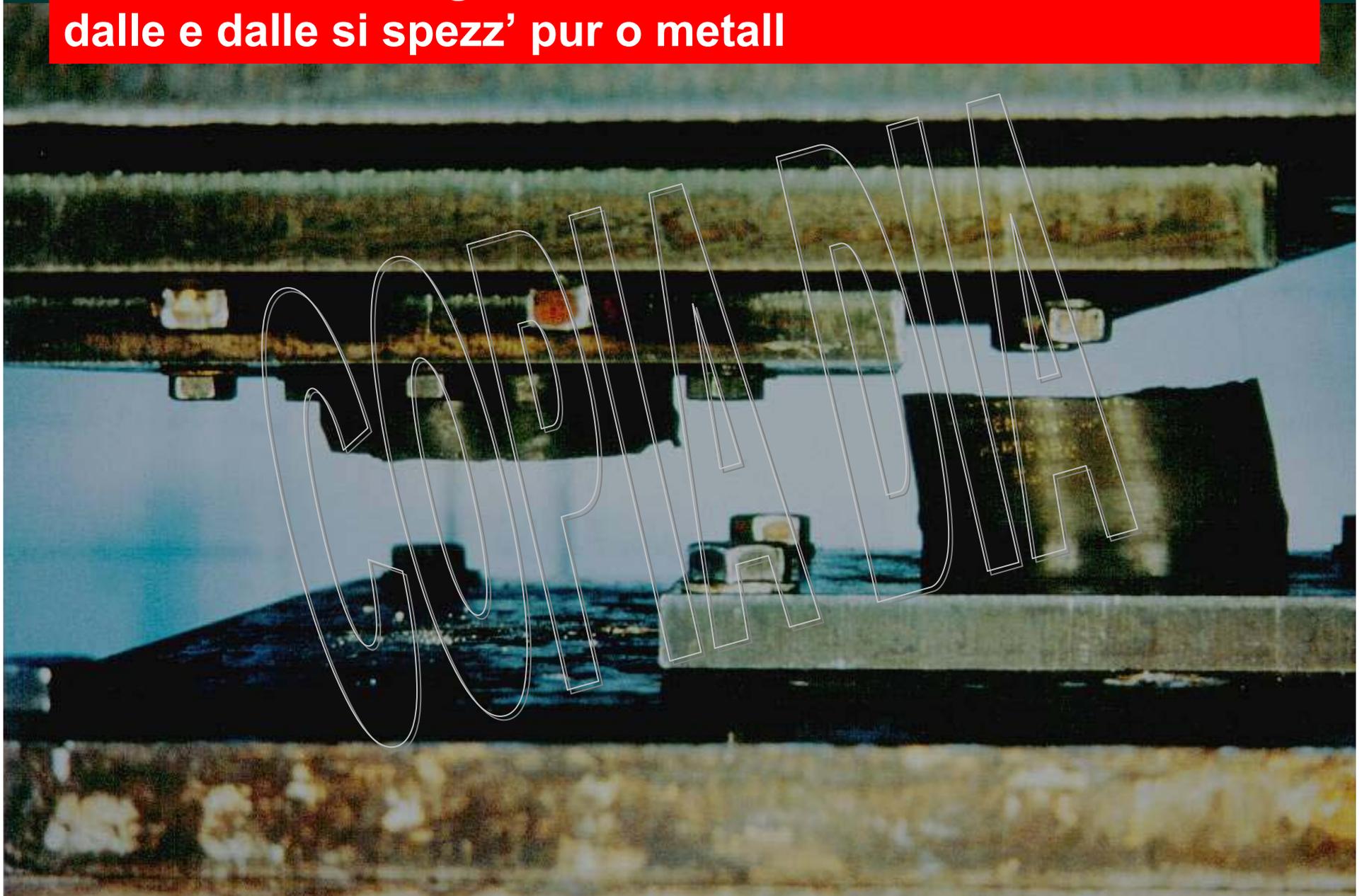
## Caratteristiche degli isolatori



## Caratteristiche degli isolatori

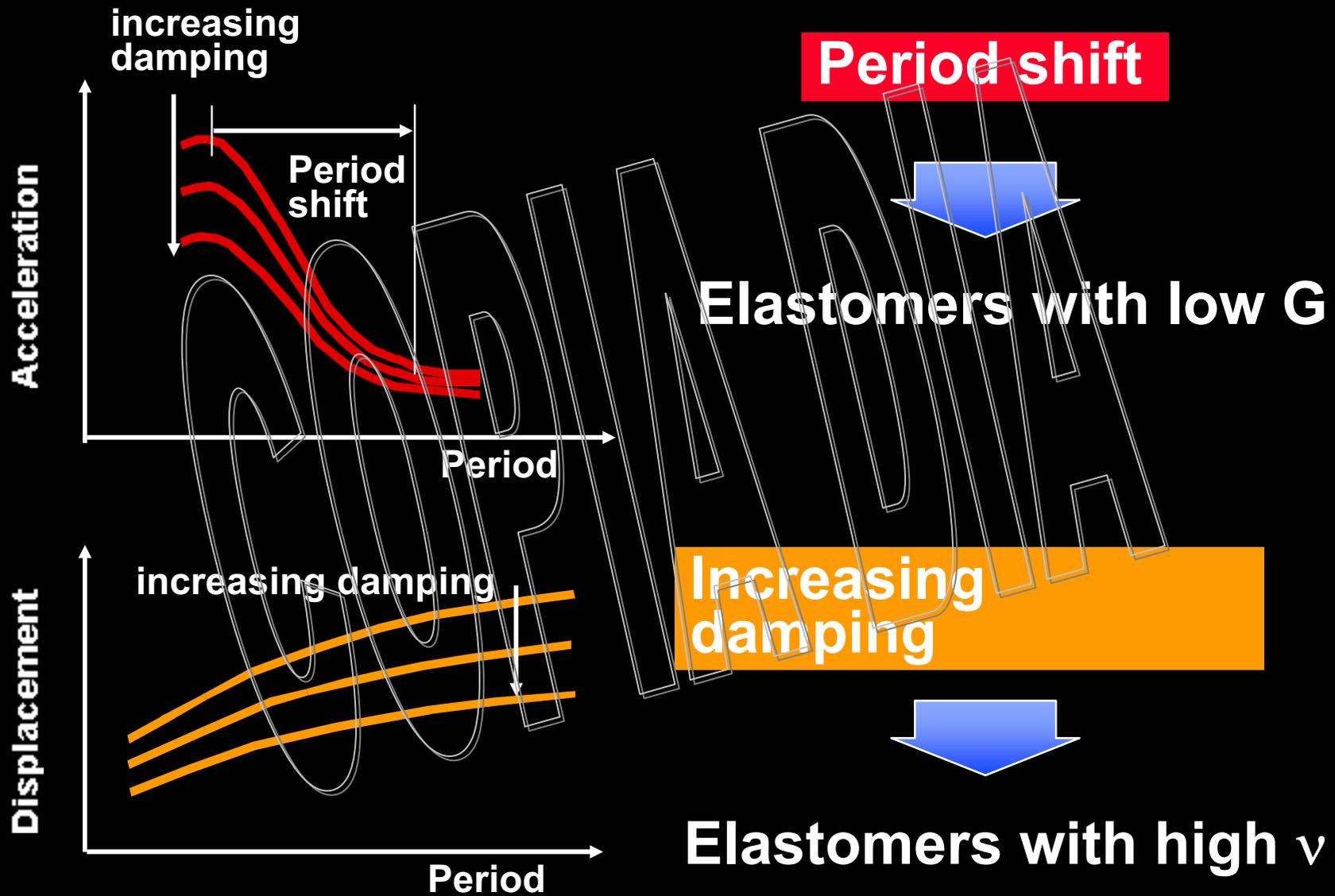


# Caratteristiche degli isolatori: dalle e dalle si spezz' pur o metall



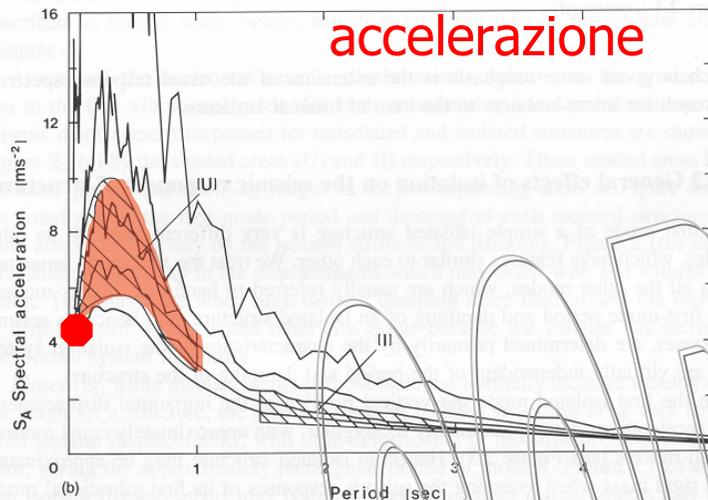
# Caratteristiche degli isolatori

## Concept of seismic isolation



# Progettazione Sismica

## • Il tradizionale approccio nella progettazione sismica

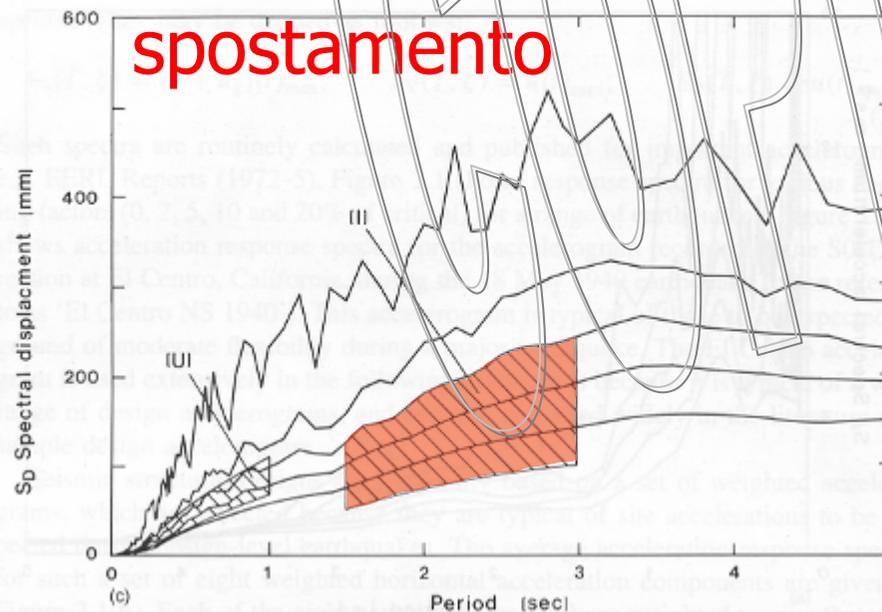
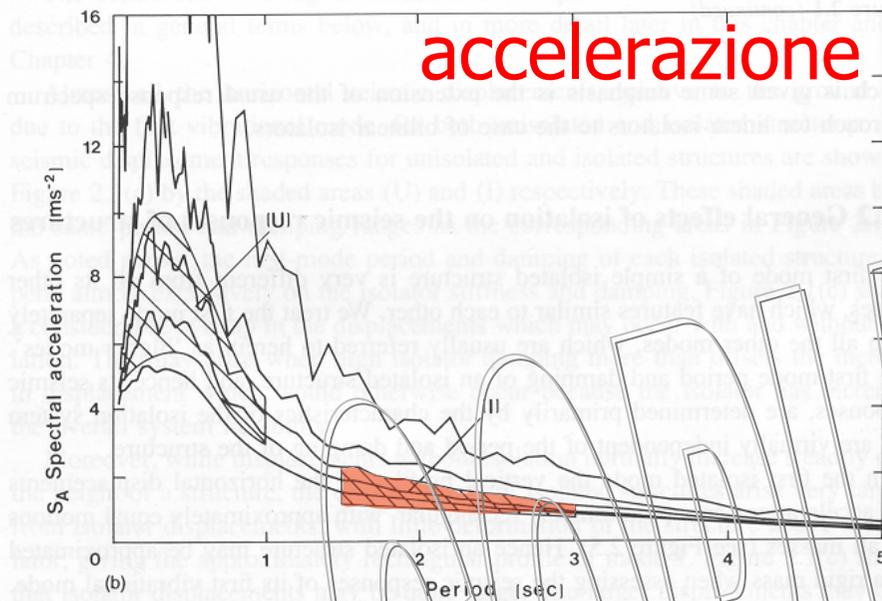


un edificio di piccola-media altezza ha una frequenza di vibrazione fondamentale che ricade nel campo di frequenze in cui generalmente è massimo il contenuto energetico del terremoto.

L'edificio tende ad amplificare le vibrazioni del suolo e presenta accelerazioni e spostamenti che aumentano procedendo dalla base verso i livelli superiori.

Per ridurre tale effetto amplificativo, il sistema strutturale dovrebbe essere estremamente rigido, considerando che al limite, in un edificio infinitamente rigido, l'accelerazione al suolo si trasmette inalterata alla parte in elevazione; questa soluzione risulta insoddisfacente sia per la forte antieconomicità, sia perché l'accelerazione impartita alla sovrastruttura può risultare ancora eccessiva.

# Progettazione Sismica



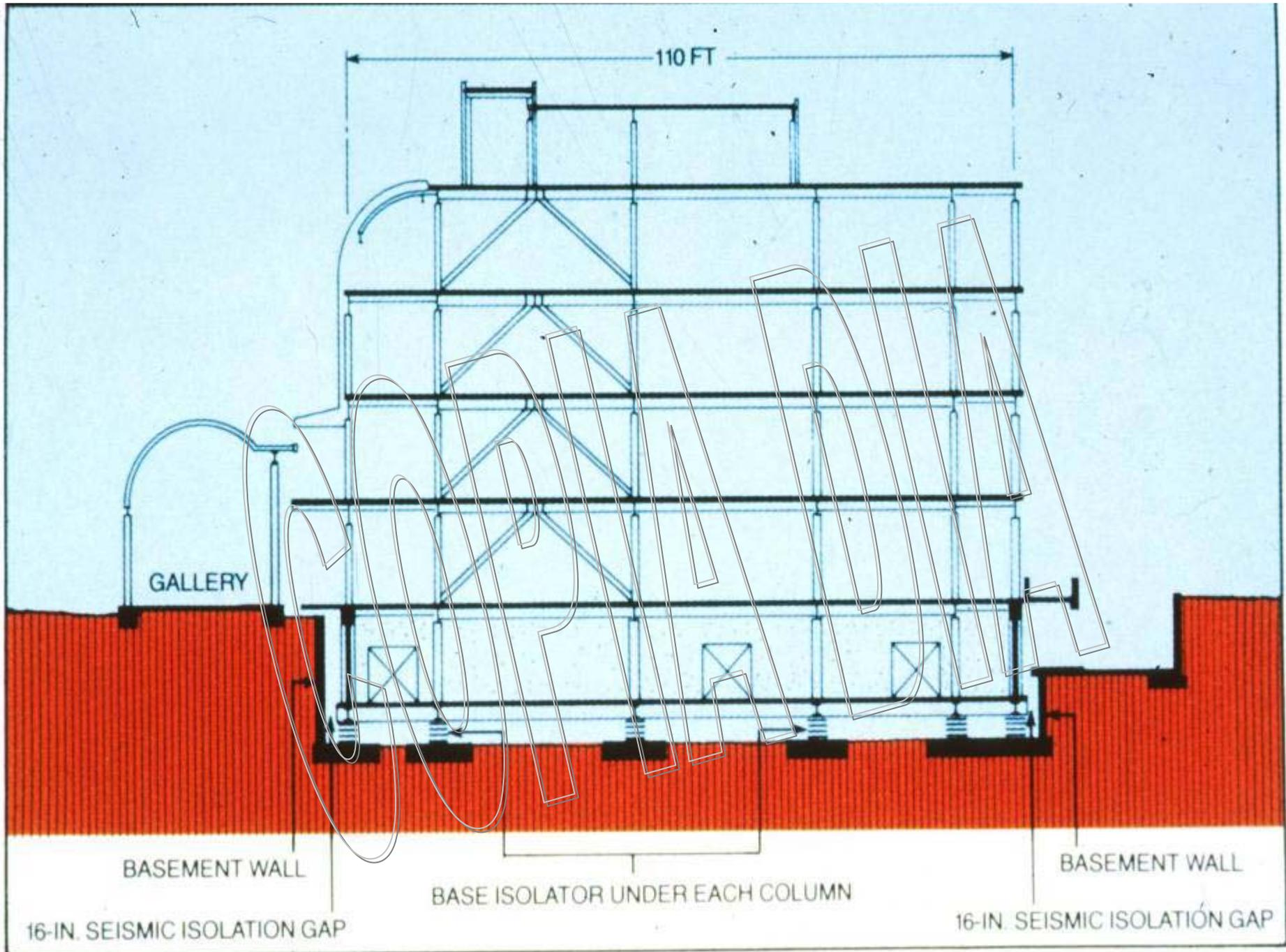
ridurre accelerazioni nell'edificio al di sotto del livello di accelerazione del suolo → periodi alti → struttura estremamente flessibile

deformazioni eccessive

danni ad elementi non strutturali anche in occasione di terremoti di modesta entità o di forte vento.

# Modalita' costruttive: le prime applicazioni





**Gap at base** allows building to move during earthquake, dissipating seismic energy.



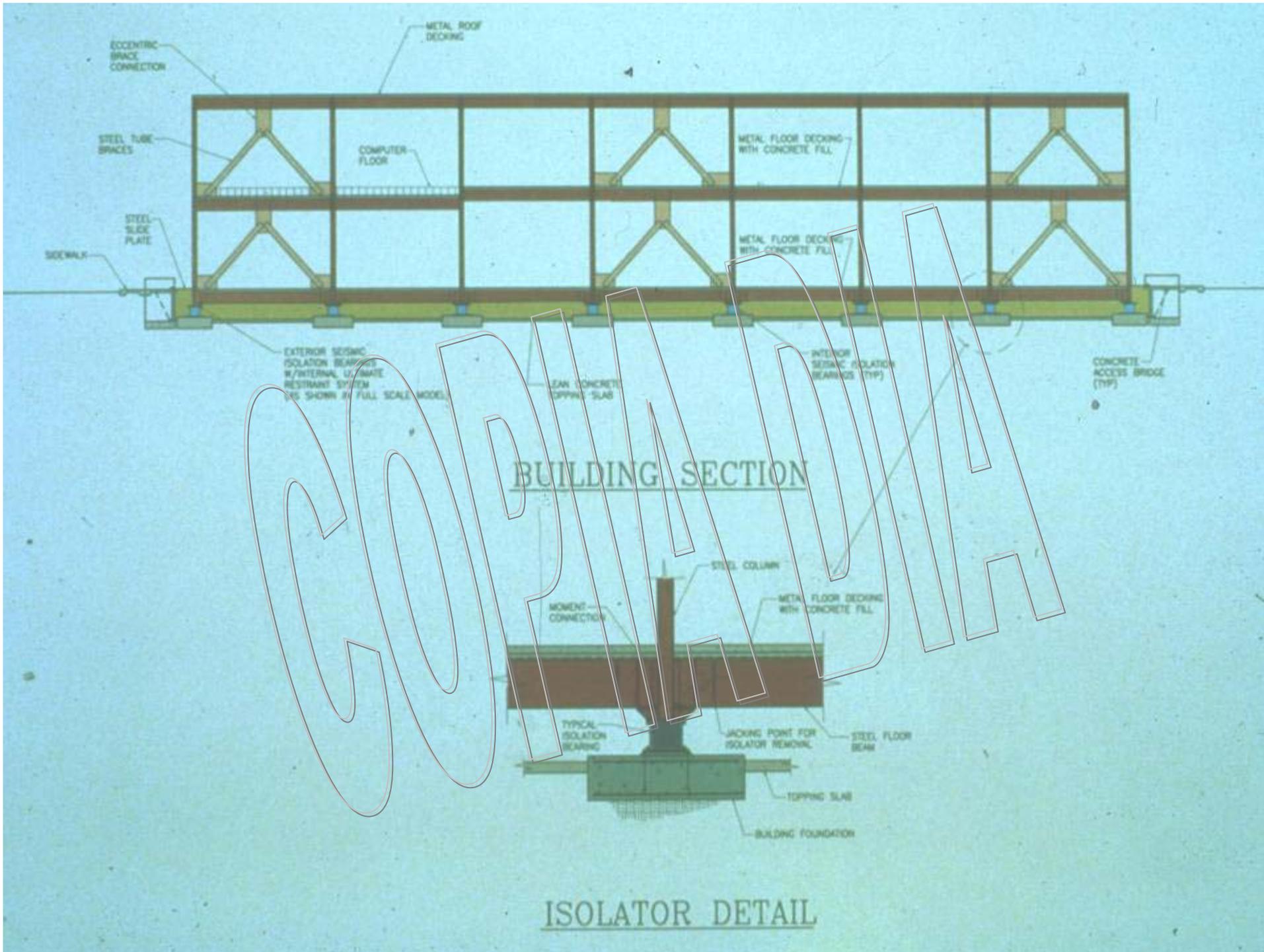


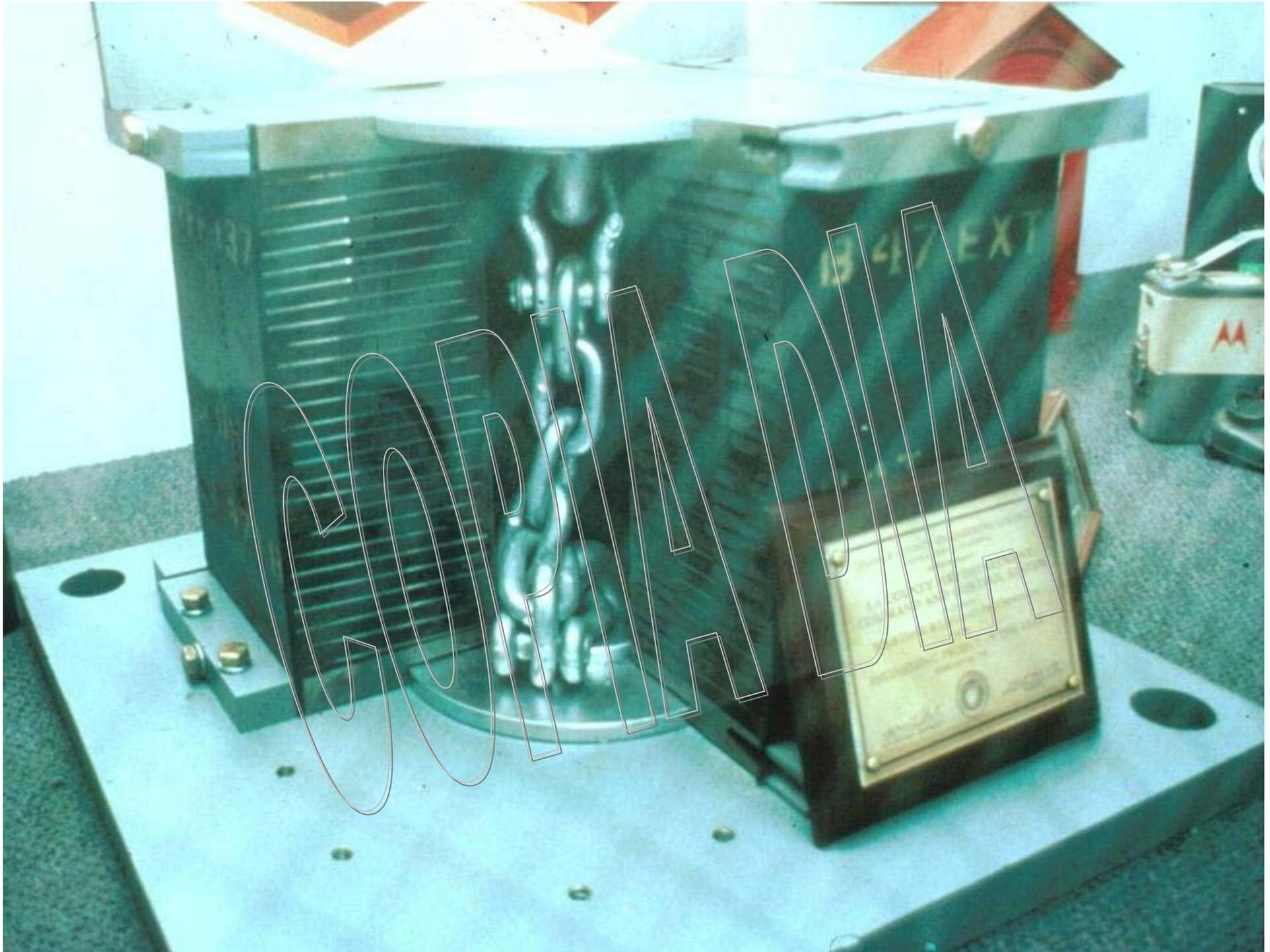
GRANDIA



# CONCRETE







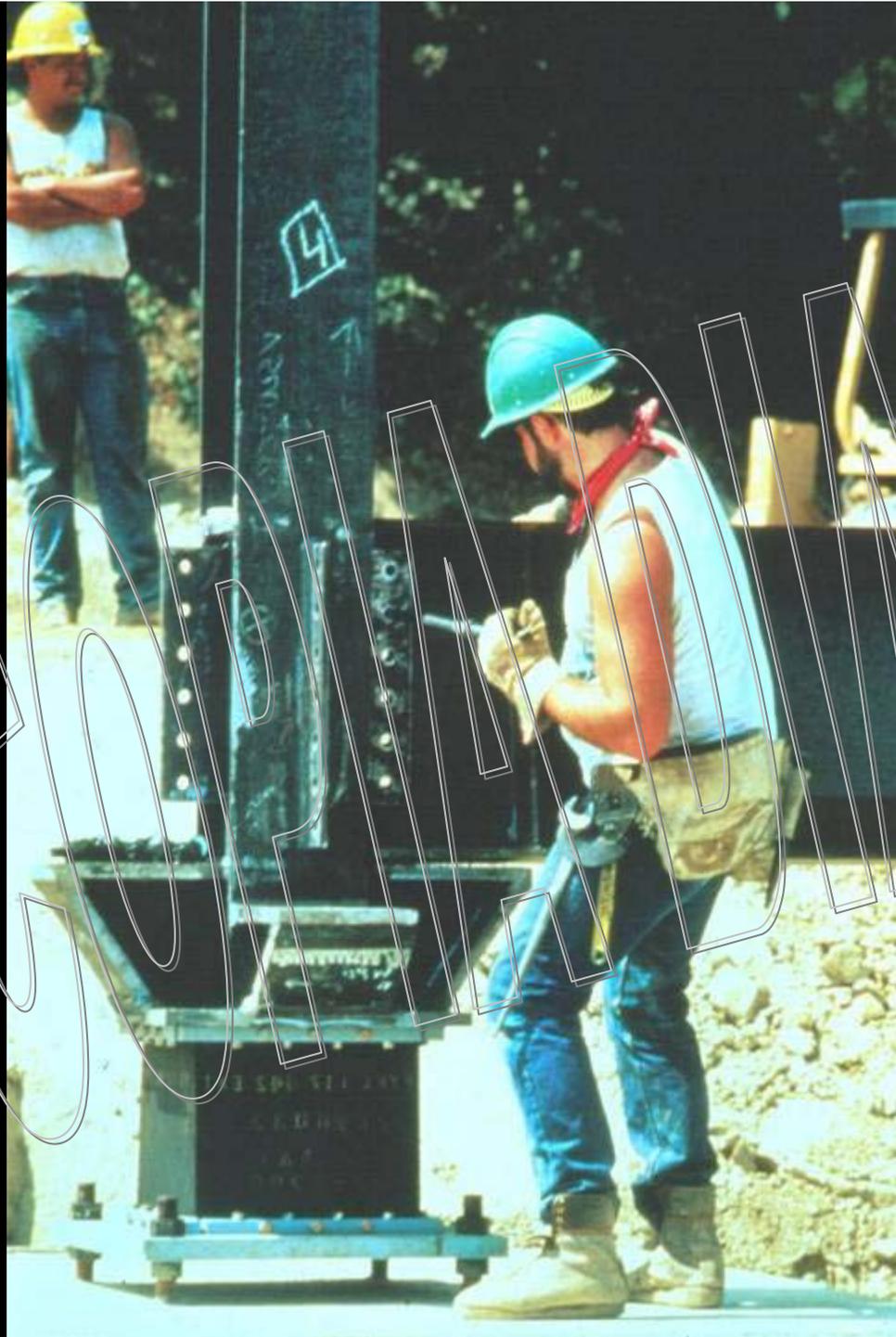


SPRINKLER





OPANDA









# PROGETTO con Isolamento alla Base

## Check list

- 1) Convincere il cliente
- 2) Analisi costi - benefici
- 3) Analisi dei costi
- 4) Disporre di normative
- 5) Richiedere permessi
- 6) Fare le cose per bene
- 7) Progettare (semplice)
- 6) Eseguire (semplice)

OK

PROPIANNA

# PROGETTO GENERALE

1) Verificare terreni

2) Strutture in elevazione: Progetto

( possibilmente rigida: controventata e' più economica)

3) Interazione con l'architetto

(Giunti/Controventi/Cantinato)

4) Progetto Strutturale

5) Esecuzione corretta (giunti)

6) Collaudo

COPYRIGHT

# PROGETTO STRUTTURALE

## 1) Scelta del periodo di isolamento

2.5 secondi almeno tre volte periodo fisso

## 2) Progetto isolatori

Verticale  $\Rightarrow$  Area

30 Kg/cm<sup>2</sup>  $\Rightarrow$  100 Kg/cm<sup>2</sup>

Orizzontale  $\Rightarrow T = 2\pi (K/m)^{1/2}$

m= massa;

K= rigidezza

G A /h

## 3) Progetto elementi di dettaglio

Snellezza globale (ribaltamento)  $H/L < 1 / 3$

Snellezza locale Spessore gomma / altezza singolo strato

# PROGETTO STRUTTURALE

## 1) Progetto struttura in elevazione

Taglio filtrato =  $K \times d$

Importanza progetto secondo spostamento

## 2) Modellazione

Semplice:

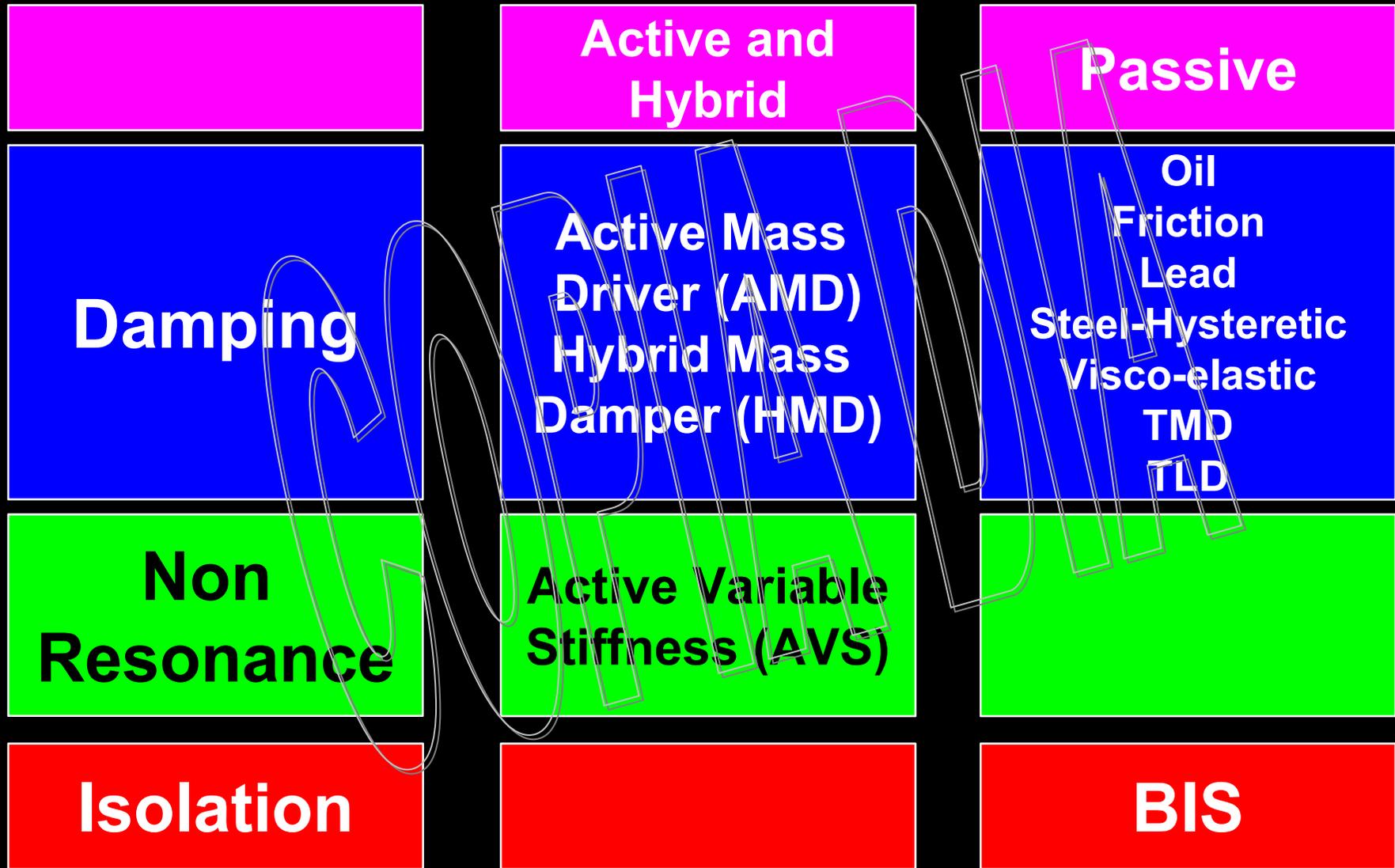
Spettro elastico senza riduzione !

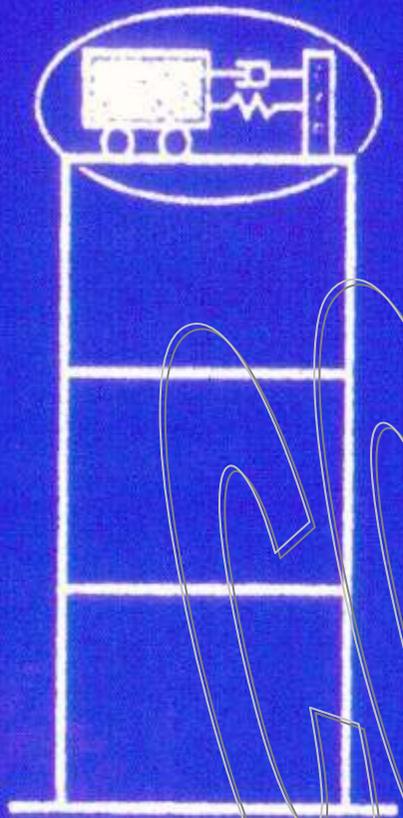
Spettro modificato al periodo di isolamento per tenere conto dello smorzamento (segue analisi modale)

Modellazione più raffinata:

Modello completo con molle al piede e smorzatori al piede

# Classification of Response Control Systems

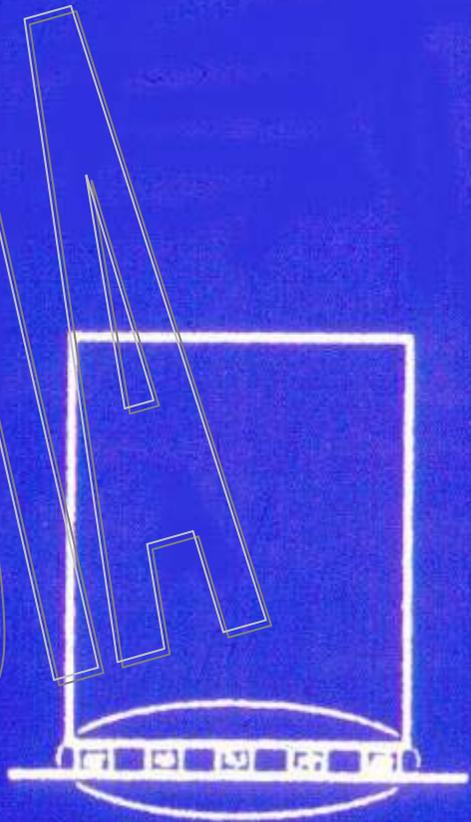




Tuned Mass Damper



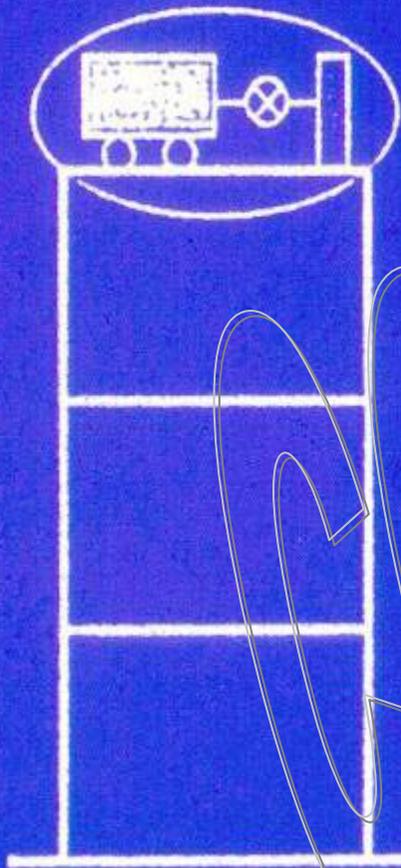
Sloshing Damper



Base Isolation

SPRINGER

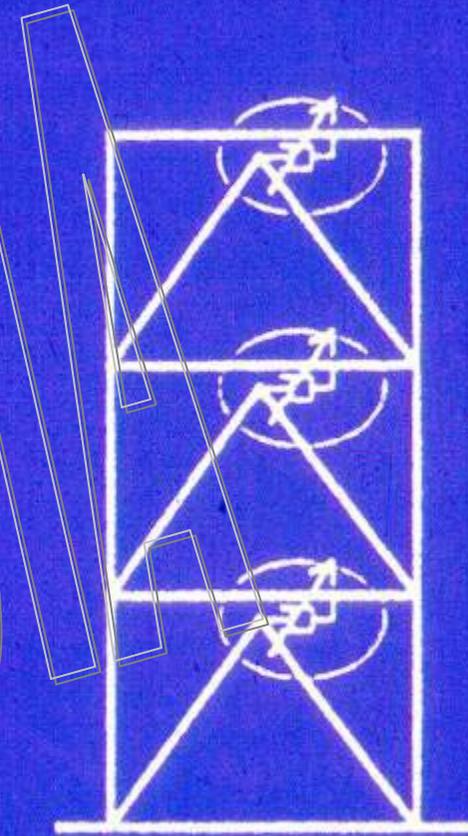
Passive Control



Active Mass Damper

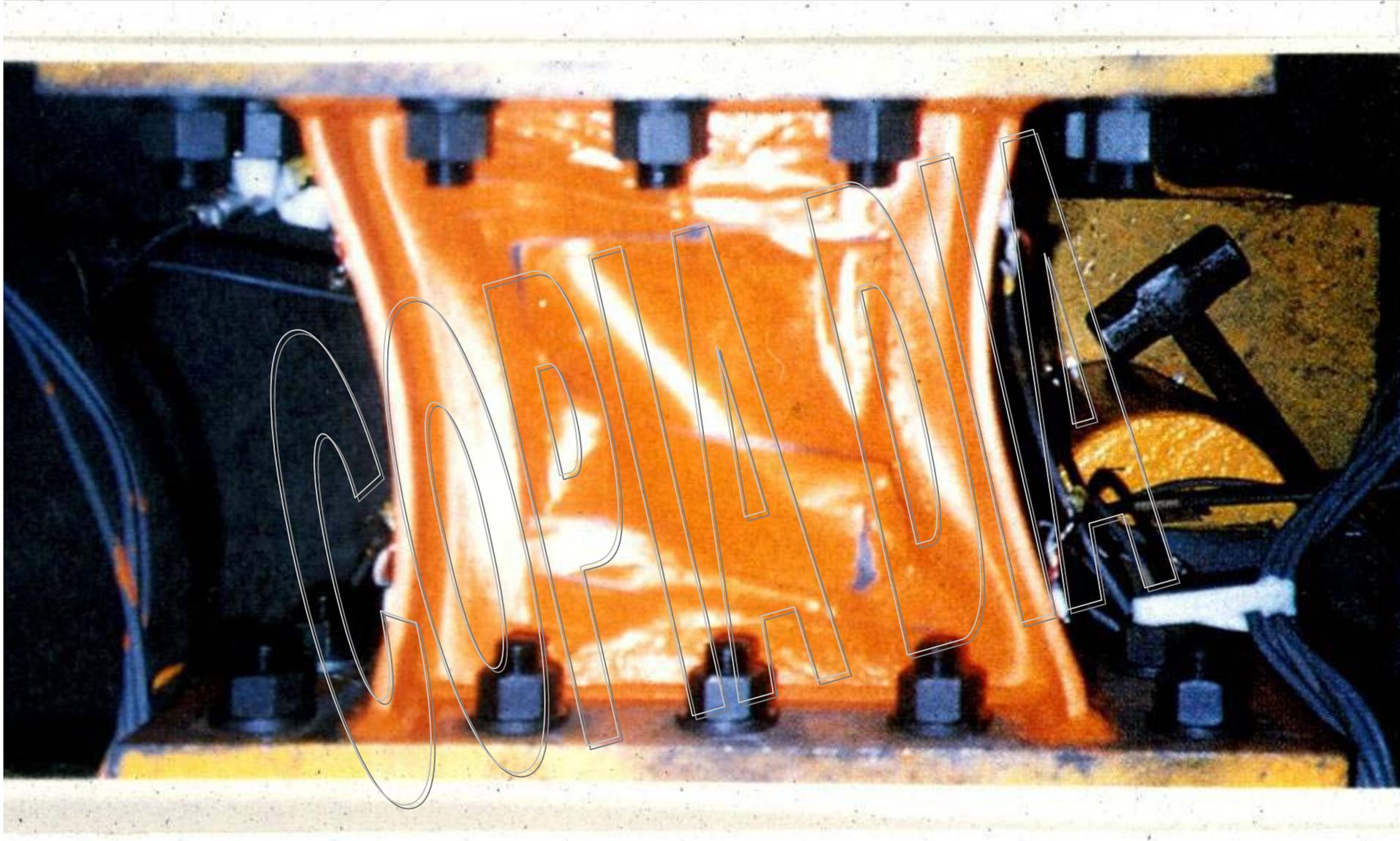


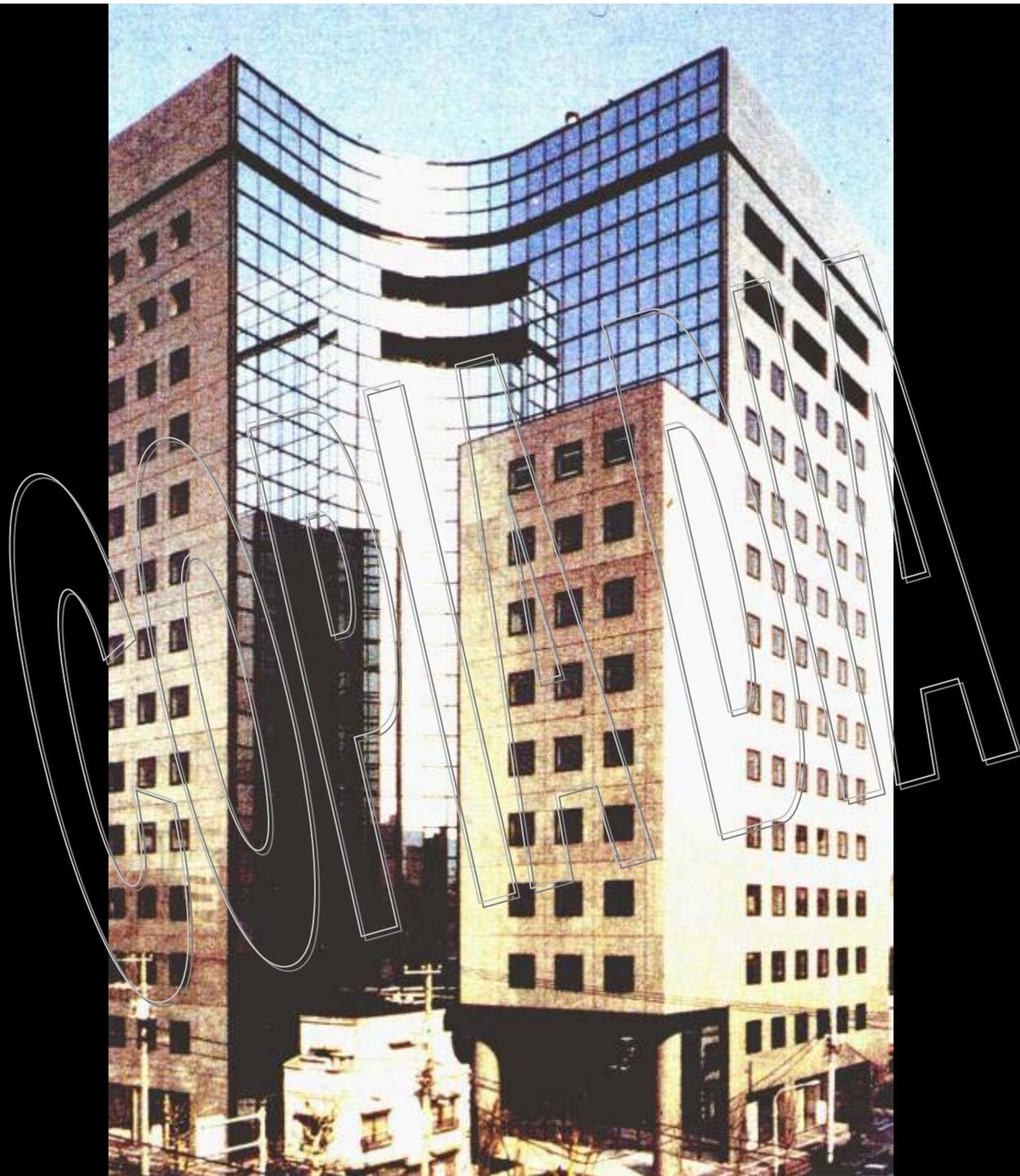
Hybrid Mass Damper

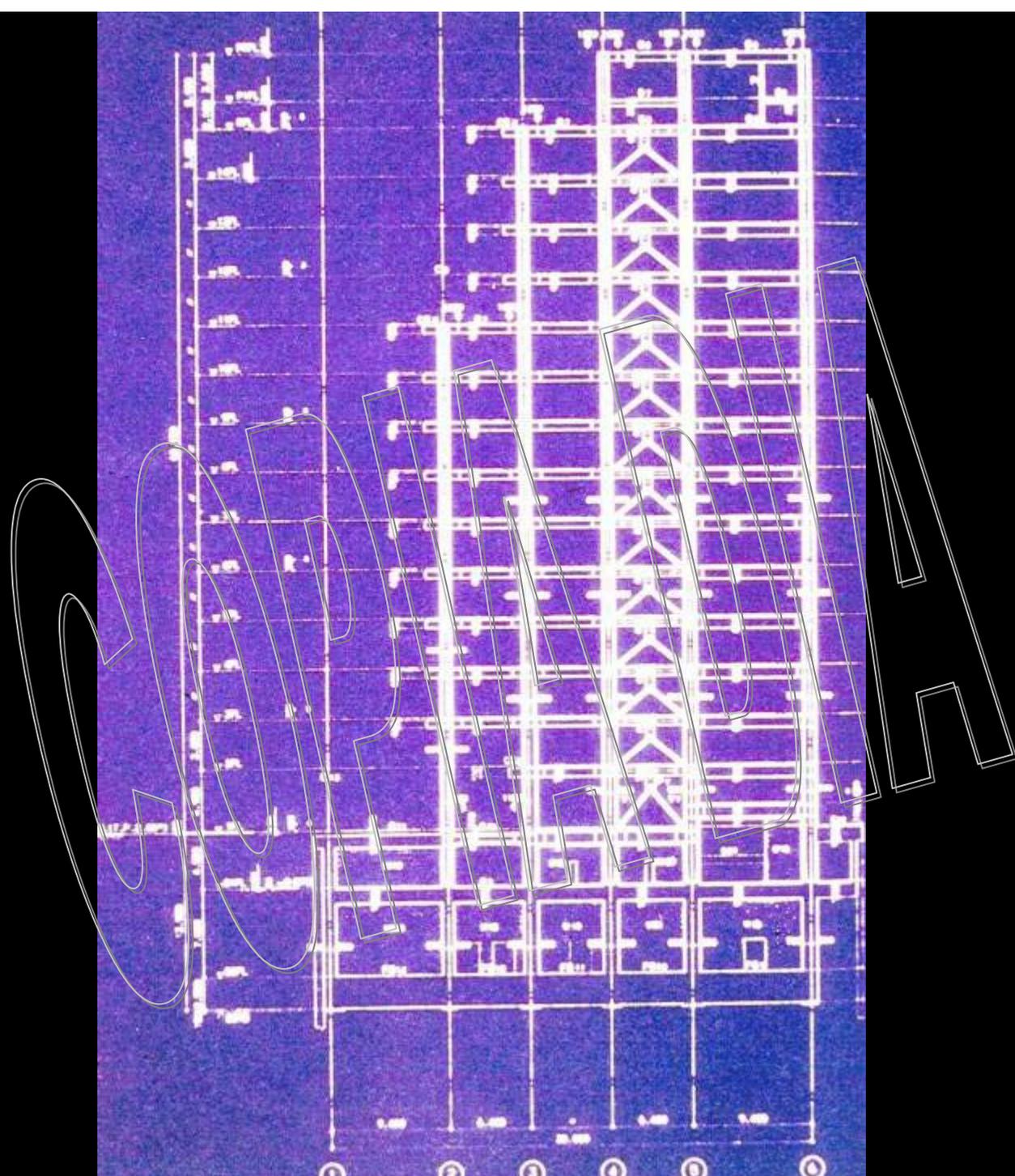


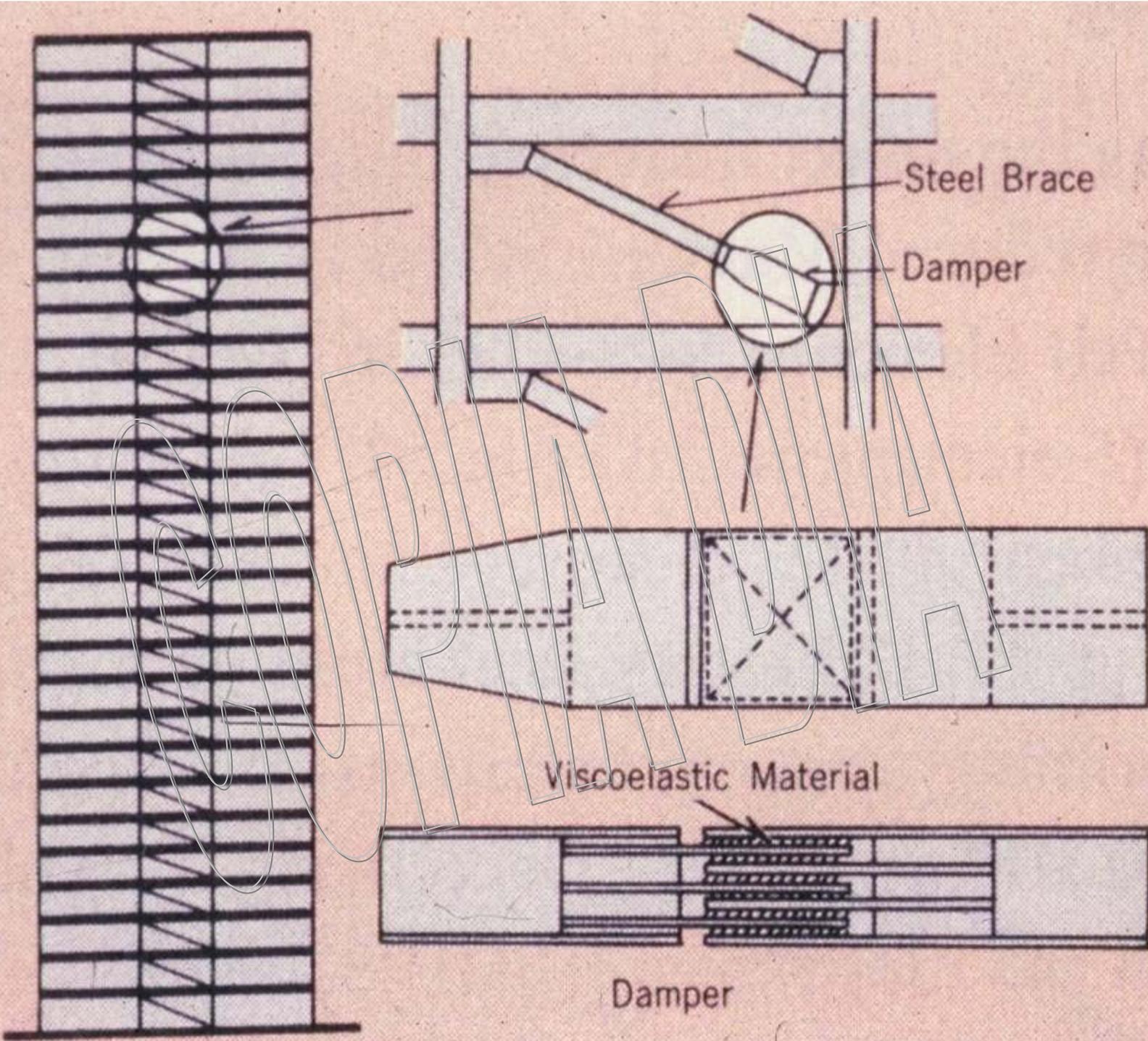
Active Variable Stiffness

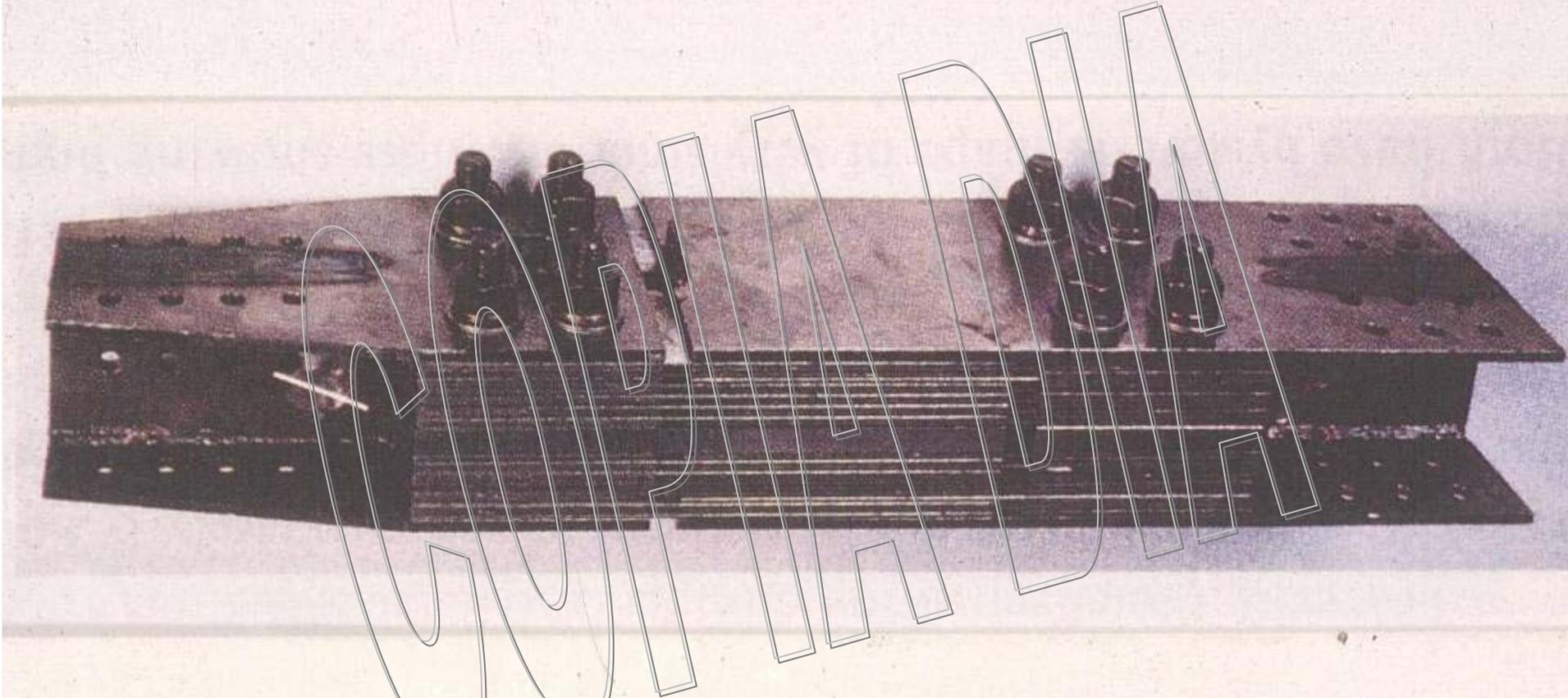
Active and Hybrid Control

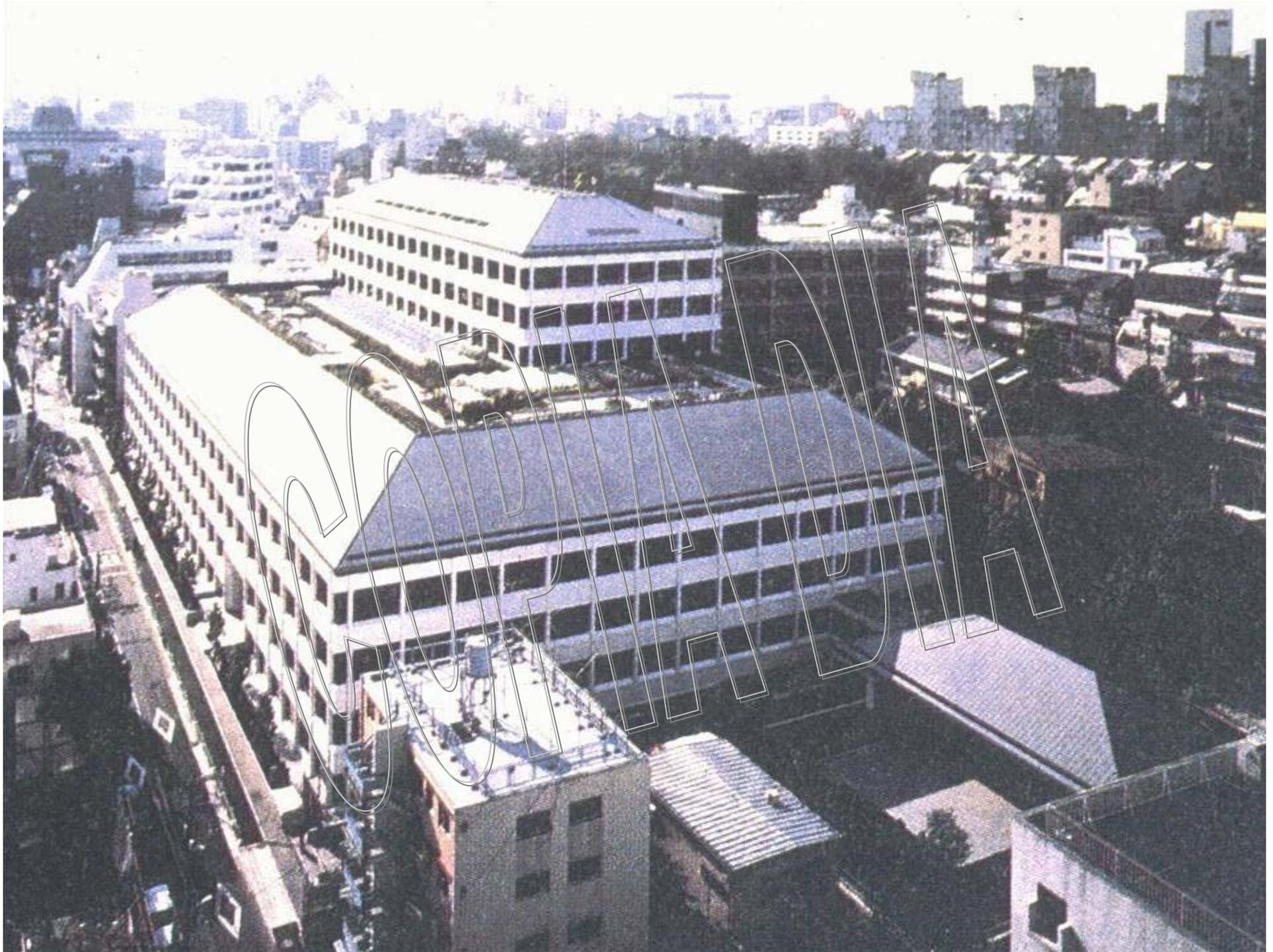


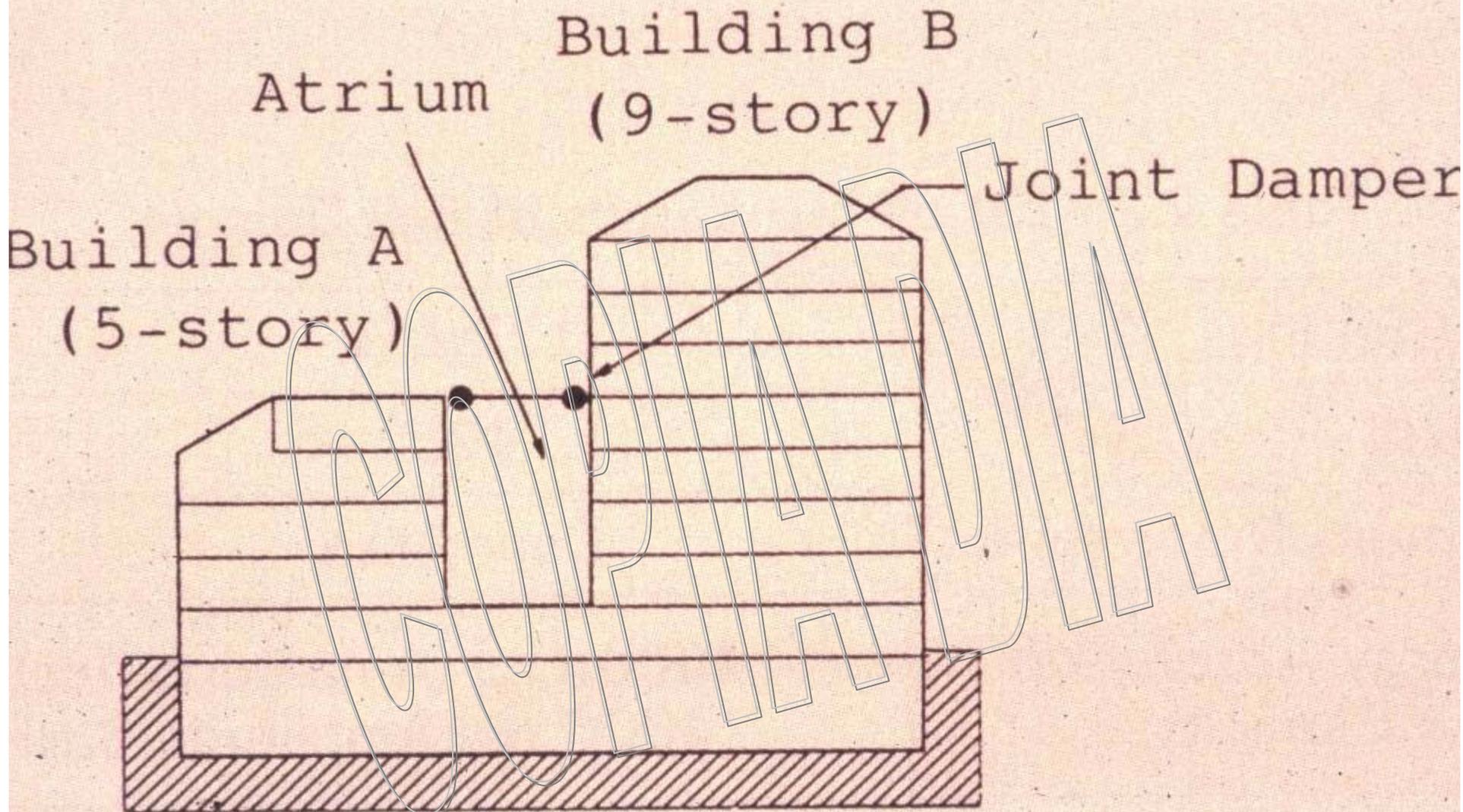






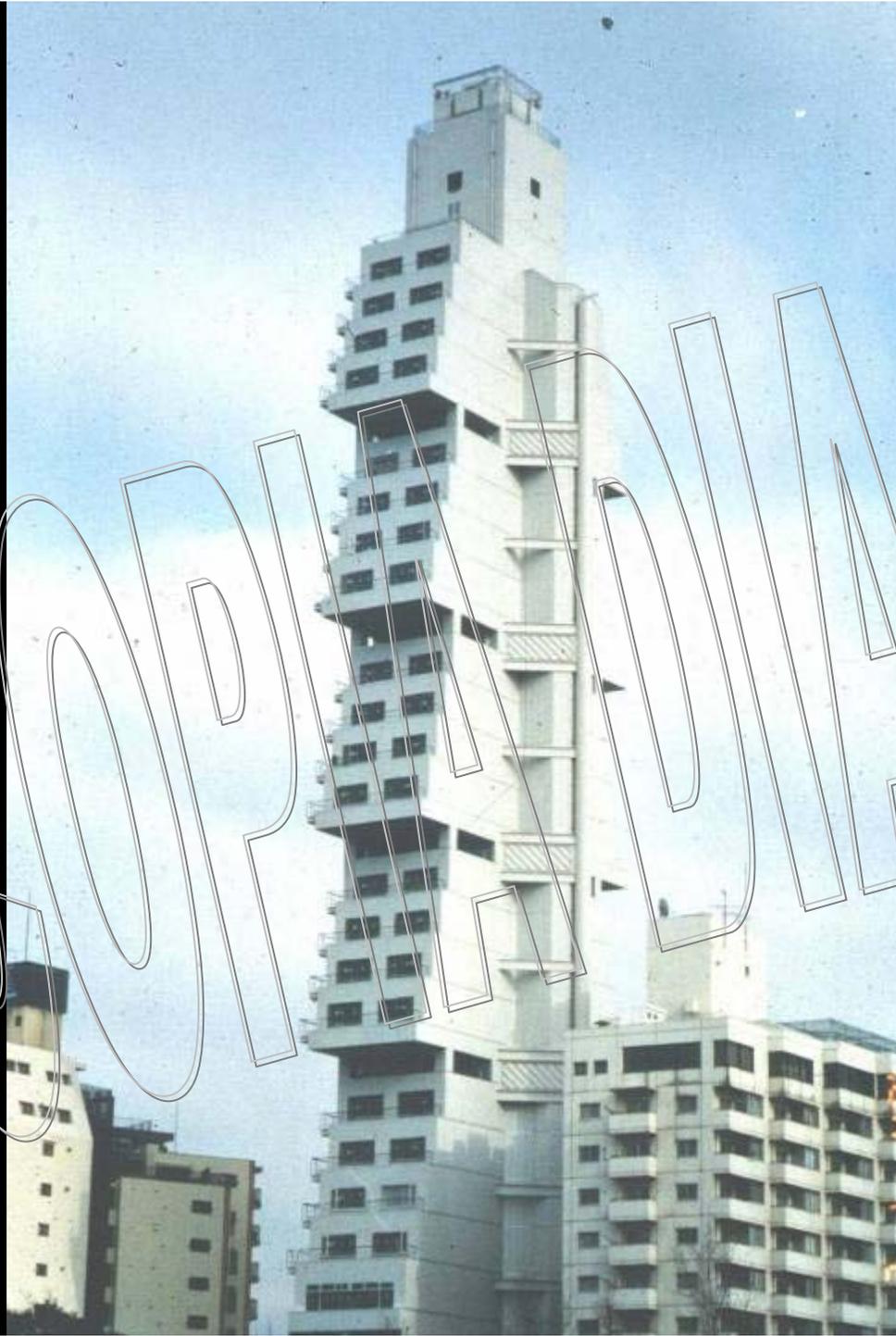


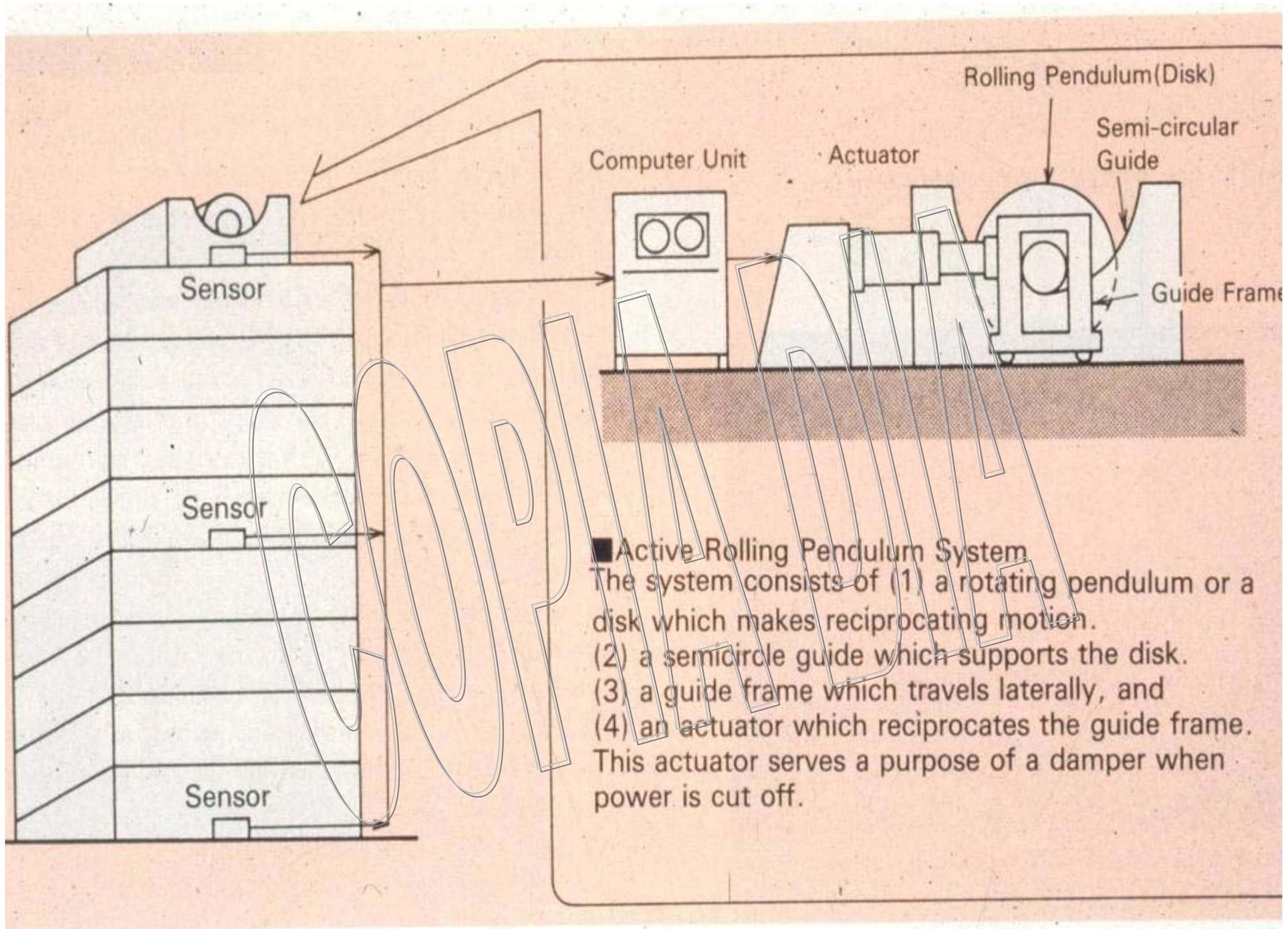


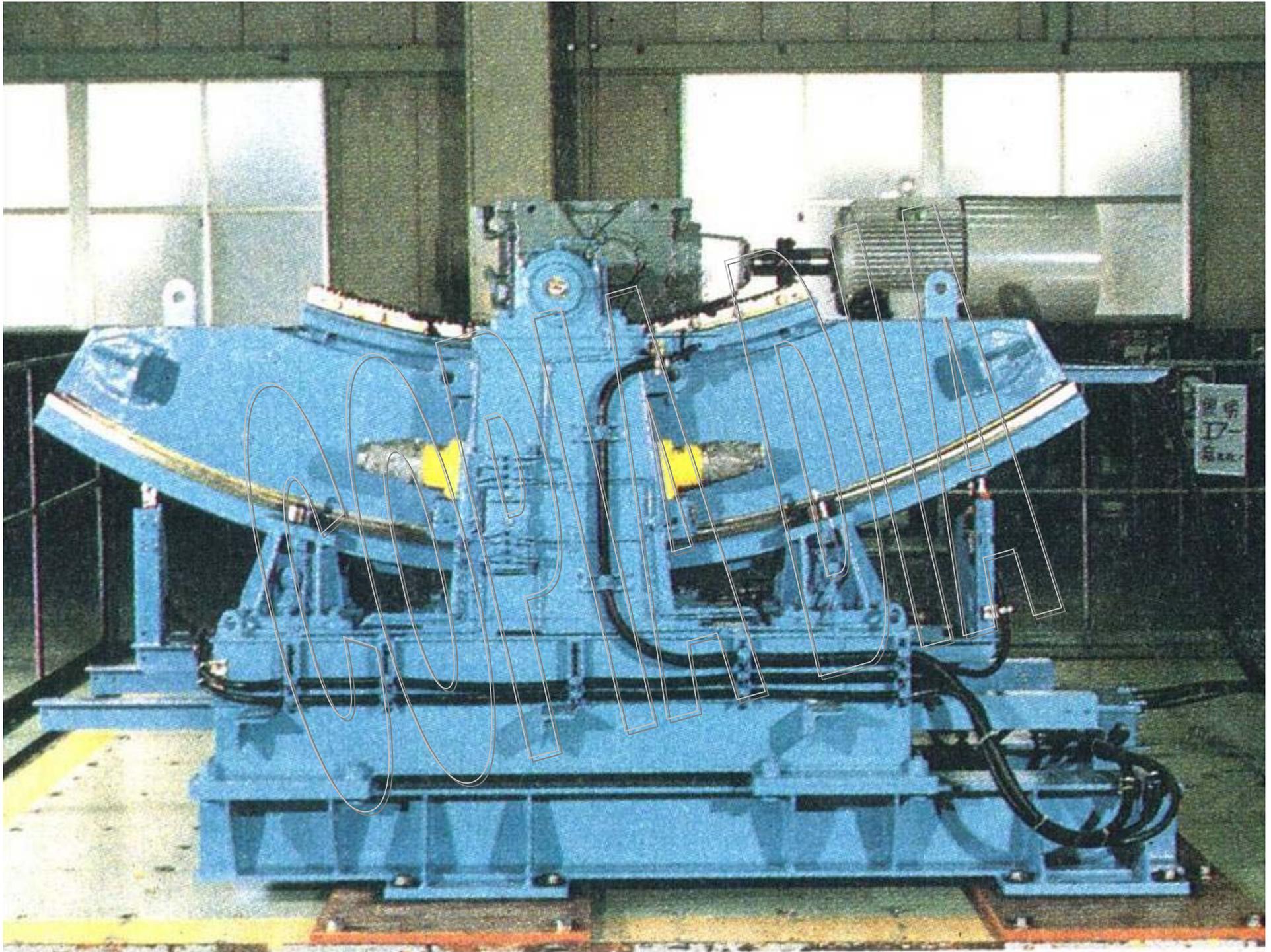


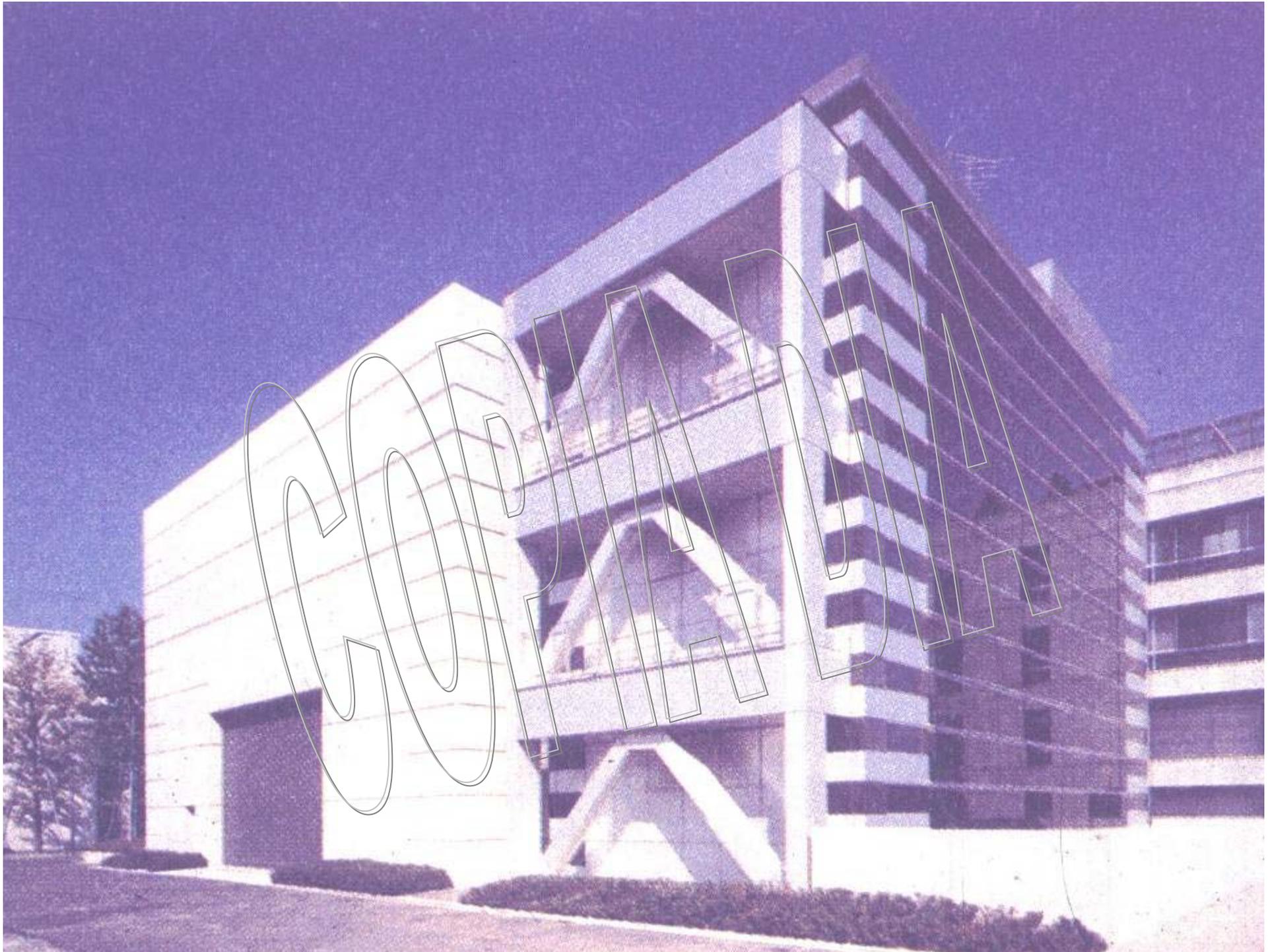


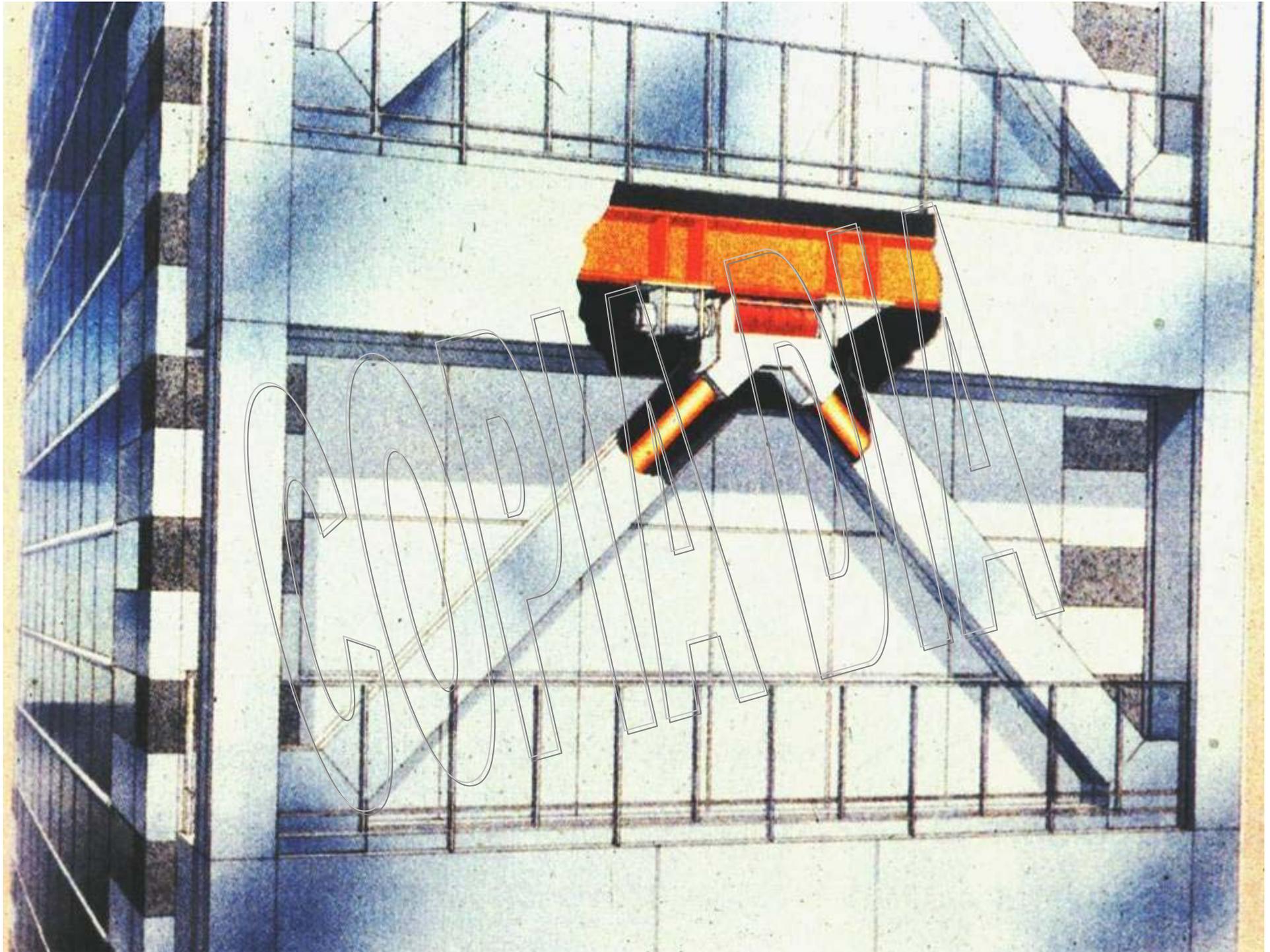
SPAINA

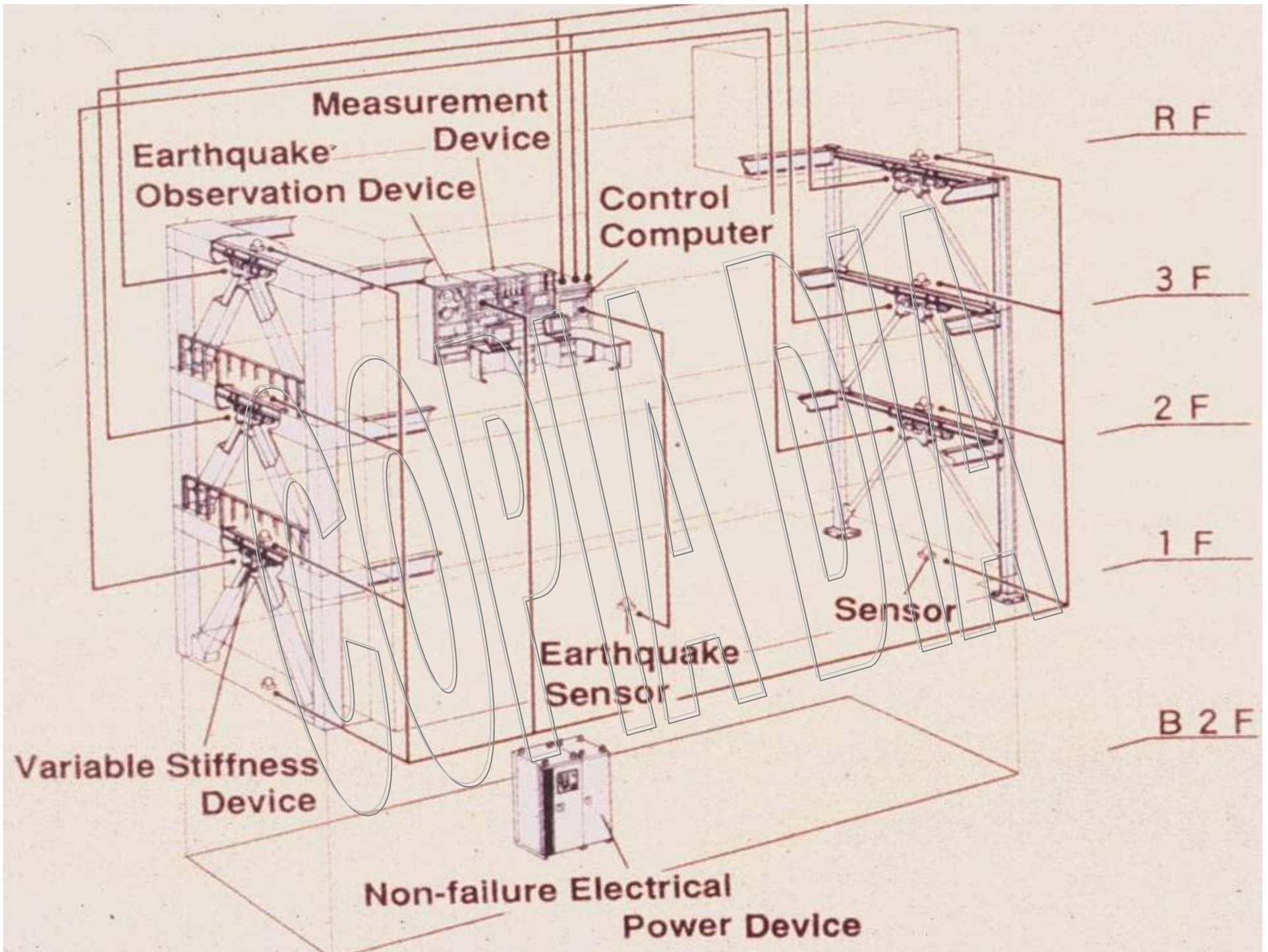




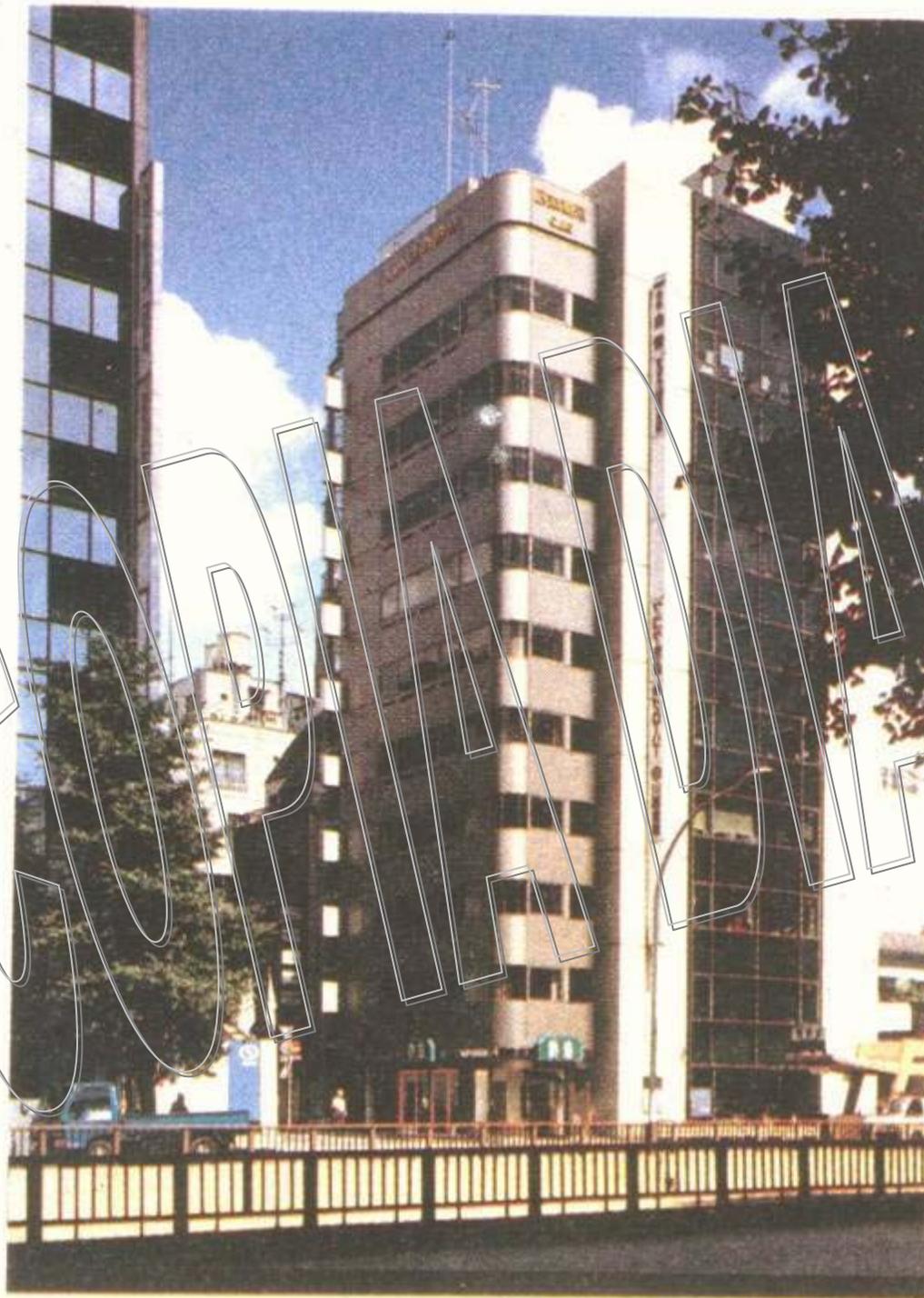


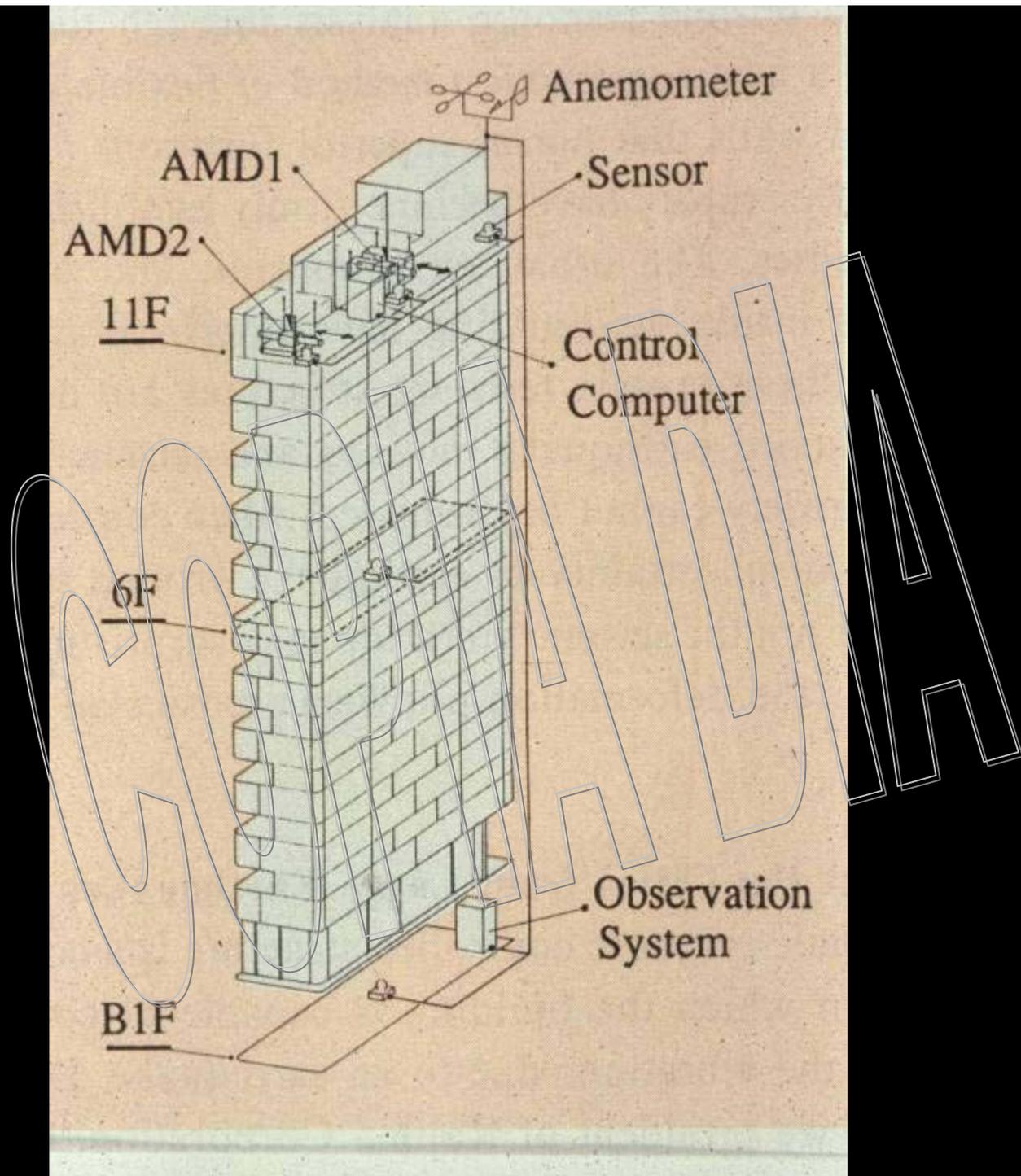




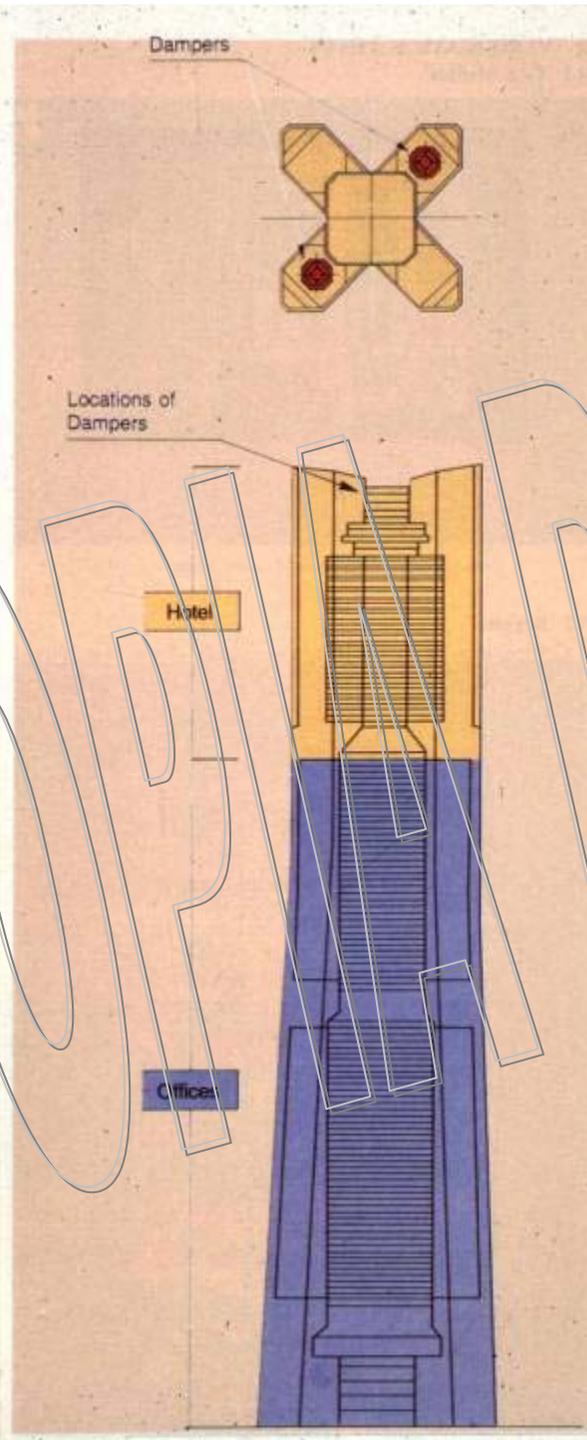


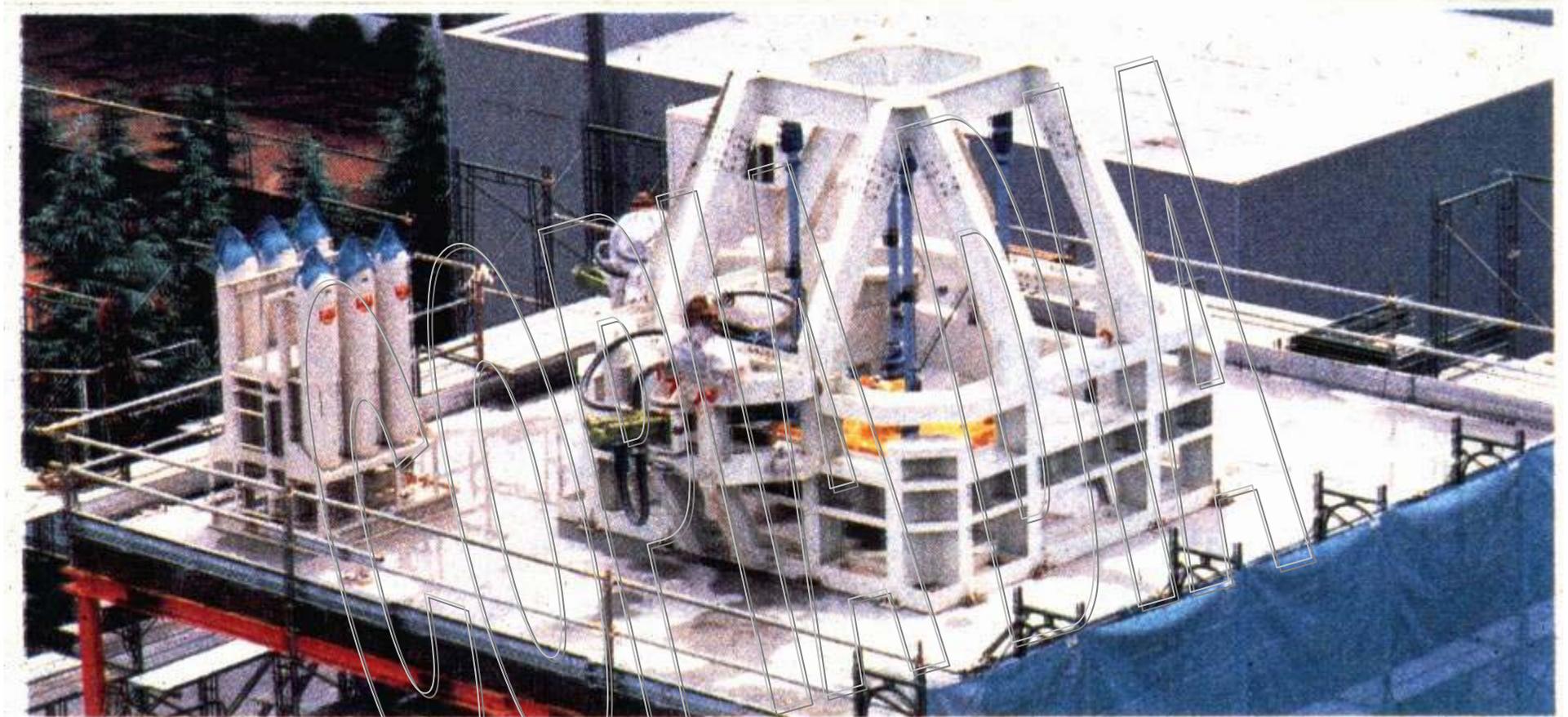
SONAMA



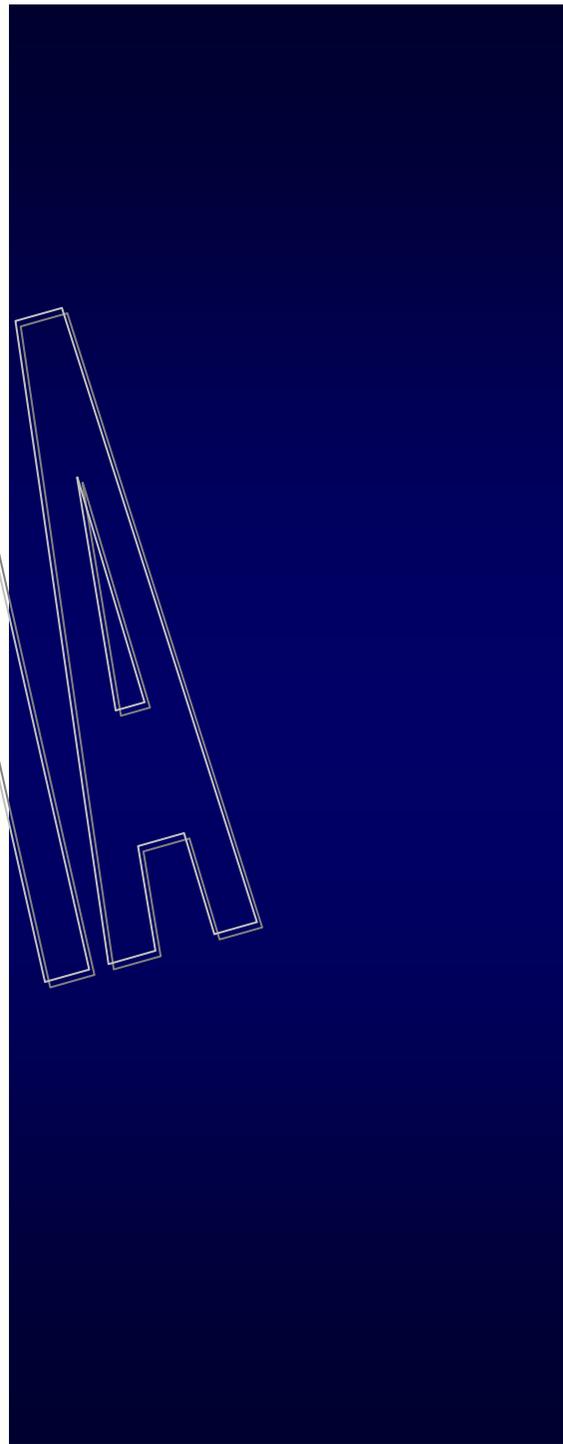
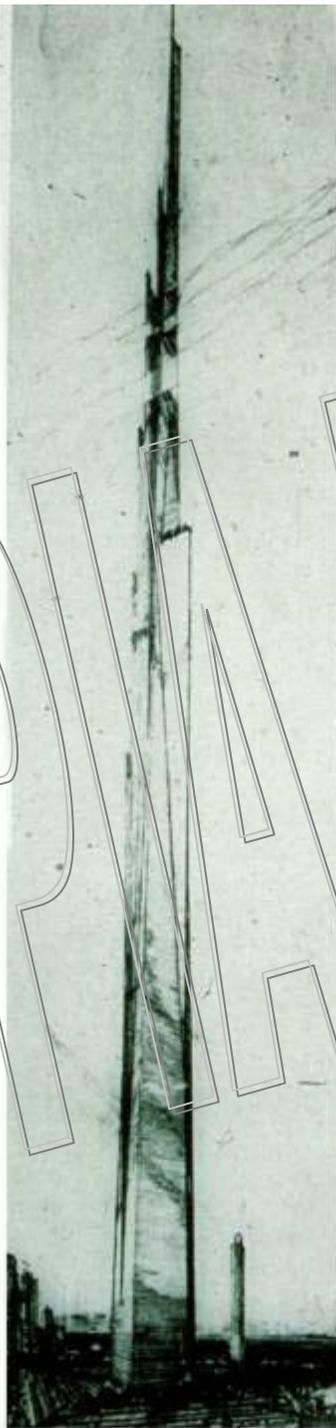


# CRANNA

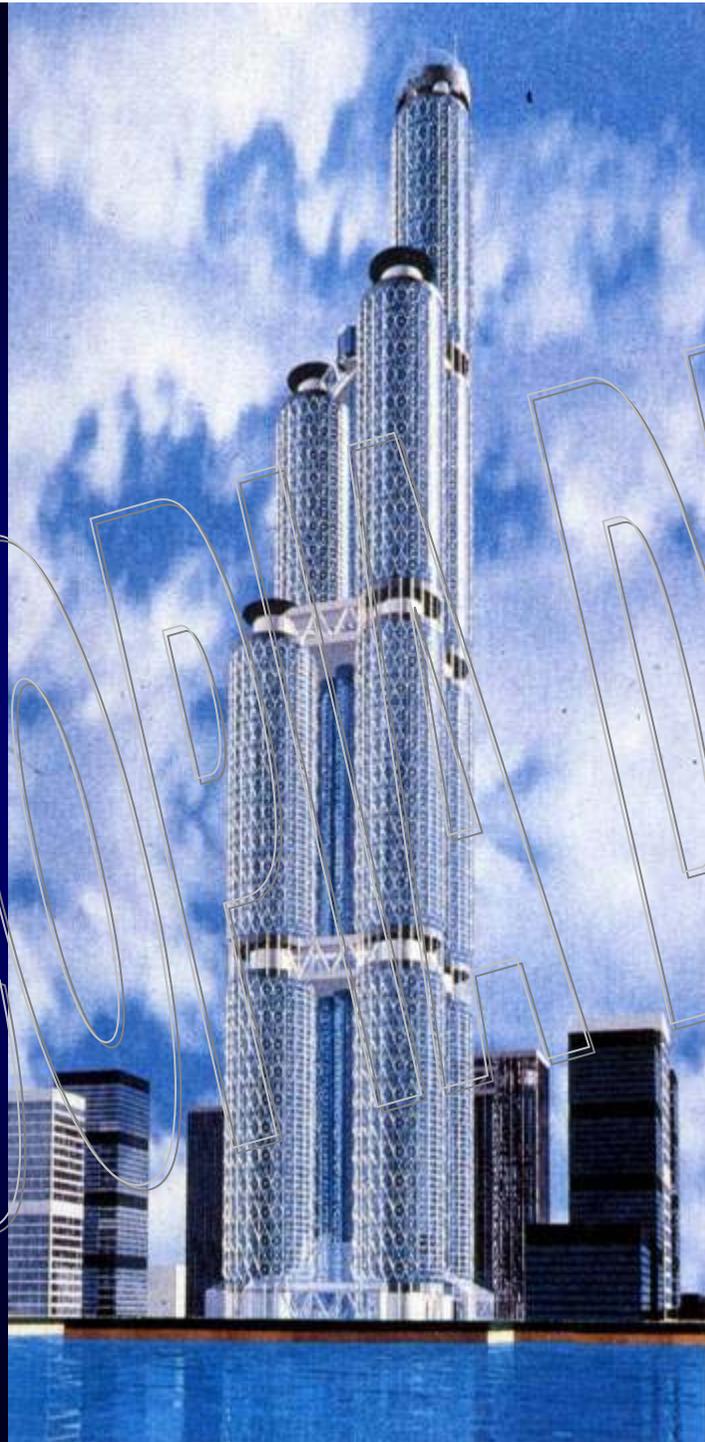




COGNAC



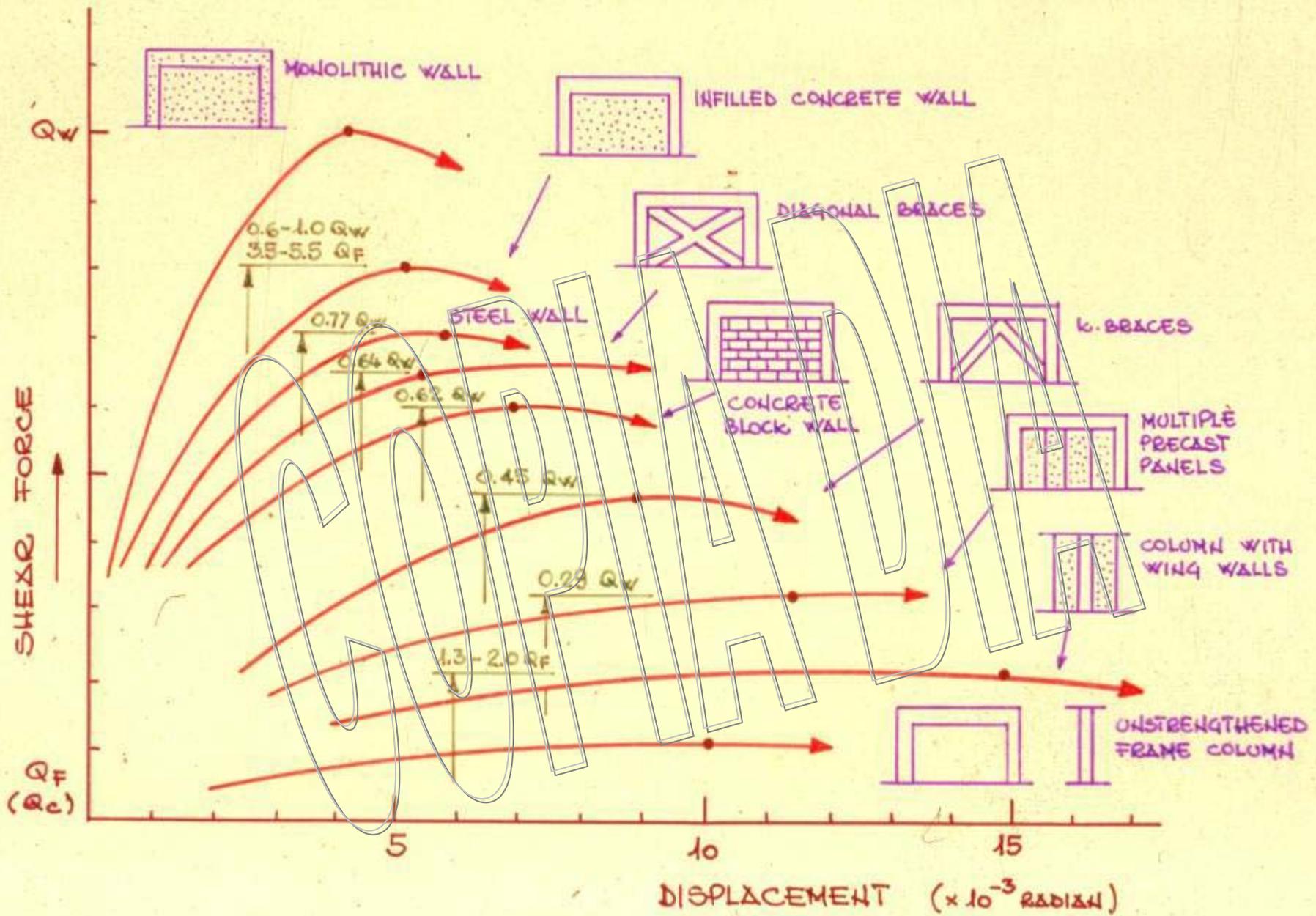
# COMING A



# Edifici isolati \_ Antonello De Luca

Quarta parte:

L'isolamento sismico nel restauro e  
nell'adeguamento sismico



# STRUTTURE IN MURATURA

SCOPO DELL' INTERVENTO

TECNICA DI RINFORZO

ELEMENTI DI RINFORZO

AUMENTO DI RESISTENZA I

FUORI DEL PIANO

TIRANTATURE

- catene  
- cavi pretesi

COLLEGAMENTI

- elementi chiodati  
- iniezioni armate

BONIFICA

- iniezioni

NEL PIANO

INTEGRAZIONE

- lastre armate

SOSTITUZIONE PARZIALE

- cucì-scucì

GLOBALE

IRRIGIDIMENTO ORIZZONTALE + PRECEDENTI TECNICHE

- rinforzo o sostituzione di solai

**Table C9-3 Summary of US Seismic Isolation Rehabilitation Projects**

Building/Project Information			Structural Information		
Name (Location)	Status	Size in Sq. Ft.	Isolation System	Original Structure	New Structure
Salt Lake City and County Building (Salt Lake City, UT)	Complete (1988)	170,000	447 Isolators (208 LRB + 239 RB + PTFE)	1894 5-story URM bearing wall w/clock tower (240' total height)	Steel braced frame (clock tower only)
Rockwell Building (Seal Beach, CA)	Complete (1991)	300,000	78+ Isolators (52 LRB + 26 RB + PTFE)	1967 8-story RC moment frame	RC moment frame at perimeter, floors 1-6
Hawley Apartments (San Francisco, CA)	Complete (1991)	20,000	31 Isolators (FPS)	1920 4-story wood bearing wall	Steel moment frame at first floor
Mackay School of Mines (Reno, NV)	Complete (1993)	50,000	106 Isolators (64 HDR + 42 PTFE)	1908 3-story URM bearing wall	Floor ties/wall anchors (new basement)
Campbell Hall, Western Oregon State College (Monmouth, OR)	Complete (1994)		42+ Isolators (26 LRB + 16 RB + PTFE)	1872-1898 3-story URM bearing wall	
Oakland City Hall (Oakland, CA)	Complete (1995)	153,000	126 Isolators (42 LRB + 69 RB + 15 PTFE)	1914 18-story steel frame/URM in-fill w/clock tower (324' total height)	RC shear walls at cores, steel braced frame at clock tower
U.S. Court of Appeals (San Francisco, CA)	Complete (1995)	350,000	256 Isolators (FPS)	1905 4-story steel frame/URM in-fill with 1933 addition	RC shear walls
Long Beach Veterans Admin. Hospital (Long Beach, CA)	Complete (1995)	350,000	156 Isolators (110 LRB + 18 RB + 30 PTFE)	1967 12-story RC perforated shear wall	Basement columns strengthened
Building S-12 Hughes (El Segundo, CA)	Complete (1995)	240,000	45+ Isolators (24 LRB + 21 RB + PTFE)	1960s 12-story RC shear wall/frame building	First floor and substructure strengthened
Kerckhoff Hall, Univ. of California, Los Angeles (Westwood, CA)	Complete (1996)	92,000	126+ Isolators (33 LRB + 93 RB + PTFE)	6-story RC and brick wall structure	First floor and substructure strengthened
San Francisco City Hall (San Francisco, CA)	Complete (1997)	500,000	591 Isolators (530 LRB + 61 PTFE)	1912 5-story steel frame/URM in-fill with dome (~300' total height)	Steel braced frame in dome and RC shear walls at lower floors

LRB: Lead-rubber bearing isolators

RB: Rubber bearing isolators

PTFE: Sliding polytetra fluoroeethylene isolators

FPS: Friction pendulum system isolators

HDR: High damping rubber bearing isolators

# BIS: BETTER FOR RESTORATION OR FOR NEW CONSTRUCTION ?

## ❖ ADVANTAGES

- Reduction of forces
- Preservation of architectural features
- Minimum damage to non structural elements
- Cost effectiveness
- Higher level of safety

## ❖ PROBLEMS

- Details
- Load transferring system

**BIS IS NOT A PANACEA**

Restoration = interaction between different retrofit procedures

# NEW LATERAL FORCE RESISTING SYSTEMS IN ELEVATION

## ❖ SALT LAKE CITY & COUNTY BUILDING

- Steel trusses in the clock tower
- Floor system (improvement)

## ❖ OAKLAND CITY HALL

- Steel trusses in the clock tower
- Transfer truss above isolators
- Base grid above isolators

## ❖ SAN FRANCISCO CITY HALL

- Steel trusses
- Shear walls

## ❖ LOS ANGELES CITY HALL

- Huge Steel structures

# Level of safety

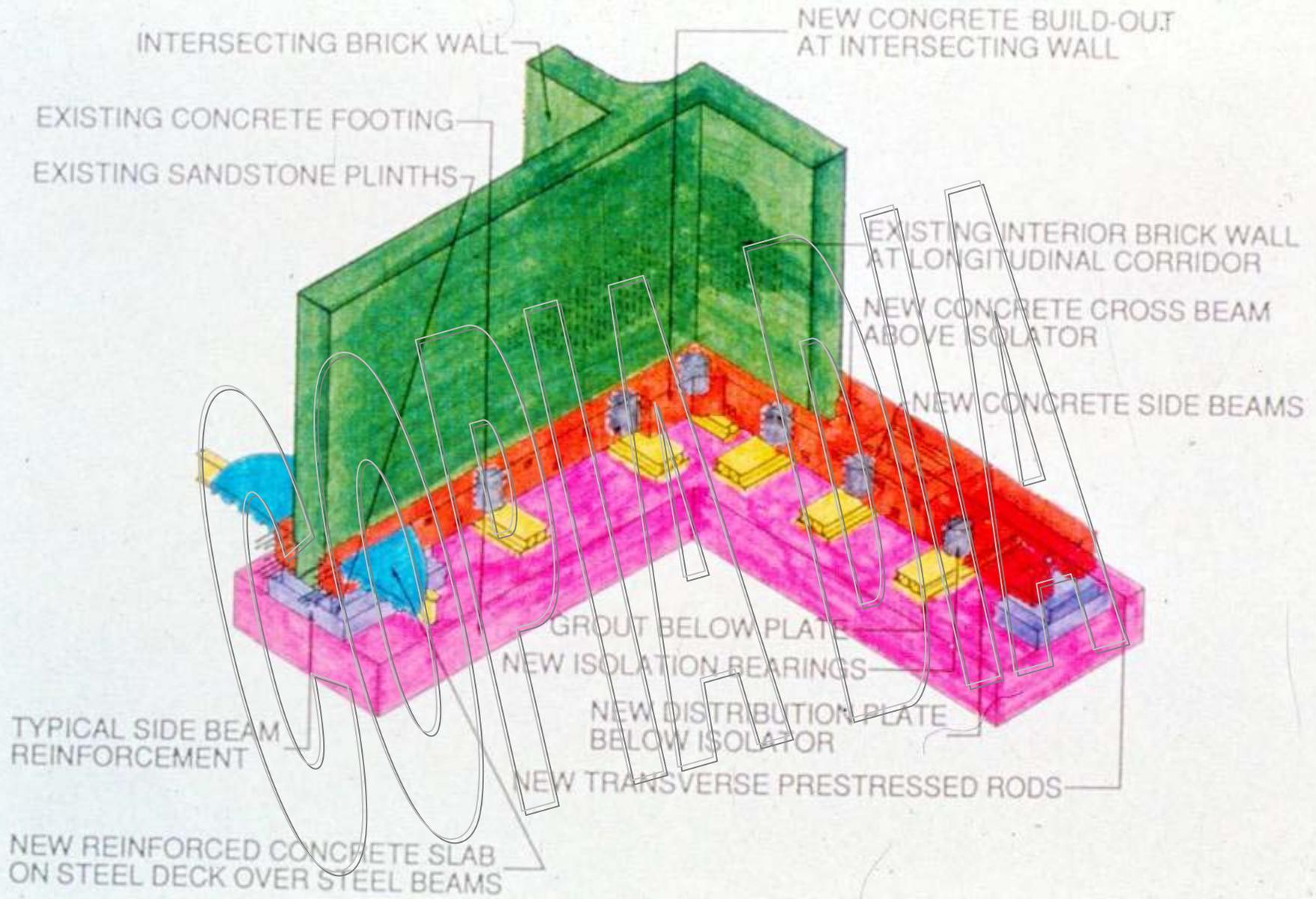
## ❖ CULTURAL HERITAGE

- Acceptable risk: higher
- Level of safety: lower

## ❖ CULTURAL HERITAGE

- Expected life : longer  
(longer return period)
- Level of safety: higher







# *Salt Lake City & County Building*

## *CHARACTERISTICS OF THE BUILDING*

- b.i. bldg period  $\underline{T_I = 2.5 \text{ sec}}$
- f.b. bldg period  $\underline{T_F = 0.5 \text{ sec}}$

## *RESPONSE OF THE b.i. BUILDING AND COMPARISON TO THE f.b. BUILDING*

- base shear  $\underline{V_I = 0.085 \text{ W}}$   
 $\underline{V_F = 0.55 \text{ W}}$
- base displacement  $\underline{D = 4.1 \text{ in}}$

# CONCLUSIVE REMARKS

- BIS can efficiently reduce force and deformation in monumental buildings
- Test results are particularly significant since have been obtained on full scale model

# Edifici isolati \_ Antonello De Luca

Fine Prima parte

Proviamo con un filmino

COPYRIGHT

# Edifici isolati \_ Antonello De Luca

Seconda parte:

L'Ordinanza: lettura ed esame  
critico

COPYRIGHT

..... L'Ordinanza n.3274 ..... Introducendo finalmente in maniera esplicita concetti fondamentali come quelli di:

- duttilita',
- gerarchia delle resistenze,
- regolarita' strutturale,
- **coefficiente di struttura.**

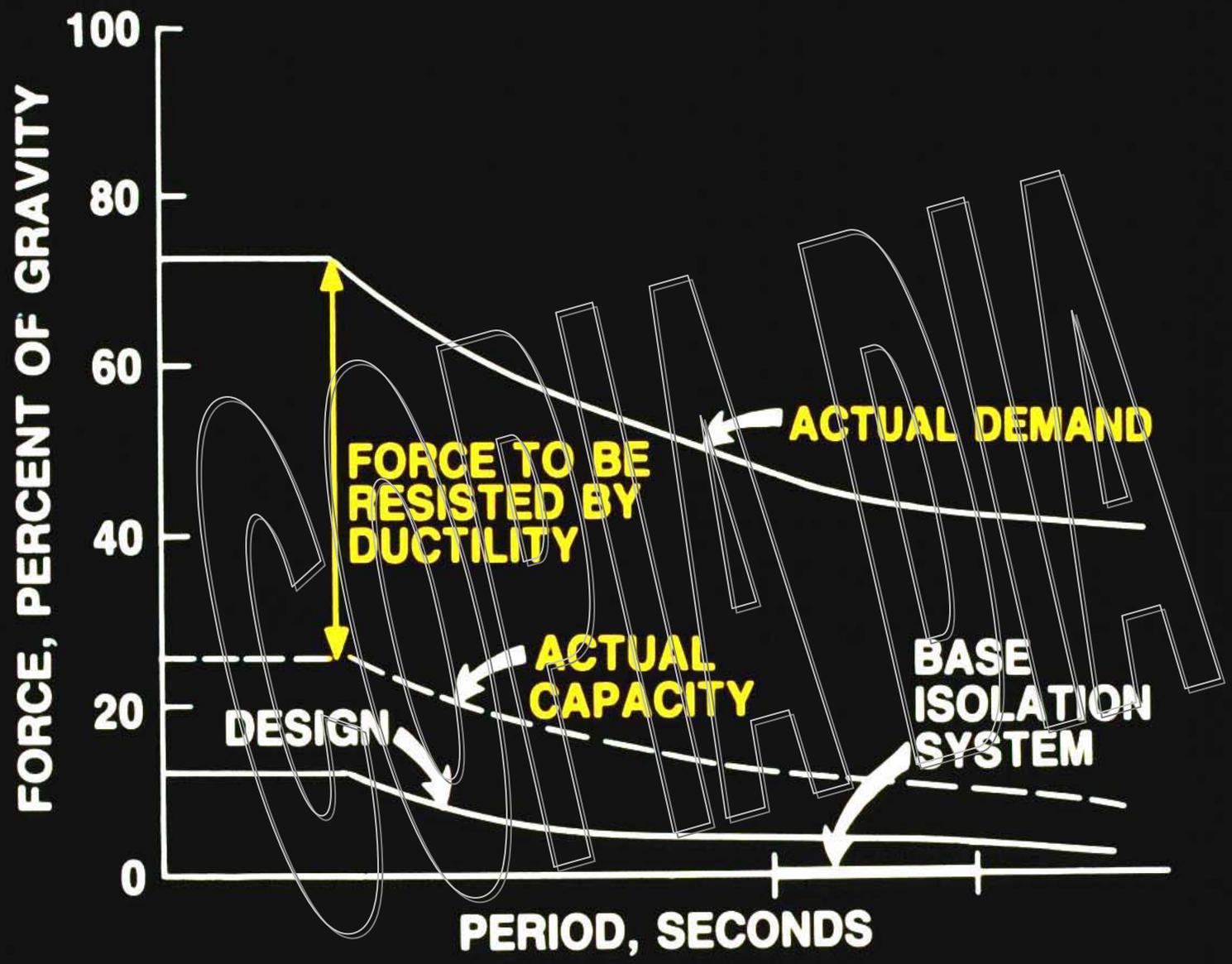
**Coefficiente di struttura** = Coefficiente di riduzione delle forze

**Duttilita'** = danno

*there is no free lunch:*

non c'e' pranzo gratuito (non c'e' trippa per gatti): la riduzione delle forze la si paga con il danno alle strutture ed agli elementi non strutturali.

# STRUCTURAL DESIGN CONCEPTS



← **SHORT, STIFF STRUCTURES** ————— **TALL, FLEXIBLE STRUCTURES** →

**U B C 1985**

ALLOWABLE STRESS

$$V = Z(S I K) W$$

**Z** = ZONE FACTOR

$$3/16 \leq Z \leq 1.0$$

**S** = SITE-STRUCTURE RESONANCE

See below

**I** = IMPORTANCE FACTOR

$$1.0 \leq I \leq 1.5$$

**C** = RESPONSE SPECTRUM FACTOR

$$C = \frac{1}{15\sqrt{T}}$$

**K** = IGNORANCE COEFFICIENT

$$0.67 < K < 2.5$$

**S** Engineer do not know how to make multiplications!!

What about **K**?  $\rightarrow$  **K = 0.67** in case of DMRF

$$V = 0.12 \times 0.67 \times W = 0.0804 \cdot W$$

ATC 3-06 1978/84 YIELD LEVEL FORCES

$$V = \frac{2.5 A_a}{R} W$$

$A_a$  = EFFECTIVE PEAK ACCELERATION  $.05 < A_a < .4$

$R$  = RESPONSE MODIFICATION FACTOR

$$1.25 < R < 8$$

IN CASE OF SMRSF  $\rightarrow R = 8$

$$R_w = \frac{R}{1.5}$$

ALLOWABLE VS YIELD LEVEL

Reminder: Load Combination  $1.2 Q_D + Q_L + Q_S \pm Q_E$

## WHAT ABOUT PARAMETER $R_w$ ?

THE PARAMETER  $R_w$  IS THE FACTOR WHICH ACCOUNTS FOR TOTAL ENERGY ABSORPTION IN THE STRUCTURE INCLUDING ENERGY ABSORPTION FROM INELASTIC EXCURSIONS AND THAT WHICH RESULTS FROM DAMPING. IT THUS SERVES AS A SEMI-EMPIRICAL, SEMI-JUDGMENTAL REDUCTION FACTOR WHICH REDUCES THE QUASI-RATIONAL PRODUCT IN THE NUMERATOR TO THE ESSENTIALLY PREDETERMINED VALUE OF TOTAL BASE SHEAR.

THUS, ALL THE JUDGMENT AND EMPIRICISM HAS BEEN FOLDED INTO ONE PARAMETER INSTEAD OF MYSTERIOUSLY DISTRIBUTED BETWEEN FIVE PARAMETERS AS IN THE PREVIOUS CODE.

ALLAN R. PORUSH

CHAIRMAN, SEAOC SEISMOLOGY  
COMMITTEE.

## ORDINANZA N.3274

$$S_d(T) = g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \left( \frac{T_c}{T} \right)$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q_0 \cdot KD \cdot KR} \cdot \left( \frac{T_c}{T} \right)$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{4.5 \cdot \frac{\alpha_u}{\alpha_1} \cdot KD \cdot KR} \cdot \left( \frac{T_c}{T} \right)$$

$$= 0.35 \cdot 1 \cdot \frac{2.5}{4.5 \cdot 1.3 \cdot 1.0 \cdot 1.0} = \frac{0.875}{5.85} = 0.15$$

$a_g$  = accelerazione di progetto del suolo = 0.35

$KD$  = fattore di duttilità

$KR$  = fattore di regolarità

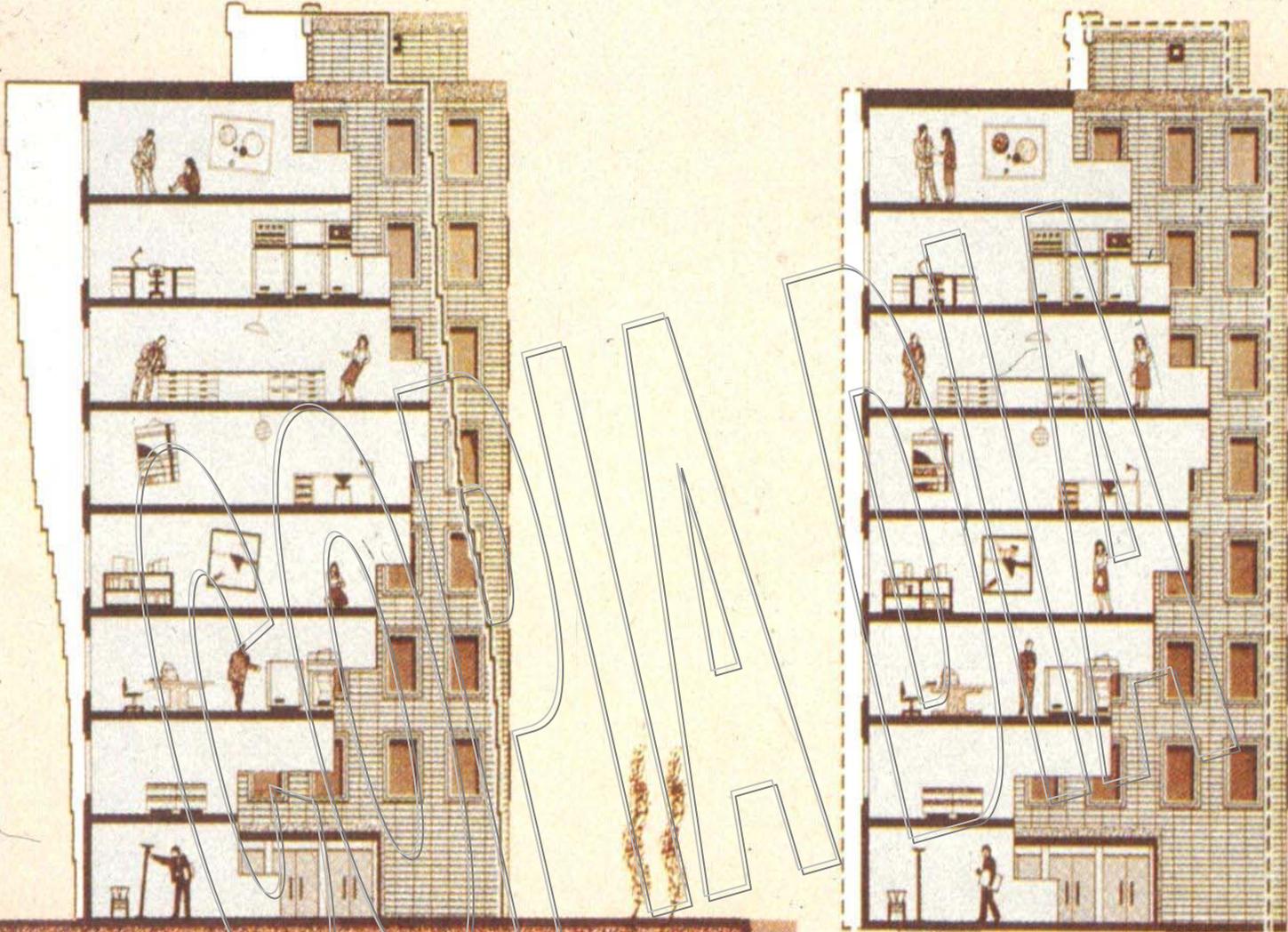
$S$  = fattore di suolo

$q$  = coefficiente di struttura

$\alpha_u/\alpha_1$  = sovraresistenza plastica

$$0.15 / 1.5 = 0.10 !!$$

**Nulla di nuovo sul pianeta terra !**



**CONVENTIONAL  
BUILDING**

**BASE ISOLATED  
BUILDING**

**Table C9-2 Protection Intended for New Buildings**

Risk Category	Earthquake Ground Motion Level		
	Minor	Moderate	Major
Life Safety <sup>1</sup>	F/I	F/I	F/I
Structural Damage <sup>2</sup>	F/I	F/I	I
Nonstructural Damage <sup>3</sup> (Contents Damage)	F/I	I	I

1. Loss of life is not expected for fixed-base (F) or isolated (I) buildings.
2. Significant structural damage is not expected for fixed-base (F) or isolated (I) buildings.
3. Significant nonstructural (contents) damage is not expected for fixed-base (F) or isolated (I) buildings.

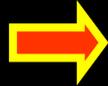
# L'isolamento alla base e' Innovazione ? La vera innovazione e' l'utilizzazione Per utilizzare e' utile una normativa

- 88/6. **De Luca, A. e Serino, G.** 1988. L'approccio energetico nella progettazione sismica. *Ingegneria Sismica*, N.3.
- 89/5. **De Luca, A., Serino, G.** 1989. Nuovi sistemi strutturali per la difesa dal rischio sismico. *Ingegneria Sismica*, N.1
- 91/3. **De Luca, A., Mazzolani, F.M., Mele, E.** 1991. Test Results on Natural Rubber and Policloloroprene Devices for Investigating the Effects of Axial Loads, *Proceedings, International Meeting on Earthquake Protection of Buildings*, Ancona.
- 91/9. **De Luca, A., Mazzolani, F.M., Mele, E.** 1991. Modelli di calcolo di apparecchi di isolamento in gomma per la valutazione degli effetti dei carichi verticali., *Proceedings V ANIDIS*, Palermo.
- 91/10 **Serino, G., De Luca, A.** 1991. La Definizione degli Spettri di Progetto nelle Strutture Isolate alla Base, *Proceedings V ANIDIS*, Palermo.
- 92/1. **De Luca, A. Serino, G.** 1992. Evaluation of displacement design spectra for base isolated systems, *Proceedings X WCEE*, Madrid.
- 92/2. **De Luca, A.** 1992. Le attivita' della Convenzione Europea della Costruzione Metallica nel campo del restauro, *Proceedings, ASSIRCO*.
- 93/2. **De Luca, A., Faella, G.,** 1993. Comportamento dinamico di strutture multipiano isolate alla base. , *Proceedings VI ANIDIS*, Perugia.
- 93/3. **De Luca, A., Faella, G., Pellegrino, C., Ramasco, R., Siano, F.,** 1993. Un modello per la simulazione di dispositivi elastomerici di isolamento sismico., *Proceedings VI ANIDIS*, Perugia.
- 93/4. **De Luca, A., Faella, G.,** 1993. Response of fixed base and base isolated r.c. frames., *Proceedings International Post-SMIRT Conference*, Capri.
- 94/2. **De Luca, A., Faella, G., Pellegrino, C., Ramasco, R., Siano, F.,** 1994. A refined model for simulating the behaviour of base isolation devices., *Proceedings V USNCEE*, Chicago.
- 94/3. **Imbimbo, M., Mele, E., De Luca, A.,** 1994. Finite element modelling of rubber bearings under large strains, *Proceedings ABAQUS Users' Conference*, New Port, Rhode Island, Usa.
- 94/4. **De Luca, A, Faella, G., Mele, E.,** 1994. Effects of design level on dynamic behaviour of multistory base isolated structures, *Proceedings ERCAD 94*, Berlin.
- 94/8. **De Luca, A, Faella, G., Mele, E.,** 1994. Serviceability and ultimate performance of base isolated steel frames. *Proceedings of International Workshop and Seminar on Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas, STESSA '94*, Timisoara, Romania, 26-29 June, 1994, pp.7.66-7.75.
- 94/11. **De Luca, A, Reinhorn, A.M., Faella, G., Mele, E., Ramasco, R.,** 1994. Design level and damage in base isolated steel structures, *Proceedings, X ECEE*, Vienna.
- 94/13. **Imbimbo, M., Mele, E., De Luca, A.** 1994. Analisi tensionale agli elementi finiti di un dispositivo elastomerico soggetto a carico assiale, *Proceedings AIAS Conference*, Arcavacata, Italy.
- 94/14. **De Luca, A., Mele, E.,** 1994. State-of-the-Art report on base isolation and energy dissipation, *Proceedings of International Workshop and Seminar on Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas, STESSA '94*, Timisoara, Romania, 26-29 June, 1994.
- 95/1. **Giangreco, E., De Luca, A.,** 1995. L'influenza dei terremoti sullo sviluppo sociale e produttivo dei centri urbani, *Convegno Terremoti in Italia, Accademia Nazionale dei Lincei*.
- 95/2. **De Luca, A., Faella, G., Mele, E., Ramasco, R.** 1995. Sistemi innovativi di protezione sismica: l'isolamento sismico. *Convegno Terremoti in Italia, Accademia Nazionale dei Lincei*.
- 95/4 **Imbimbo, M., De Luca, A.** 1995. Stress analysis of laminated bearings through finite element modeling , *Proceedings CIVILCOMP*.
- 95/5 **Imbimbo, M., De Luca, A.** 1995. Influenza del fattore di forma sulle distribuzioni tensionali di un dispositivo elastomerico , *Proceedings AIMETA*.
- 95/10. **De Luca, A., Faella, G., Mele, E.** 1995. La modellazione di strutture isolate alla base in campo non lineare. *Atti del 7° Convegno Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia"*, Siena, 25-28 settembre, 1995.
- 95/11. **De Luca, A., Faella, G., Mele, E.** 1995: Il livello di progetto nelle strutture isolate alla base. *Atti del 7° Convegno Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia"*, Siena, 23-28 settembre, 1995.
- 95/12. **De Luca, A., Mele, E.** 1995: L'isolamento sismico nel restauro di edifici storici. *Atti del 7° Convegno Nazionale "L'Ingegneria Sismica in Italia"*, Siena, 25-28 settembre, 1995.
- 96/1. **De Luca, A., Faella, G.** 1996: The influence of superstructure design criteria on seismic force reduction factors for base isolated structures. *Proceedings of XI WCEE*, Acapulco.
- 96/2. **Mele, E., De Luca, A., Ramasco, R.** 1996: The effect of using different device numerical models on the global nonlinear behaviour of base isolated structures. *Proceedings of XI WCEE*, Acapulco.
- 96/3. **De Luca, A., Mele, E.** 1996: The recent Kobe earthquake: general data and lessons learned on steel structures. *Proceedings of COST-C1 Seismic Working Group 4th Meeting*, Capri, October 5-6.
- 96/5. **De Luca, A.** 1996: Innovative strategies and techniques for seismic protection. *Proceedings of "Japan in Italy '95-'96"*, Symposium on "Safe City", Napoli, February 9-10.
- 96/6. **De Luca, A. Mele, E.** 1996: The seismic isolation in the retrofit of historic buildings. *Proceedings of "Usa/Italy Seminar on the seismic restoration of historic buildings"* Los Angeles, July 22-25.
- 97/2. **Mele E., De Luca A.** 1997. Seismic strengthening of cultural heritage through base isolation: some case studies. *Proceedings of International Conference New Technologies in Structural Engineering* , Lisbon, Portugal, July 1997.
- 97/3. **De Luca A., Mele E.** 1997. Base isolation and energy dissipation. General Report. *Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Conference Behaviour of Steel structures in Seismic Areas, STESSA'97*, Kyoto, Japan, August 1997.
- 97/5. **Faella G., De Luca A.** 1997 Base Isolation as a strategy for improving performance of moment resisting steel frames. *Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Conference Behaviour of Steel structures in Seismic Areas, STESSA'97*, Kyoto, Japan, 223-230, August 1997.
- 97/7. **De Luca A., Mele E.** 1997 Base isolation for seismic protection of monuments, *Proceedings of the International Workshop on : Testing and modeling of innovative systems for seismic response control of buildings and bridges*, Napoli 17-18 May 1996, CUEN ottobre 1997.
- 97/8. **De Luca A., Faella G.** 1997 Seismic force reduction factors for base isolated structures, *Proceedings of the International Workshop on : Testing and modeling of innovative systems for seismic response control of buildings and bridges*, Napoli 17-18 May 1996, CUEN ottobre 1997.
- 97/9. **Mele E. De Luca A., Ramasco R.** 1997 Modeling problems in base isolation, *Proceedings of the International Workshop on : Testing and modeling of innovative systems for seismic response control of buildings and bridges*, Napoli 17-18 May 1996, CUEN ottobre 1997.
- 97/10. **Ramasco R. De Luca A.** 1997. : Testing and modeling of innovative systems for seismic response control of buildings and bridges, Napoli 17-18 May 1996, Editors published by CUEN ottobre 1997.
- 98/1. **Imbimbo M. and De Luca A.** 1998: F.E. stress analysis of rubber bearings under axial loads, in corso di revisione su *Computers & Structures*.
- 98/3. **De Luca, A., Faella, G.** 1988. Modeling of elastomeric devices in the dynamic linear and nonlinear range, *Proceedings of the US-Italy workshop on "Seismic protective systems for bridges"*, Columbia University, New York City, April 27-28 1998.
- 98/5. **De Luca, A.** 1998 L'isolamento sismico nel restauro di edifici storici. *Primo Campus Post-Universitario in diagnosi e terapia dei dissesti statici*, Saluzzo 1997

# EVOLUZIONE DELLE NORMATIVE

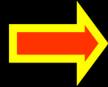
**U.S.A.**

1986



SEAONC TENTATIVE PROVISIONS

1991



U.B.C. UNIFORM BUILDING CODE

1997



U.B.C. UNIFORM BUILDING CODE

**ITALIA**

1996



D.M. 16 GENNAIO



NO

1997



CIRC. MIN. 10 APRILE N. 65/AA.GG.



SI', CON PERMESSO

1998



LINEE GUIDA PER PROGETTAZIONE, ESECUZ.,...

2003



ORDINANZA N.3274



FINALMENTE!

**CIRCOLARE 10 APRILE 1997 n. 65/AA.GG.**  
**SUPPLEMENTO ORDINARIO ALLA <GAZZETTA UFFIALE> n.97**  
**DEL 28 APRILE 1997 – SERIE GENERALE**

Sia l'utilizzazione degli "isolatori" che quella dei "dissipatori" hanno origini **relativamente recenti** e, fino a quando non sarà emanata una specifica normativa d'uso, l'adozione dei dispositivi richiede, affinché siano effettivamente conseguiti i comportamenti desiderati e prima brevemente descritti, che il complesso struttura – dispositivi venga progettato ed eseguito.

Nel rispetto di alcune regole peculiari legate sia alla tipologia strutturale adottata che alle caratteristiche proprie degli apparecchi utilizzati.

Ciò **rende necessaria la preventiva approvazione** del progetto, riguardante il sistema edificio – dispositivi, **da parte del Consiglio superiore dei lavori pubblici.**

# ORDINANZA n. 3274

**ISOLAMENTO SISMICO: Pagg. 64-77; 95-99**

1. SCOPO

2. SIMBOLI

3. REQUISITI

4. CARATTERISTICHE

5. INDICAZIONI PROGETTUALI

6. AZIONE

7. MODELLAZIONE

8. VERIFICHE

9. COSTRUZIONE

10. COLLAUDO

ALLEGATO A

ALLEGATO B

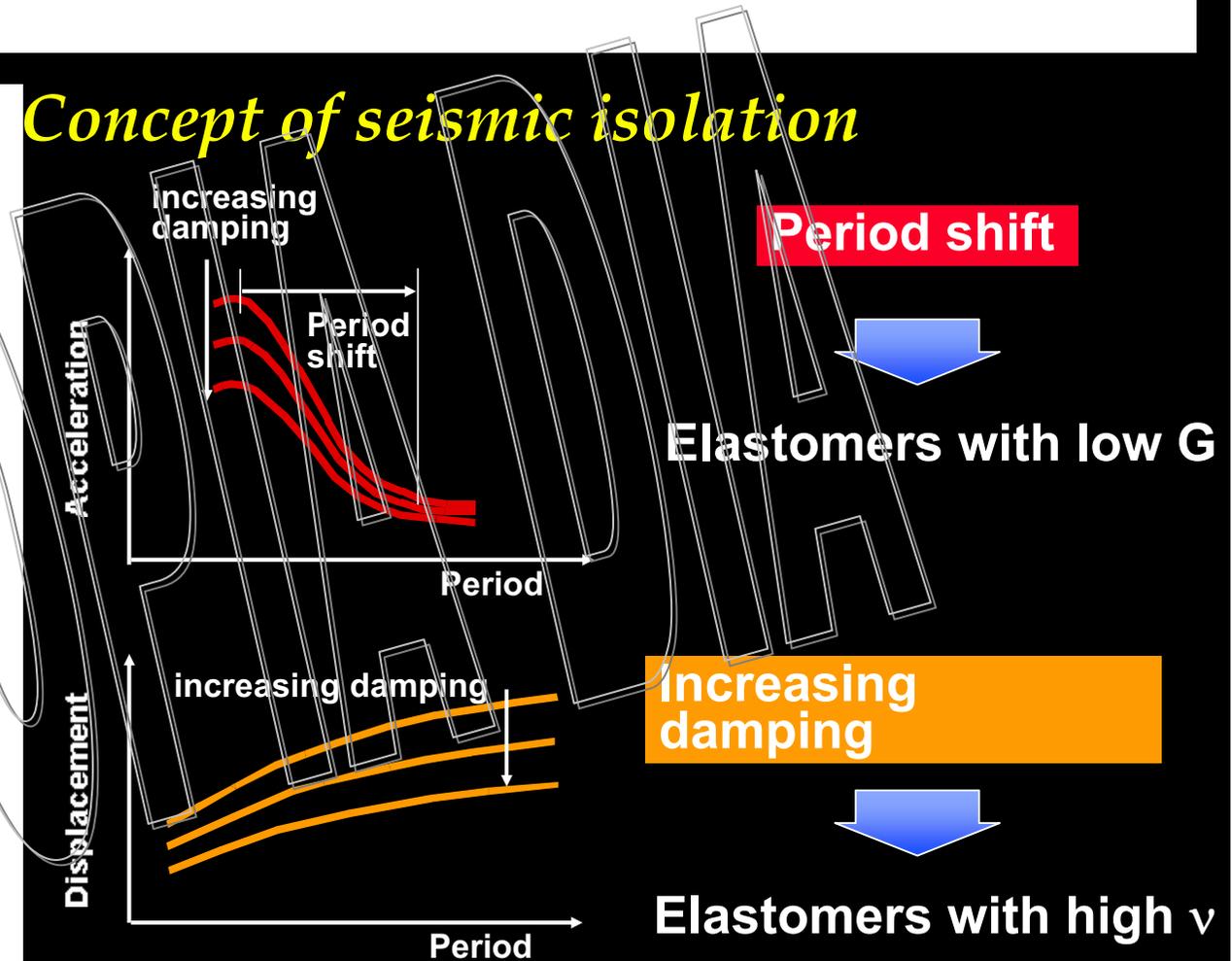


## 1. SCOPO

Fornisce criteri e regole ..... allo scopo di migliorare la risposta nei confronti delle azioni sismiche orizzontali..... La riduzione di risposta ..... può essere ottenuta mediante:

- Incrementando il periodo fondamentale della costruzione per portarlo nel campo delle minori accelerazioni di risposta;
- Limitando la massima forza orizzontale trasmessa;
- Dissipando una consistente aliquota dell'energia meccanica trasmessa alla costruzione

### *Concept of seismic isolation*



## 2. SIMBOLI

**Le verifiche vanno effettuate nei confronti dei 2 Stati Limite già definiti per le strutture convenzionali**

SLD: Stato Limite di Danno

SLU: Stato Limite Ultimo

**Norme americane**

**Vengono definiti più esplicitamente i 2 terremoti da considerare nelle verifiche**

DBE: Design Basis Earthquake (periodo di ritorno 500 anni)

MCE: Maximum Credible Earthquake (periodo di ritorno 1000 anni)

## 2. SIMBOLI

**SOTTOSTRUTTURA:** Parte della struttura posta al di sotto dell'interfaccia di isolamento soggetta direttamente agli spostamenti imposti dal movimento sismico del terreno (include le fondazioni).

**DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO:** Componenti del sistema di isolamento, ciascuno dei quali fornisce una singola o una combinazione delle seguenti funzioni:

- di sostegno dei carichi verticali con elevata rigidità in direzione verticale e bassa rigidità o resistenza in direzione orizzontale, permettendo notevoli spostamenti orizzontali;
- di dissipazione di energia, con meccanismi isteretici e/o viscosi;
- di ricentraggio del sistema;
- di vincolo laterale, con adeguata rigidità elastica, sotto carichi di servizio (non sismici);

**SOVRASTRUTTURA:** Parte della struttura posta al di sopra dell'interfaccia di isolamento, e che pertanto è isolata.

### 3. REQUISITI GENERALI

Per gli edifici isolati valgono integralmente le prescrizioni riguardanti la sicurezza nei confronti della stabilità (SLU), della limitazione dei danni (SLD), i terreni di fondazione.

In aggiunta .... **La sovrastruttura e la sottostruttura si devono mantenere sostanzialmente in campo ELASTICO. Per questo la struttura potrà essere progettata con riferimento alle prescrizioni relative alle strutture con bassa duttilità (DC "B").**

**RISPARMIO !**

Il sistema di isolamento deve essere progettato e verificato secondo il punto 10.8 e gli Allegati 10.A e 10.B. Sono espresse condizioni su:

- Comportamento meccanico e relativa modellazione
- Prove
- Qualità
- Manutenzione
- Fasi costruttive

## 4. CARATTERISTICHE E CRITERI DI ACCETTAZIONE DEI DISPOSITIVI

### DISPOSITIVI CONSIDERATI:

- Elastomerici
- A scorrimento
- Ausiliari (nonlineari, viscosi, lineari)

### NORMATIVE DI RIFERIMENTO:

Quelle esistenti sui materiali (1086, 10018, ..)

### DEFINIZIONE DEI DIVERSI COMPORTAMENTI:

- Elastomerici
- A scorrimento
- Ausiliari (nonlineari, viscosi, lineari)

## 4. CARATTERISTICHE E CRITERI DI ACCETTAZIONE DEI DISPOSITIVI

### FUNZIONI

#### degli isolatori:

- sostenere i carichi verticali (elevata rigidità verticale);
- permettere notevoli spostamenti orizzontali (bassa rigidità orizzontale);

Eventualmente ...

- dissipare energia;
- ricentrare il sistema;
- vincolare lateralmente sotto carichi di esercizio;

#### dei dispositivi ausiliari:

- dissipare energia;
- ricentrare il sistema;
- vincolare lateralmente sotto carichi di esercizio;

# Dispositivi elastomerici

## Laminated elastomeric bearings

Appoggi in elastomero con strati di elastomero alternati a piastre d'acciaio, solidarizzati mediante vulcanizzazione a caldo, che, confinando l'elastomero, riducono le dilatazioni trasversali ed incrementano la rigidità verticale.

Elevato rapporto (800-1000) tra rigidità verticale ed orizzontale.

- Low-damping
- High-damping
- Natural rubber
- Synthetic elastomer



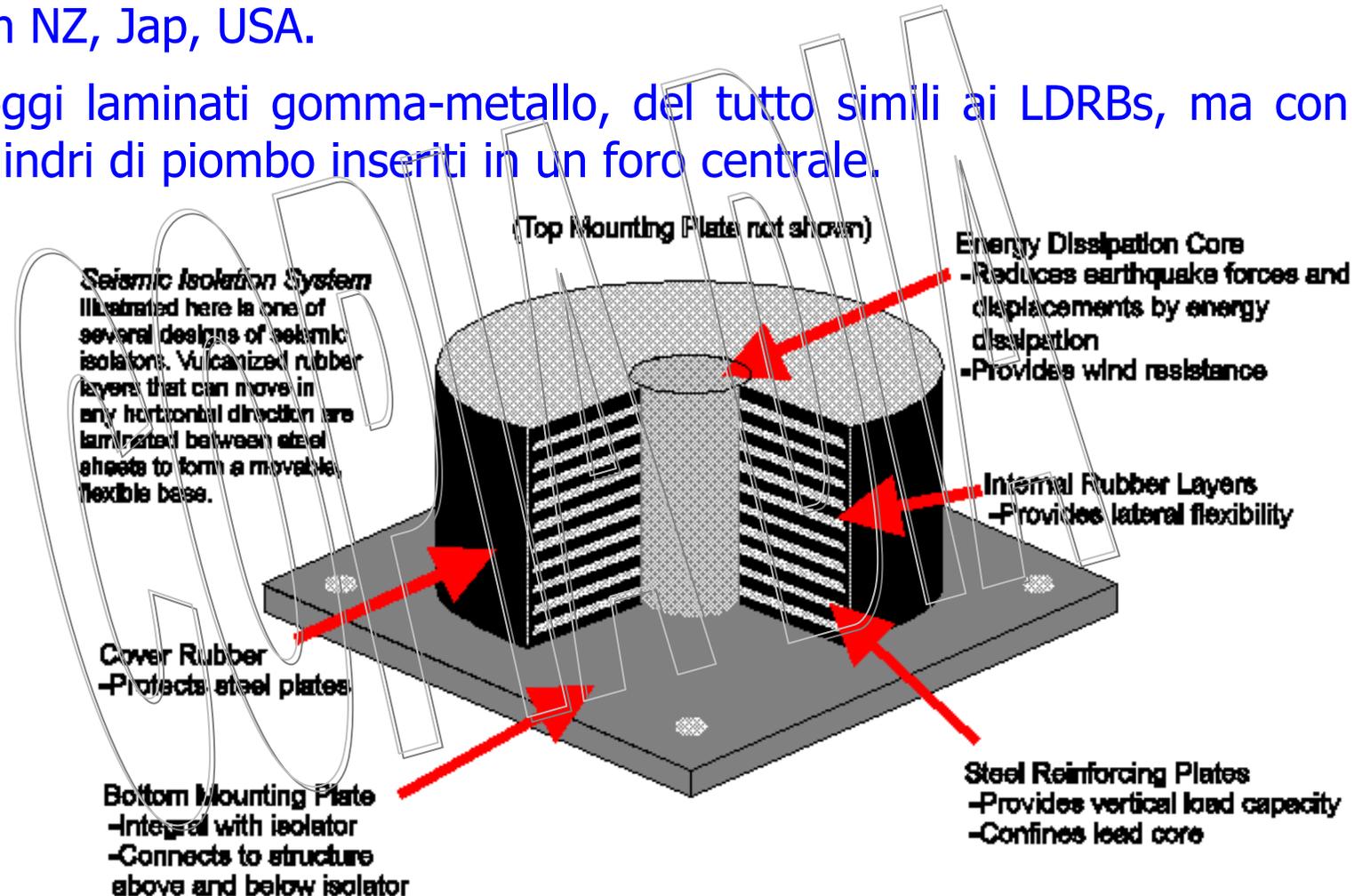
La rigidità orizzontale non viene alterata dalla presenza delle piastre di acciaio, e dipende dallo spessore totale in elastomero

# Dispositivi elastomerici

## Lead-Plug Bearings (LPBs)

Sono stati inventati in New Zealand nel 1975, e sono attualmente molto impiegati in NZ, Jap, USA.

Sono appoggi laminati gomma-metallo, del tutto simili ai LDRBs, ma con un o più cilindri di piombo inseriti in un foro centrale.

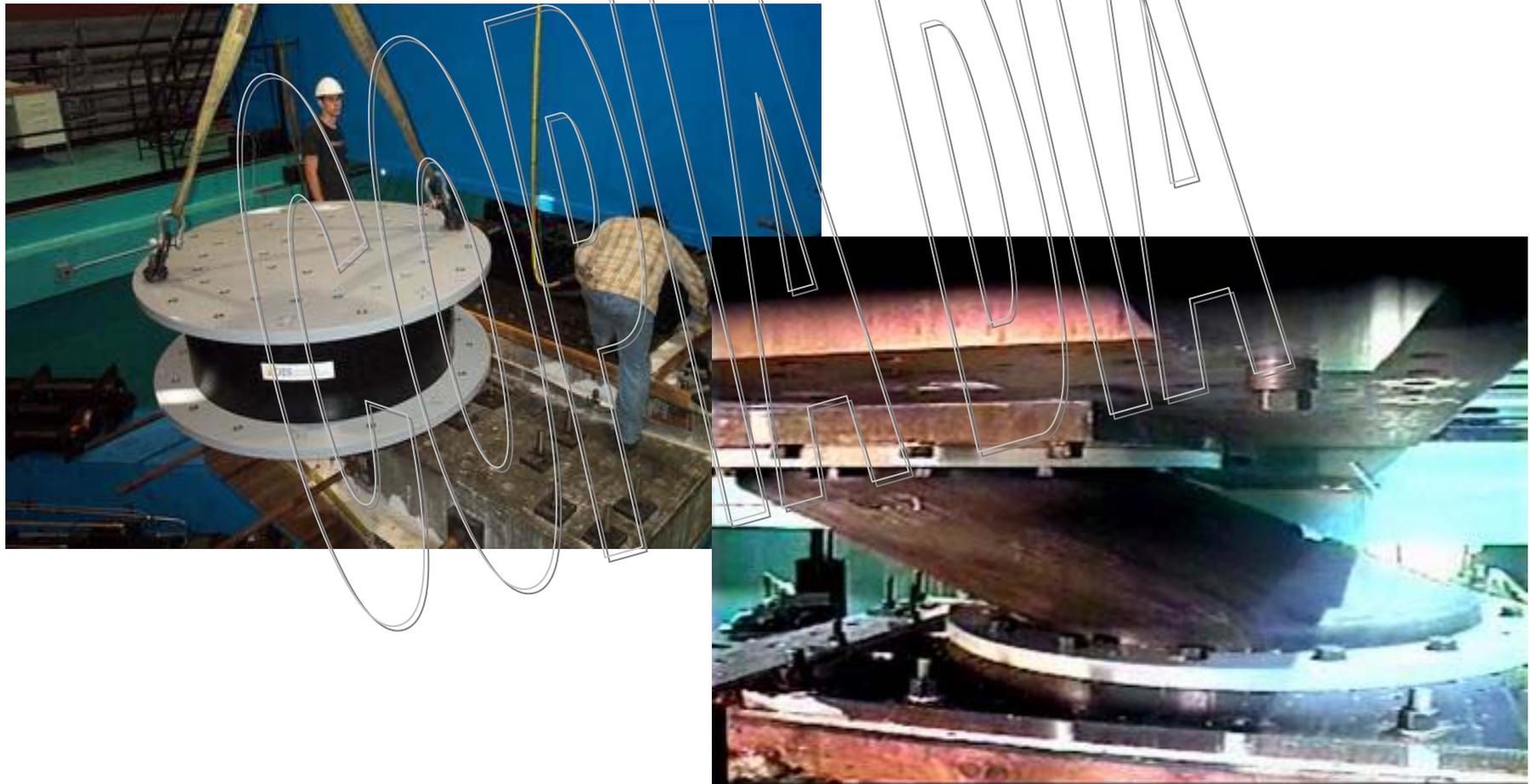


**DIS**  
**SEISMIC ISOLATOR™**

USA Patent Nos. 4,117,637,  
4,499,694 and 4,593,602

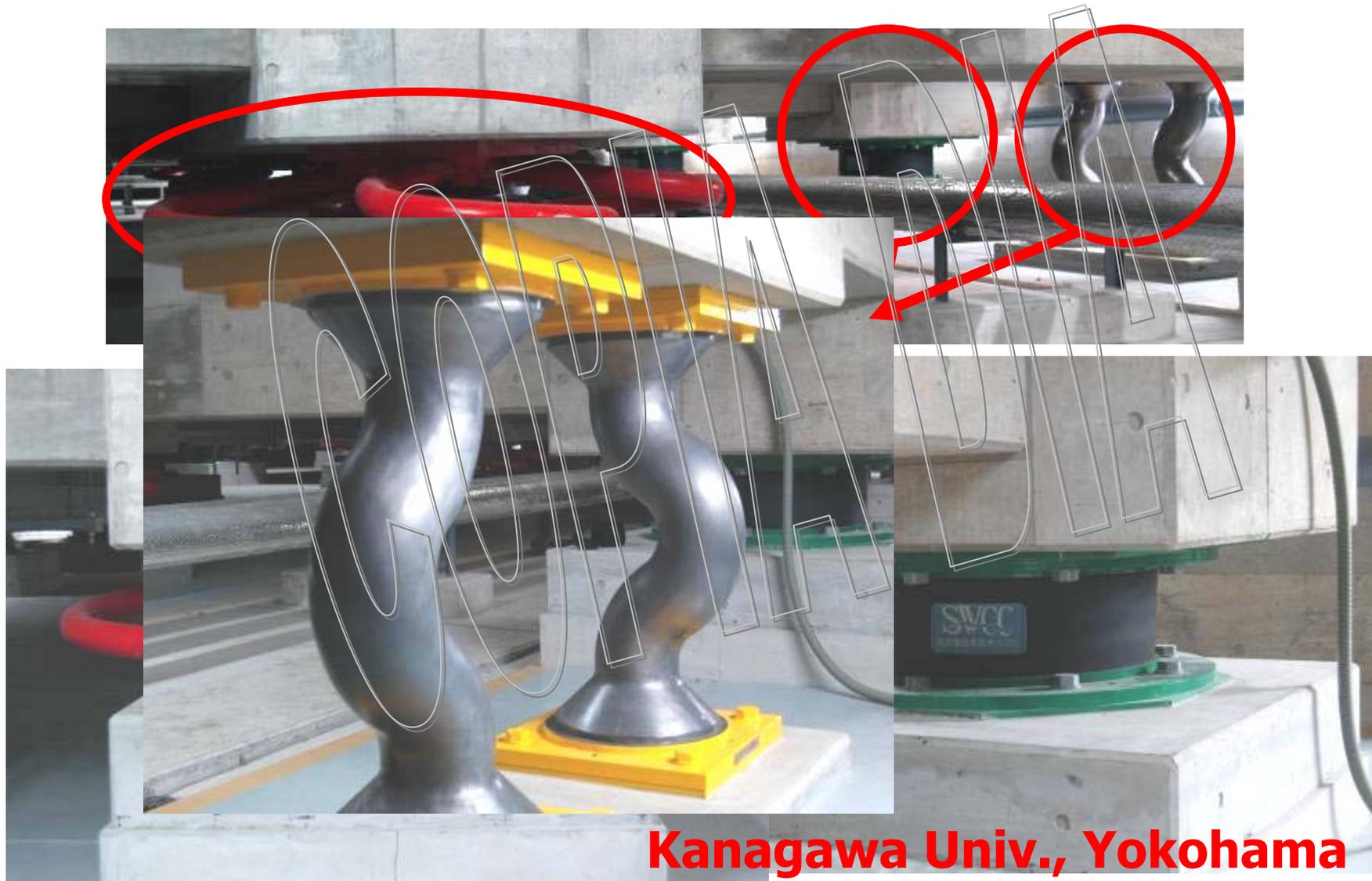
## San Diego:

1300 mm (51 inch) DIS rubber test at the University of California isolator compressive load of 2000 tons, deformed to 400% shear strain (lateral displacement of 1 meter - 450 tons shear force)



# Dispositivi elastomerici

Low-damping elastomeric bearings + hysteretic devices



Kanagawa Univ., Yokohama

## 4. CARATTERISTICHE E CRITERI DI ACCETTAZIONE DEI DISPOSITIVI

### ISOLATORI ELASTOMERICI

- sono costituiti da strati di materiale elastomerico alternati a piastre di acciaio;
- le piastre di acciaio devono essere conformi alla CNR 10018;
- si definiscono due fattori di forma:

$$S_1 = \frac{A'}{L}$$

$S_1$  = fattore di forma primario;

$A'$  = area comune tra lo strato di elastomero e la piastra di acciaio;

$L$  = superficie laterale del singolo strato di elastomero;

$$S_2 = \frac{D}{t_e}$$

$S_2$  = fattore di forma secondario;

$D$  = dimensione in pianta della piastra di acciaio;

$t_e$  = spessore totale degli strati di gomma;

- sono individuati attraverso due parametri caratteristici:

1. la rigidezza equivalente:

$$K_e = \frac{G_{din} A}{t_e} = \frac{F}{d}$$

$G_{din}$  = modulo dinamico a taglio;

$F$  = forza;

$d$  = spostamento massimo;

2. Il coefficiente di smorzamento viscoso equivalente:

$$\xi_e = \frac{W_d}{2\pi F d}$$

$W_d$  = energia dissipata in un ciclo;

# Dispositivi elastomerici

rigidezza orizzontale

$$K_H = G A / t_r$$

G modulo di taglio (elasticità trasversale) dell'elastomero

A area della sezione trasversale in elastomero

$t_r$  spessore totale elastomero

*N.B.: le piastre d'acciaio non influiscono sulla rigidezza orizzontale*

deformazione a taglio  $\gamma$  corrispondente allo spostamento orizzontale D :

$$\gamma = D / t_r$$



## 4. CARATTERISTICHE E CRITERI DI ACCETTAZIONE DEI DISPOSITIVI



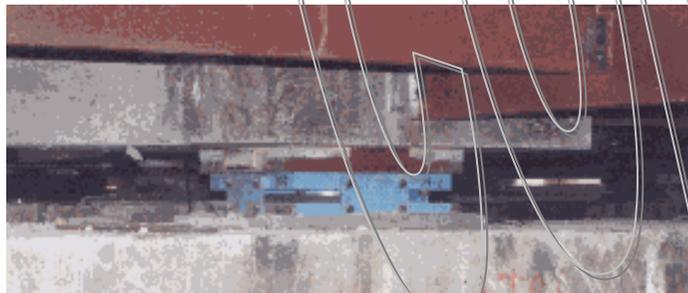
### ISOLATORI A SCORRIMENTO

- sono costituiti da appoggi a scorrimento (acciaio – PTFE) caratterizzati da bassi valori delle resistenze per attrito;
- le superfici di scorrimento in acciaio e PTFE devono essere conformi alla EN 1337-2;



**Benicia-Martinez Bridge Bearing**

**Concave and Slider for Benicia-Martinez Bridge:**  
Largest isolation bearings ever manufactured



**U.S. Court of Appeals  
Bearing Installation**



**San Francisco International Airport  
Terminal: Bearing Installation - World's  
largest isolated building**

## 4. CARATTERISTICHE E CRITERI DI ACCETTAZIONE DEI DISPOSITIVI

### DISPOSITIVI AUSILIARI A COMPORTAMENTO NON LINEARE

- trasmettono soltanto azioni orizzontali;
- possono realizzare comportamenti meccanici diversi:
  1. elevata o bassa dissipazione di energia;
  2. riduzione o incremento della rigidezza al crescere dello spostamento;
  3. con o senza spostamenti residui all'azzeramento della forza.
- Sono individuati da una curva caratteristica **F-d** schematizzabile come bilineare:

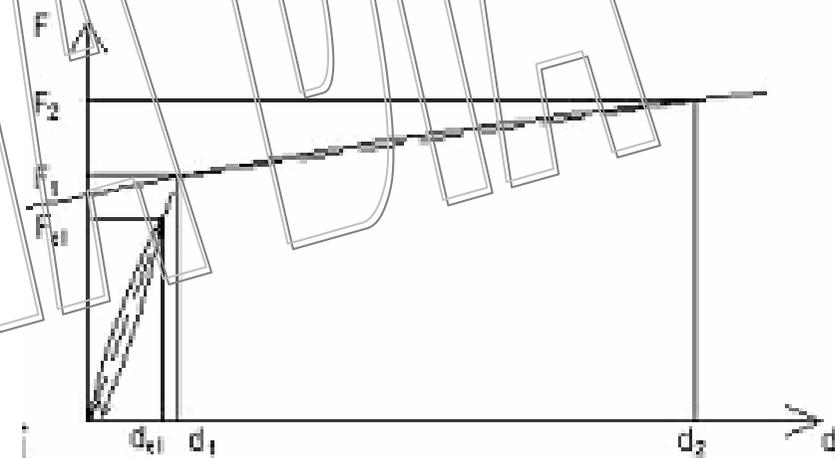
dove:

la rigidezza elastica:

$$K_1 = \frac{F_1}{d_1}$$

la rigidezza post-elastica:

$$K_2 = \frac{F_2 - F_1}{d_2 - d_1}$$



# Dispositivi e

## High-Damping Rubber Bearings

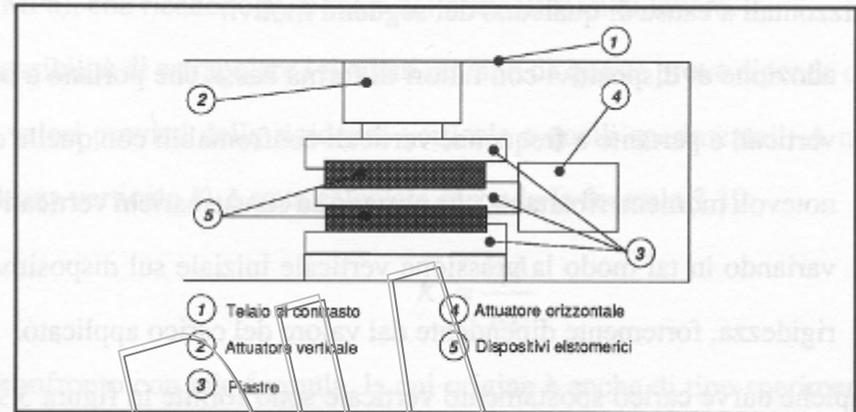
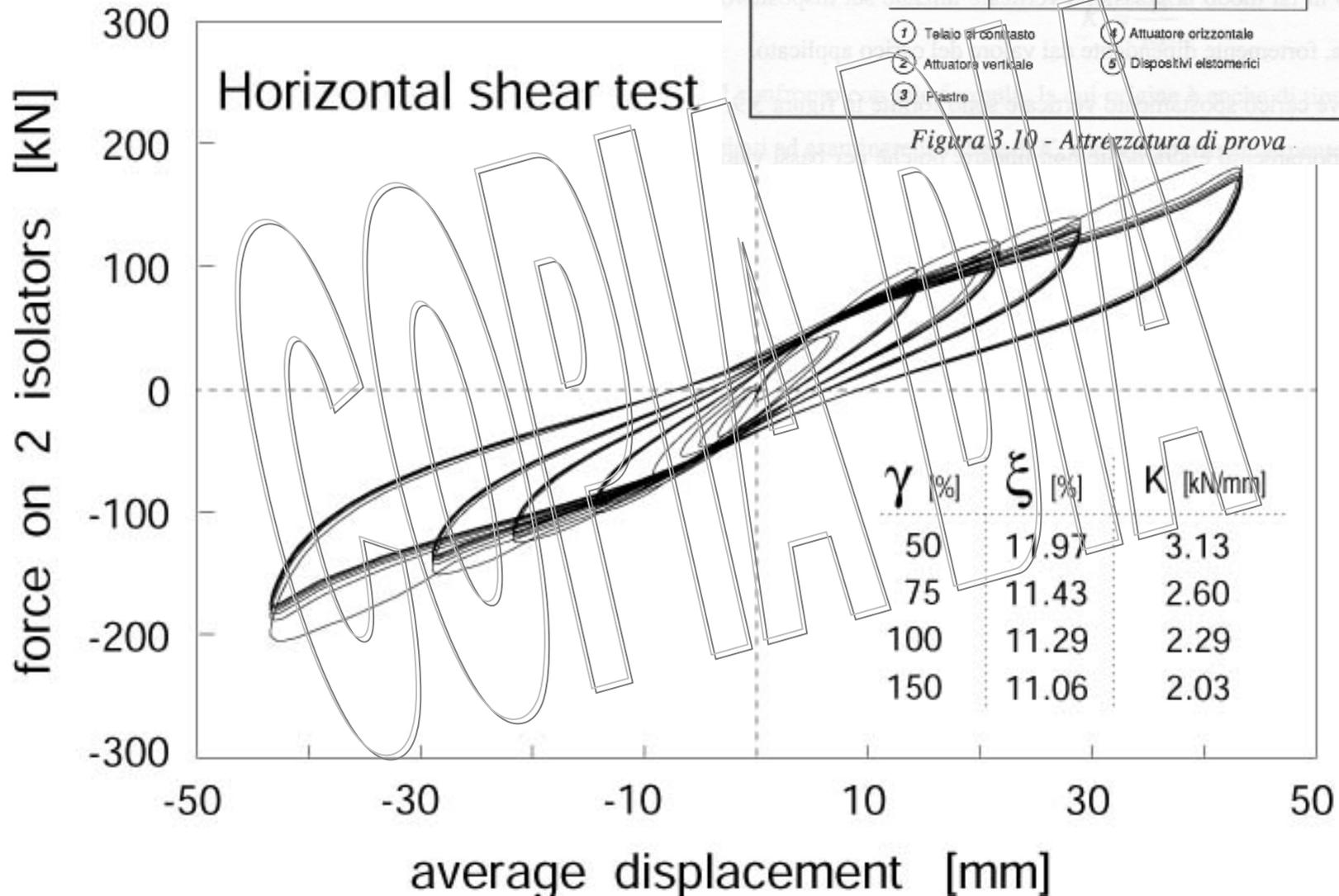
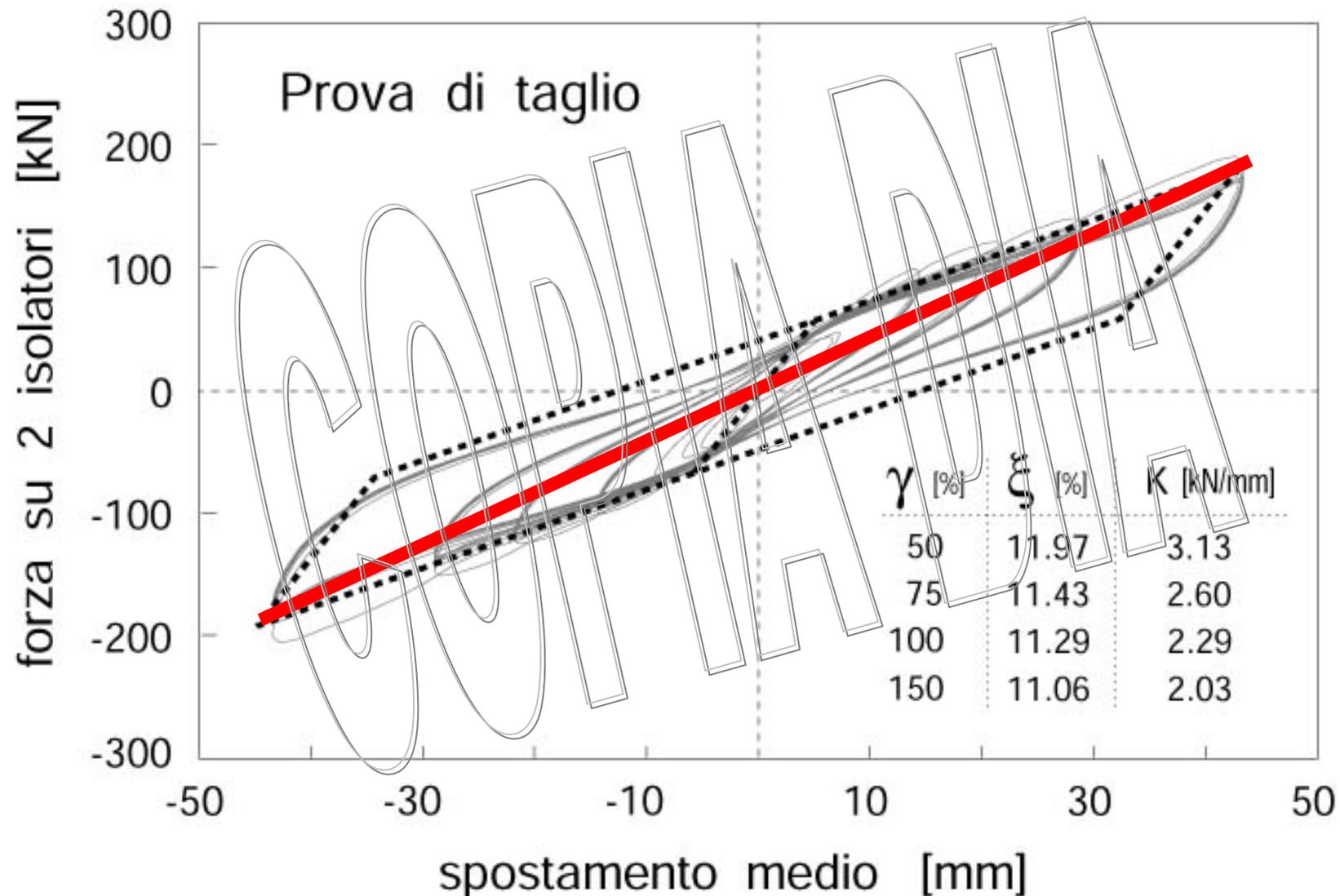


Figura 3.10 - Attrezzatura di prova.



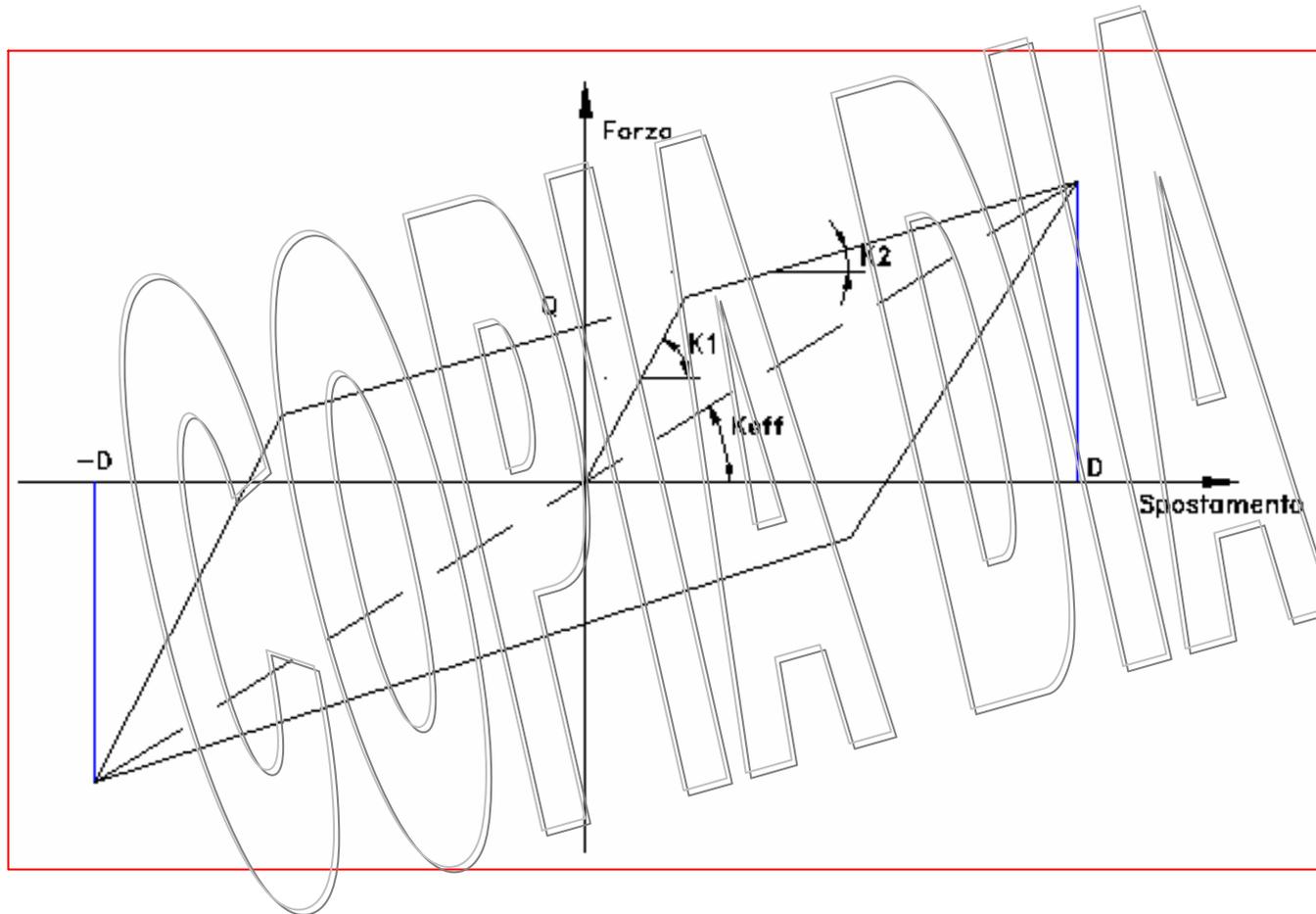
# Dispositivi elastomerici

## Modellazione di dispositivi HDRBs



# Dispositivi elastomerici

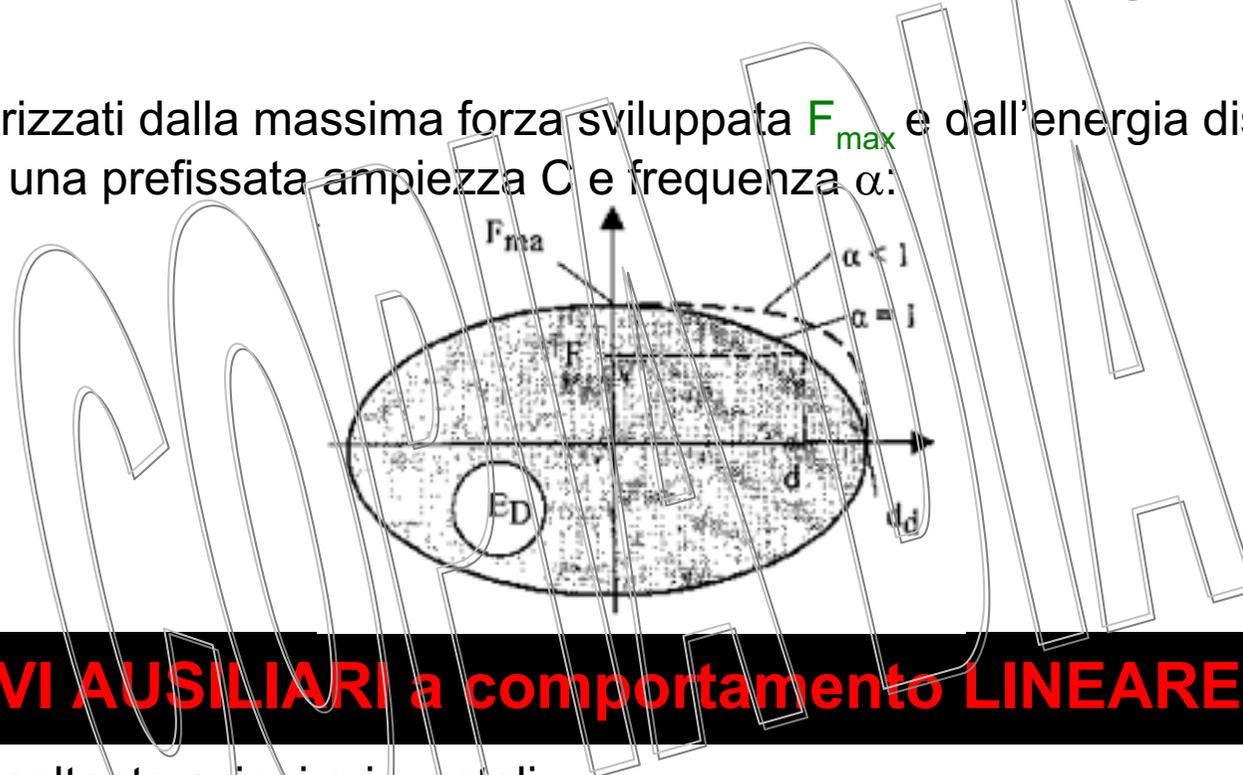
## Calibrazione di modelli isteretici bilineari



## 4. CARATTERISTICHE E CRITERI DI ACCETTAZIONE DEI DISPOSITIVI

### DISPOSITIVI AUSILIARI A COMPORTAMENTO VISCOSO

- trasmettono soltanto azioni orizzontali e non contribuiscono alla rigidità del sistema;
- sono caratterizzati dalla massima forza sviluppata  $F_{max}$  e dall'energia dissipata  $E_d$  in un ciclo, per una prefissata ampiezza  $C$  e frequenza  $\alpha$ :



### DISPOSITIVI AUSILIARI a comportamento LINEARE O QUASI

- trasmettono soltanto azioni orizzontali;
- sono caratterizzati dalla rigidità equivalente  $k_e$  e il coefficiente di smorzamento viscoso equivalente  $\xi_e$ .

## 4. CARATTERISTICHE E CRITERI DI ACCETTAZIONE DEI DISPOSITIVI

### CRITERI DI ACCETTAZIONE

Sia gli isolatori che i dispositivi hanno dei limiti riguardo a:

- differenze nell'ambito della singola fornitura rispetto al valore di progetto;
- variazioni legate all'**invecchiamento**;
- variazioni dovute a fattori ambientali (**temperatura**);
- variazioni dovute al **carico verticale**;
- variazioni dovute alla velocità (**frequenza**);

Devono inoltre essere in grado di sopportare almeno 10 cicli di carico e scarico, sotto uno spostamento massimo impresso di  $1.2 d_2$  (spostamento massimo di progetto in un dispositivo di isolamento, corrispondente allo SLU).

## 5. INDICAZIONI PROGETTUALI

### INDICAZIONI SU:

- ispezionabilità
- sostituibilità
- fuoco
- attacchi chimici etc.

### REQUISITI DI PROGETTO:

- assenza di trazione sui dispositivi
- importanza del calcolo degli spostamenti nel progetto
- progetto giunti per impianti e martellamenti

## 6. AZIONE SISMICA

### 3. REQUISITI GENERALI: La sovrastruttura e la sottostruttura si devono mantenere sostanzialmente in campo ELASTICO.

Kelly, 1993: “the requirements for isolated structures are such that the superstructure will be essentially elastic for the DBE and the isolation system will be tested and designed to sustain MCE. Since large inelastic deformations of the structures as permitted for fixed base structures can produce significant structural damage, **the more stringent requirements for isolated buildings will limit the level of damage** so that the building can survive severe earthquakes with little damage to structural elements and with no loss of function.

Naeim & Kelly, 1999: “**The underlying philosophy is to outperform fixed base constructions in moderate and large earthquakes**”

**SPETTRO DI PROGETTO = SPETTRO ELASTICO**

**COEFFICIENTE DI STRUTTURA (fattore riduzione forze) / 4 !**

## 6. AZIONE SISMICA

SPETTRO DI PROGETTO = SPETTRO ELASTICO

COEFFICIENTE DI STRUTTURA (fattore riduzione forze) / 4 !

*Risparmio sulle forze con isolamento ?*

ESEMPIO ( $T_{is} = 2.5$  sec):

Struttura base fissa  $T=0.4$  sec

**$V_{fix} = 0.15$  g     $V_{is} = 0.094$  g**

Struttura base fissa  $T=1.0$  sec

**$V_{fix} = 0.06$  g     $V_{is} = 0.094$  g**

## 6. AZIONE SISMICA

### SPETTRI DI PROGETTO:

- gli **spettri elastici** definiti al punto 3.2.3 vengono adottati **come spettri di progetto**, con  $T_D = 2.5$  s;
- gli spettri di progetto allo SLD si ottengono dividendo le ordinate spettrali per **2.5**;

$$0 \leq T < T_B$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left( 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2.5 - 1) \right)$$

$$T_B \leq T < T_C$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5$$

$$T_C \leq T < T_D$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T$$

$$S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

$a_g$  = accelerazione di progetto del suolo

$S$  = fattore di suolo

$\eta$  = fattore che tiene conto dello smorzamento

## 7. MODELLAZIONE

- ❖ STATICA LINEARE
- ❖ DINAMICA LINEARE
- ❖ DINAMICA NONLINEARE

*Ne parleremo dopo: non basta modellare bisogna progettare prima.*

## 7. MODELLAZIONE

### METODI DI ANALISI:

- **analisi statica lineare** è applicabile solo se la costruzione isolata soddisfa questi requisiti:
  - il sistema è regolare in pianta secondo il punto 4.3;
  - la sovrastruttura ha un'altezza non maggiore di 20 m e non più di 5 piani;
  - la maggiore dimensione in pianta della sovrastruttura è inferiore a 50 m;
  - il sistema di isolamento può essere modellato come lineare come nel punto 10.7.2;
  - Il periodo della costruzione isolata  $T_{is}$  ha un valore compreso tra  $4T_{bf}$  e  $3s$ ;
  - la rigidezza verticale del sistema di isolamento è almeno 800 volte più grande di quella orizzontale;
  - nessun isolatore risulta in trazione per l'effetto combinato di carichi verticali e orizzontali;
  - in ciascuna delle direzioni principali orizzontali, l'eccentricità totale tra il centro di rigidezza del sistema di isolamento e la proiezione verticale del centro delle masse non è superiore al 3% della dimensione della sovrastruttura trasversale alla direzione orizzontale considerata;

## 7. MODELLAZIONE

### METODI DI ANALISI:

- analisi statica lineare

Si definiscono inoltre:

1. periodo equivalente di traslazione:

$$T_{is} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{M}{K_{esi}}}$$

2. spostamento del centro di rigidezza:

$$d_{dc} = \frac{M \cdot S_e \cdot (T_{is} \cdot \xi_{esi})}{K_{esi, \min}}$$

3. le forze orizzontali da applicare a ciascun piano della sovrastruttura:

$$f_j = m_j \cdot S_e(T_{is}, \xi_{esi})$$

4. gli effetti della torsione della sovrastruttura sui singoli dispositivi:

$$\delta_{xi} = 1 + \frac{e_{tot,y}}{r_y^2} \cdot y_i \quad \text{e} \quad \delta_{yi} = 1 + \frac{e_{tot,x}}{r_x^2} \cdot x_i$$

## 7. MODELLAZIONE

### METODI DI ANALISI:

- **analisi dinamica lineare** (è ammessa quando il sistema d'isolamento può essere rappresentato da un modello lineare equivalente);
  - per il sistema complessivo si assume un comportamento elastico lineare;
  - le due componenti orizzontali si considereranno agenti simultaneamente secondo le regole riportate in 4.6;
  - la componente verticale dovrà essere messa in conto nei casi previsti in 4.6 e quando il rapporto  $k_v/k_o$  è  $< 800$ ;
  - lo spettro elastico definito in 3.2.3 va ridotto per tutto il campo di periodi  $T \geq 0.8T_{is}$  assumendo per il coefficiente  $\eta$  il valore corrispondente al coefficiente di smorzamento viscoso.
- **analisi dinamica non lineare** (può essere svolta in ogni caso, è obbligatoria quando il sistema d'isolamento non può essere rappresentato da un modello lineare equivalente);

## 7. MODELLAZIONE

### PROPRIETA' DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO:

Le proprietà meccaniche del sistema di isolamento devono tener conto dell'influenza di:

- entità delle deformazioni in relazione allo SL;
- variabilità delle caratteristiche meccaniche nell'ambito della fornitura;
- velocità di deformazione (frequenza);
- entità dei carichi verticali agenti simultaneamente;
- entità dei carichi e delle deformazioni in direzione trasversale a quella considerata;
- temperatura
- invecchiamento

### MODELLAZIONE:

- **Sovrastruttura e sottostruttura:** sistemi a comportamento **elastico lineare**;
- **Sistema di isolamento:** comportamento **visco-elastico lineare** } in relazione alle  
comportamento **non lineare** } caratteristiche  
meccaniche  
comportamento **lineare equivalente** → se sono rispettate  
alcune condizioni

## 8. VERIFICHE

Le verifiche vanno effettuate nei confronti dei 2 Stati Limite già definiti per le strutture convenzionali

SLD: Stato Limite di Danno

SLU: Stato Limite Ultimo

**SLU**

**SPETTRO DI PROGETTO = SPETTRO ELASTICO**

**COEFFICIENTE DI STRUTTURA (fattore riduzione forze) / 4 !**

$$q = 1.15 \alpha_u / \alpha_1$$

**COME NELLE NORMATIVE AMERICANE SI CONFERMA UN COEFFICIENTE DI STRUTTURA RIDOTTO DI 4 RISPETTO A STRUTTURE A BASE FISSA**

## 8. VERIFICHE

- **Stato Limite di Danno**

- le **sottostrutture** e le **fondazioni** sono verificate se sono verificate allo SLU;
- la **sovrastuttura** è verificata controllando che gli spostamenti di interpiano siano inferiori ai limiti indicati in 4.11.2;
- il **sistema di isolamento** (se costituiti da isolatori elastomerici) è verificato se è verificato allo SLU;

- **Stato Limite Ultimo**

- la **sottostruttura** dovrà essere verificata rispetto alle sollecitazioni prodotte dalle forze e i momenti trasmessi dal sistema di isolamento e dalle forze d'inerzia direttamente applicate su di essa;
- la **sovrastuttura** deve essere verificata considerando gli effetti dell'azione sismica divisi per il fattore  $q = 1.15 \cdot (\alpha_u / \alpha_1)$ ;
- i **dispositivi** devono essere in grado di sostenere, senza rotture, gli spostamenti  $d_2$  (valutati amplificando del 20% gli spostamenti ottenuti dal terremoto di progetto se il comportamento è lineare);
- gli **isolatori** non devono essere in trazione (oppure dimostrare che l'isolatore è in grado di sostenere tale condizione);
- gli **isolatori elastomerici** devono soddisfare le verifiche riportate nell'Allegato 10.A
- le **modalità di prove sperimentali sui dispositivi** sono riportate nell'Allegato 10.B

## 9. ASPETTI COSTRUTTIVI, MANUTENZIONE, SOSTITUIBILITA'

Durabilità

60 anni

Programma di manutenzione, etc.

## 10. COLLAUDO

Il collaudo statico deve essere effettuato in corso d'opera.

Il collaudatore deve avere specifiche competenze, acquisite attraverso precedenti esperienze, come progettista, direttori dei lavori di struttura con isolamento sismico, o attraverso corsi universitari o di specializzazione universitaria.

Il collaudatore, nell'ambito dei suoi poteri discrezionali, potrà estendere i propri accertamenti ove ne ravvisi la necessità. In tal senso potrà disporre l'esecuzione di speciali prove.

## 9. ASPETTI COSTRUTTIVI, MANUTENZIONE, SOSTITUIBILITA'

Durabilità

60 anni

Programma di manutenzione, ispezione, controlli, etc.



## 9. ASPETTI COSTRUTTIVI, MANUTENZIONE, SOSTITUIBILITA'

Il progetto dei dispositivi comprende la redazione di un piano di qualità che prevede:

- la descrizione delle modalità di installazione durante la fase di costruzione dell'opera da isolare;
- il programma dei controlli periodici e degli interventi di manutenzione durante la vita di progetto della struttura, la cui durata non deve risultare minore di 60 anni;

Sono inoltre indicate delle prescrizioni ai fini della:

- durabilità
- qualità della posa in opera
- sostituzione degli isolatori

## 10. COLLAUDO

Il collaudo statico deve essere effettuato in corso d'opera.

Il collaudatore deve avere specifiche competenze, acquisite attraverso precedenti esperienze, come progettista, direttore dei lavori di struttura con isolamento sismico, o attraverso corsi universitari o di specializzazione universitaria.

Il collaudatore, nell'ambito dei suoi poteri discrezionali, potrà estendere i propri accertamenti ove ne ravvisi la necessità. In tal senso potrà disporre l'esecuzione di speciali prove.

## ALLEGATO A: VERIFICHE DEGLI ISOLATORI

Non è ovviamente sufficiente, è necessario eseguire un progetto secondo lo stato delle conoscenze.

Riferimenti: libri, corsi di specializzazione

## ALLEGATO B: MODALITA' DI PROVA DEGLI ISOLATORI

QUALIFICAZIONE: 4 invece del 5% !

ACCETTAZIONE: 20% invece di tutti !

**La norma ha rilassato i requisiti di controllo, contrariamente alle normative americane che nel tempo hanno reso via via più stringenti i requisiti di progetto**

## ALLEGATO 10.A – VERIFICA ALLO SLU DEGLI ISOLATORI ELASTOMERICI

- Tensione negli inserti in acciaio:**

$$\sigma_s = \frac{1.3 \cdot V \cdot (t_1 + t_2)}{A_r \cdot t_s} \leq f_{yk}$$

$\sigma_s$  è la tensione massima nella piastra d'acciaio;  
 $V$  è lo sforzo normale massimo sull'isolatore;  
 $t_1$  e  $t_2$  sono gli spessori dei due strati di gomma;  
 $A_r$  area ridotta efficace;  
 $t_s$  è lo spessore della piastra;  
 $f_{yk}$  è la tensione di snervamento dell'acciaio;

- Deformazione di taglio massima degli isolatori:**

$$\gamma_t \leq 5$$

$$\gamma_s \leq \frac{\gamma^*}{1.5} \leq 2$$

$\gamma_t = \gamma_c + \gamma_s + \gamma_\alpha$  è la deformazione a taglio totale di progetto;  
 $\gamma_c$  è la deformazione a taglio per la compressione;  
 $\gamma_s$  è la deformazione a taglio per lo spostamento sismico;  
 $\gamma_\alpha$  è la deformazione a taglio per la rotazione angolare;  
 $\gamma^*$  è la massima deformazione a taglio raggiunta nelle prove;

- Instabilità:**

$$V_{\max} \leq \frac{V_{cr}}{2.5}$$

$V_{\max}$  è il carico massimo agente sull'isolatore;  
 $V_{cr}$  è il carico critico

## ALLEGATO 10.B – MODALITA' DI PROVA DEI DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO

- **Isolatori in materiale elastomerico ed acciaio:**

- le **prove di accettazione sui materiali** sono quelle previste dalla CNR 10018 (salvo qualche modifica);
- le **prove di qualificazione sui dispositivi** sono:
  - \* determinazione statica della rigidezza a compressione;
  - \* determinazione statica del modulo statico di taglio G;
  - \* determinazione dinamica del modulo dinamico di taglio G;
  - \* determinazione delle curve  $G-\gamma$  e  $\xi-\gamma$ ;
  - \* determinazione delle caratteristiche di creep;
  - \* determinazione delle variazioni di rigidezza verticale e orizzontale;
  - \* valutazione della stabilità del dispositivo sotto compressione e taglio;
  - \* valutazione della capacità di sostenere almeno 10 cicli con spostamento massimo impresso pari a  $1.2 d_2$ ;
  - \* valutazione dell'efficacia dell'aderenza elastomero-acciaio;

Prove da eseguirsi su non meno di 2 dispositivi
- le **prove di accettazione sui dispositivi** sono:
  - \* verifica dimensionale delle tolleranze imposte dal CNR10018;
  - \* determinazione statica della rigidezza verticale;
  - \* determinazione statica del modulo di taglio G;
  - \* valutazione dell'efficacia dell'aderenza elastomero-acciaio;

Prove da eseguirsi sul 20% dei dispositivi e non meno di 4

## ALLEGATO 10.B – MODALITA' DI PROVA DEI DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO

- **Isolatori a scorrimento:**

- le **prove di accettazione sui materiali** sono quelle previste dalla EN 1337-2;

- le **prove di qualificazione sui dispositivi** sono:

- \* determinazione statica del coefficiente di attrito per  $V_{es}$ ,  $V_{max}$  e  $V_{min}$ ;

- \* determinazione dinamica del coefficiente di attrito per  $V_{es}$ ,  $V_{max}$  e  $V_{min}$  e per 3 valori della velocità;

Prove da eseguirsi su non meno di 2 dispositivi

- le **prove di accettazione sui dispositivi** sono:

- \* verifica dimensionale delle tolleranze imposte dalla EN 1337-2;

- \* determinazione statica del coefficiente di attrito per  $V_{es}$ ,  $V_{max}$  e  $V_{min}$ ;

Prove da eseguirsi sul 20% dei dispositivi e non meno di 4

## ALLEGATO 10.B – MODALITA' DI PROVA DEI DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO

- **Dispositivi a comportamento non lineare e lineare:**

- le **prove di accettazione sui materiali** sono finalizzate ad accertare:

- \* la tensione e l'allungamento al limite elastico;
- \* la tensione e l'allungamento a rottura del materiale;

- le **prove di qualificazione sui dispositivi** sono:

- \* prova "preliminare" con 4 cicli di deformazioni alternate con ampiezza  $\pm 0.1 d_2$ ,  $\pm 0.3 d_2$ ,  $\pm 0.5 d_2$ ,  $\pm d_2$ ;
- \* prova "quasi statica" con 5 cicli di deformazioni alternate con ampiezza  $\pm 1.2 d_2$ ;
- \* prova "dinamica" con 5 cicli di deformazioni alternate con ampiezza  $\pm 1.2 d_2$ ;

Prove da eseguirsi su non meno di 2 dispositivi

- le **prove di accettazione sui dispositivi** sono:

- \* verifica dimensionale con tolleranze del  $5 \pm 10\%$ ;
- \* determinazione della rigidezza teorica iniziale  $K_1$  condotta tramite 4 cicli con ampiezza non inferiore a  $\pm d_2/20$ ;
- \* prova "quasi statica" con 5 cicli di deformazioni alternate con ampiezza  $\pm 1.2 d_2$ ;

Prove da eseguirsi sul 20% dei dispositivi e non meno di 4

## ALLEGATO 10.B – MODALITA' DI PROVA DEI DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO

- **Dispositivi a comportamento viscoso:**

- le **prove di accettazione sui materiali** sono finalizzate ad accertare:

- \* le caratteristiche di viscosità del fluido;

- le **prove di qualificazione sui dispositivi** sono:

- \* prova “preliminare” con 4 cicli di deformazioni alternate con ampiezza  $\pm 0.1 d_2$ ,  $\pm 0.3 d_2$ ,  $\pm 0.5 d_2$ ,  $\pm d_2$ ;

- \* prova “dinamica” con 5 cicli di deformazioni alternate con ampiezza  $\pm 1.2 d_2$ ;

Prove da eseguirsi su non meno di 2 dispositivi

- le **prove di accettazione sui dispositivi** sono:

- \* verifica dimensionale con tolleranze del  $5 \div 10\%$ ;

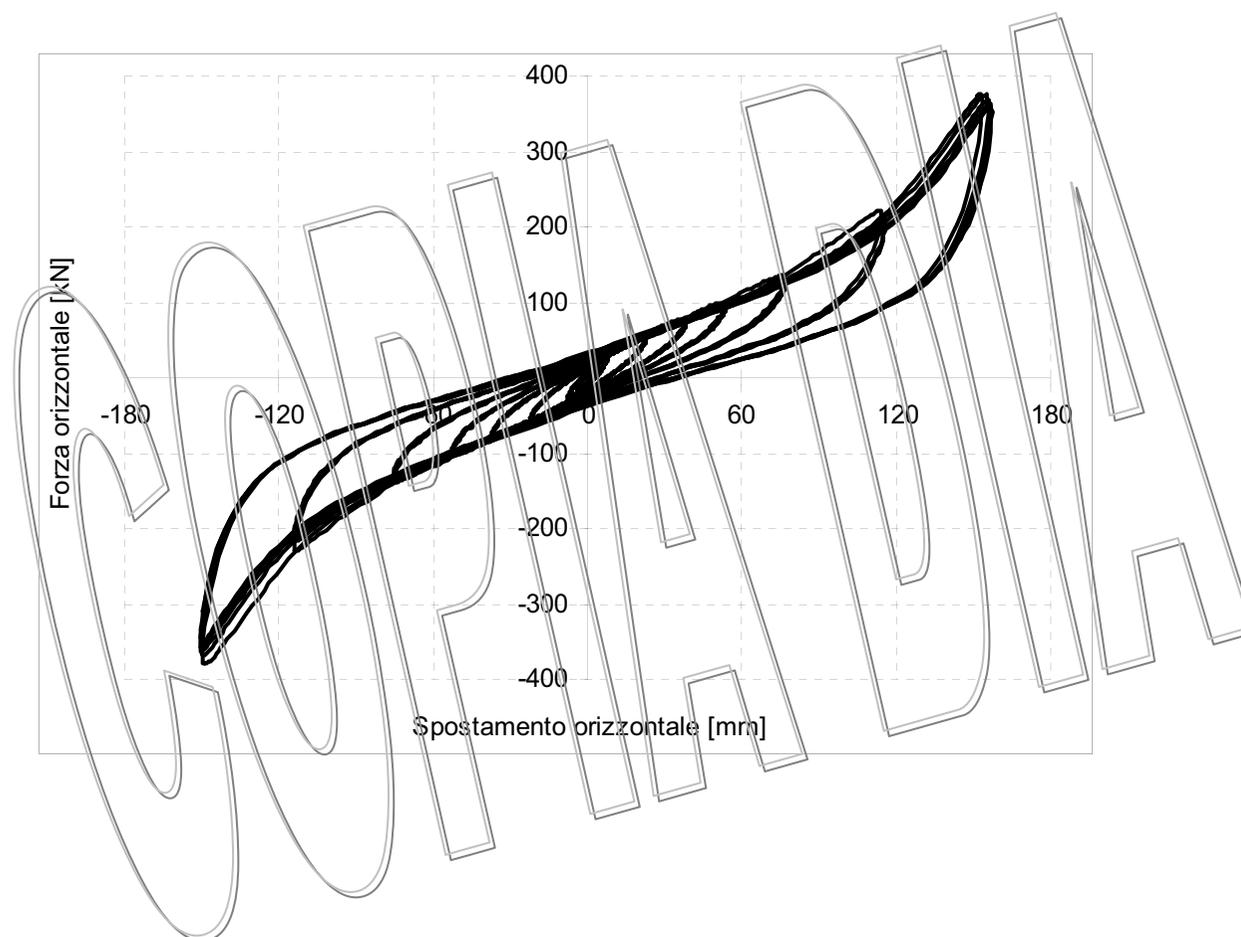
- \* determinazione della rigidità teorica iniziale  $K_1$  condotta tramite 4 cicli con ampiezza non inferiore a  $\pm d_2/20$ ;

- \* prova “dinamica” con 10 cicli di deformazioni alternate con ampiezza  $\pm d_2$ ;

Prove da eseguirsi sul 20% dei dispositivi e non meno di 4

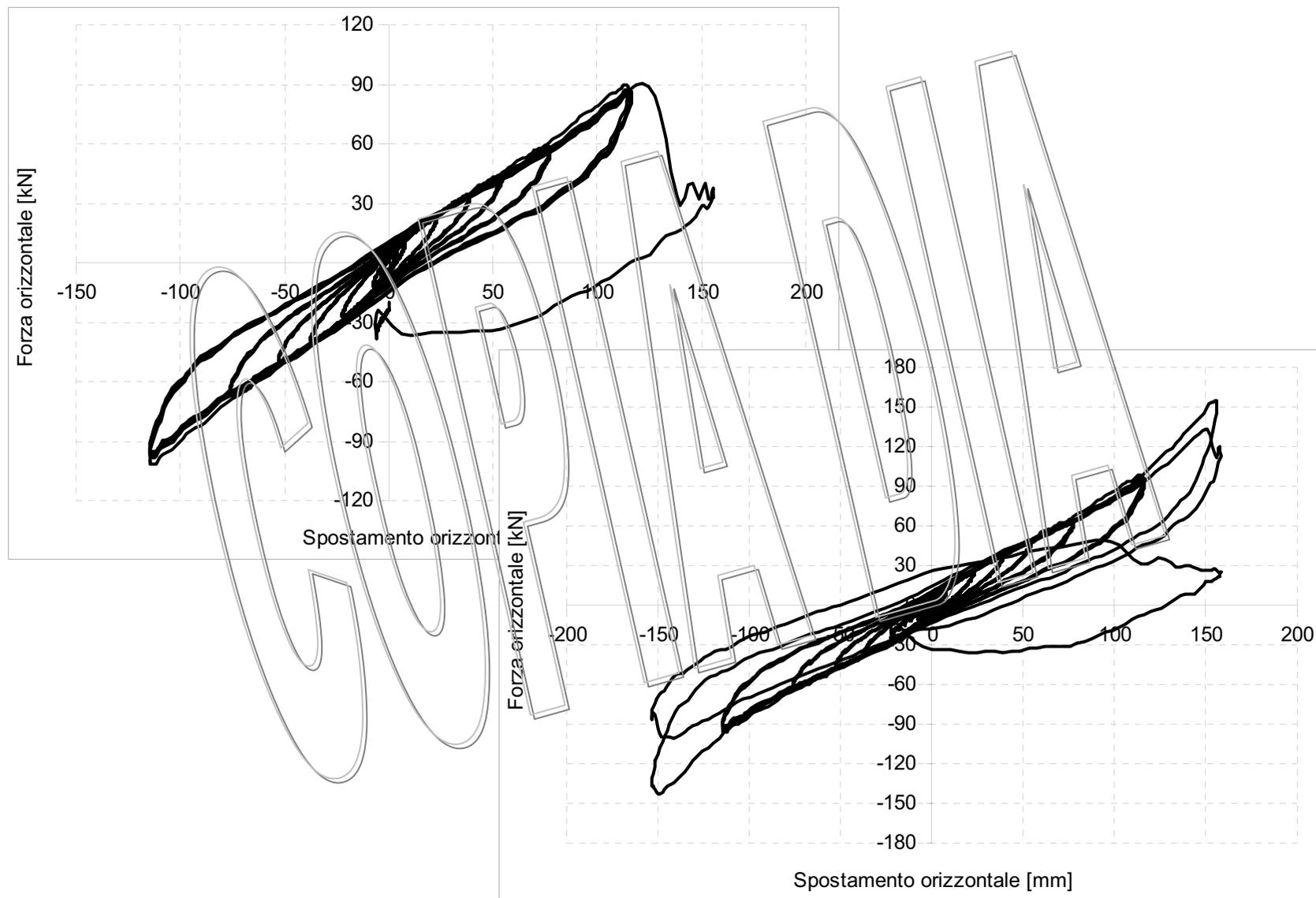
# MODALITA' DI PROVA DEI DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO

## Prove di qualificazione sui dispositivi



# MODALITA' DI PROVA DEI DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO

## Prove sui dispositivi



# MODALITA' DI PROVA DEI DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO

## Prove sui dispositivi

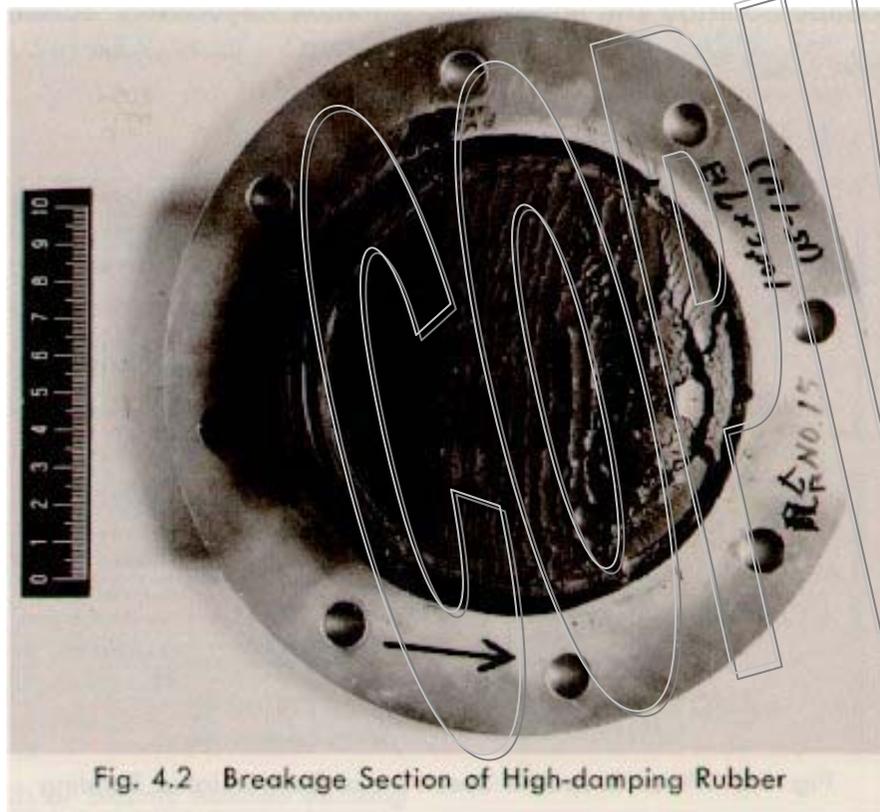


Fig. 4.2 Breakage Section of High-damping Rubber

# Edifici isolati \_ Antonello De Luca

Fine seconda parte  
proviamo con un altro filmino

COPYRIGHT

# Edifici isolati \_ Antonello De Luca

Terza parte:

L'applicazione dell'Ordinanza ad un  
edificio reale

# ESEMPIO PROGETTUALE : SOMMARIO

## • INQUADRAMENTO DEL PROBLEMA

**Ottimizzazione** dell'isolamento sismico alla base di edifici intelaiati in c.a. (morfologia e tipologia tipica) tramite isolatori HDRB (High Damping Rubber Bearing)

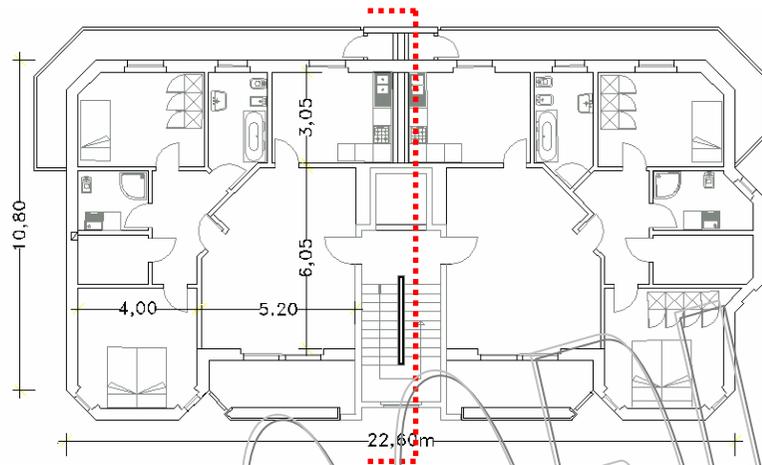
## • PROGETTO ED ANALISI NUMERICHE

- Progetto edifici a base fissa (Struttura A) ed a base isolata (strutture B e C);
- Analisi delle strutture sia in campo elastico che inelastico;
- Analisi dei costi di realizzazione;
- Confronti

## • CONCLUSIONI

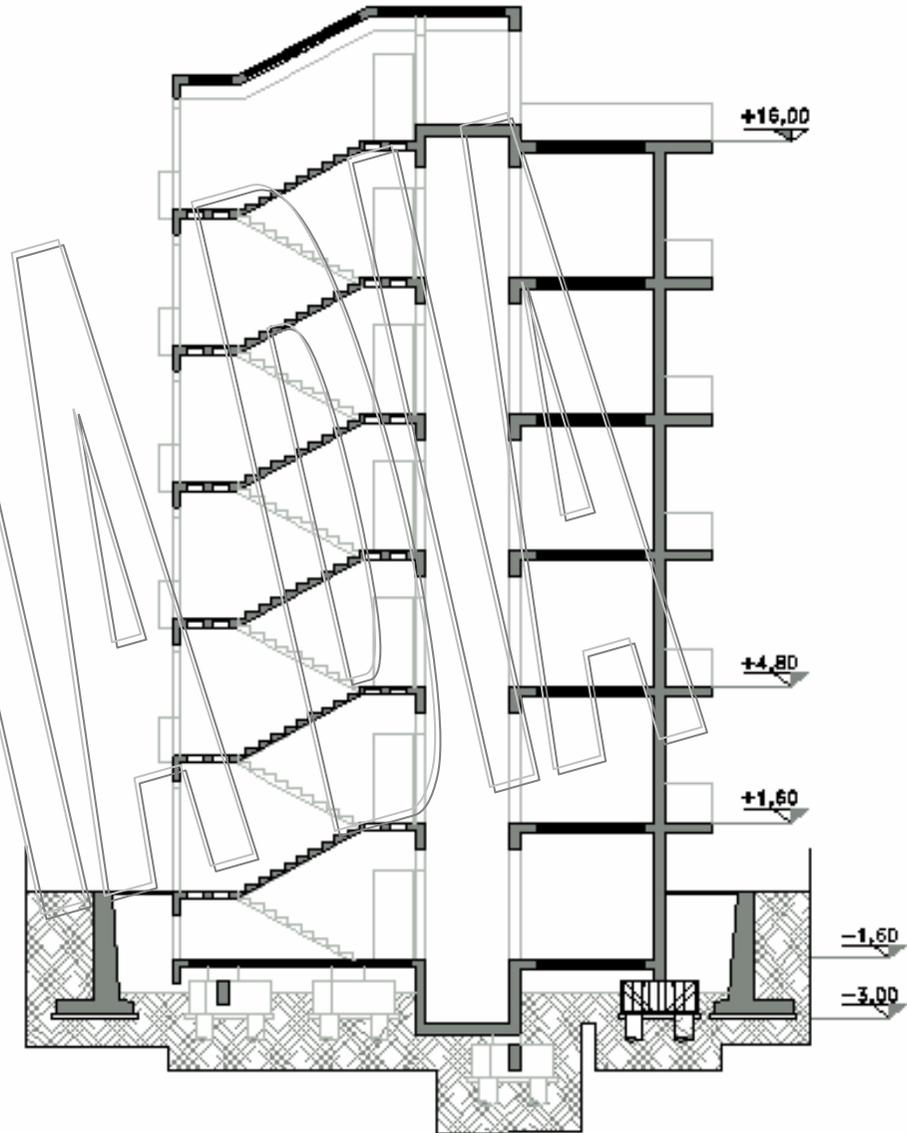


# EDIFICIO IN ESAME



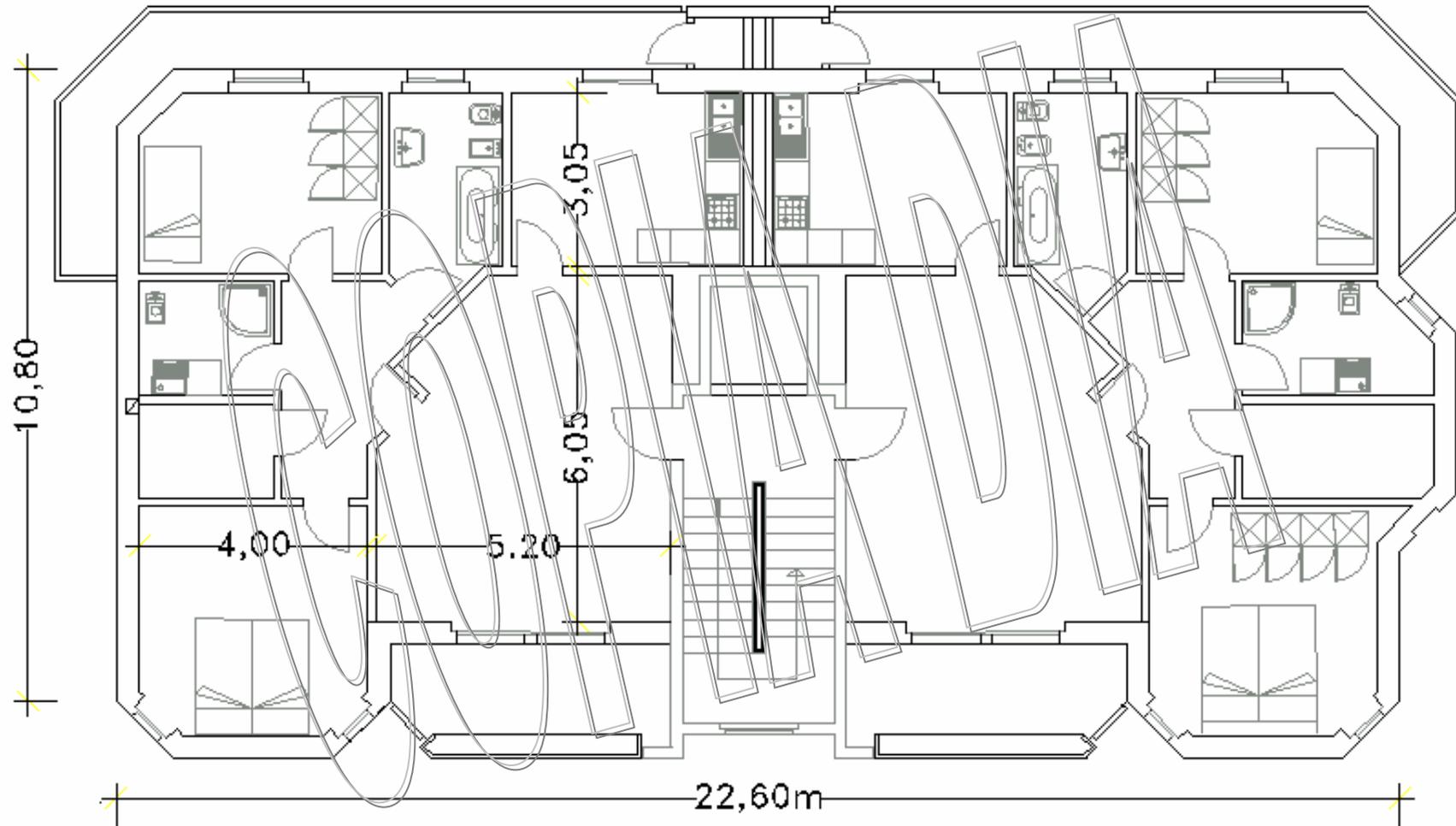
## ORDINANZA 3274

- 6 PIANI
- PRIMA CATEGORIA
- SUOLO TIPO C



# PIANTA ARCHITETTONICA

Edificio in linea - 10 unità abitative di 110mq - Due abitazioni per piano

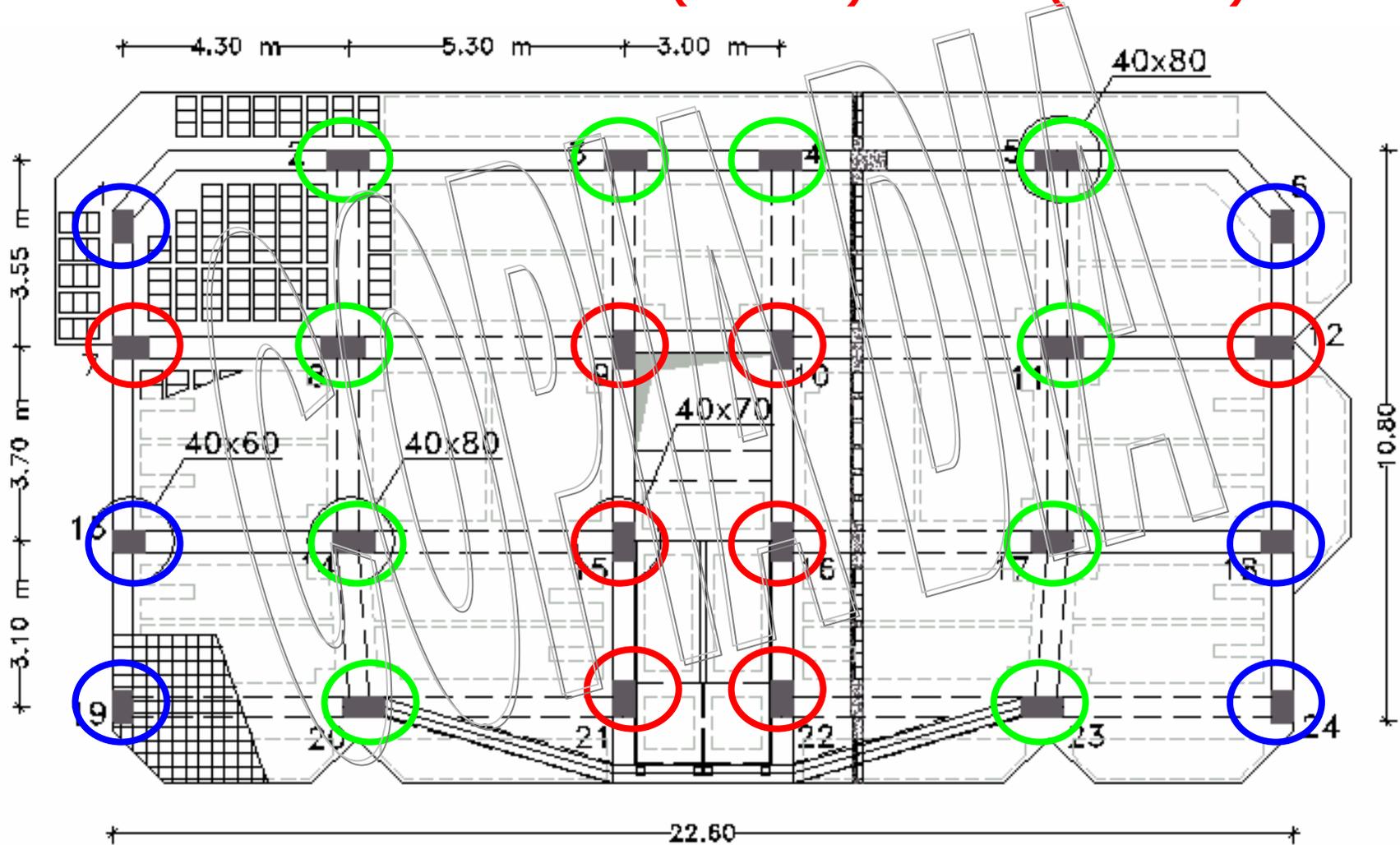


Altezza di interpiano 3,2m.

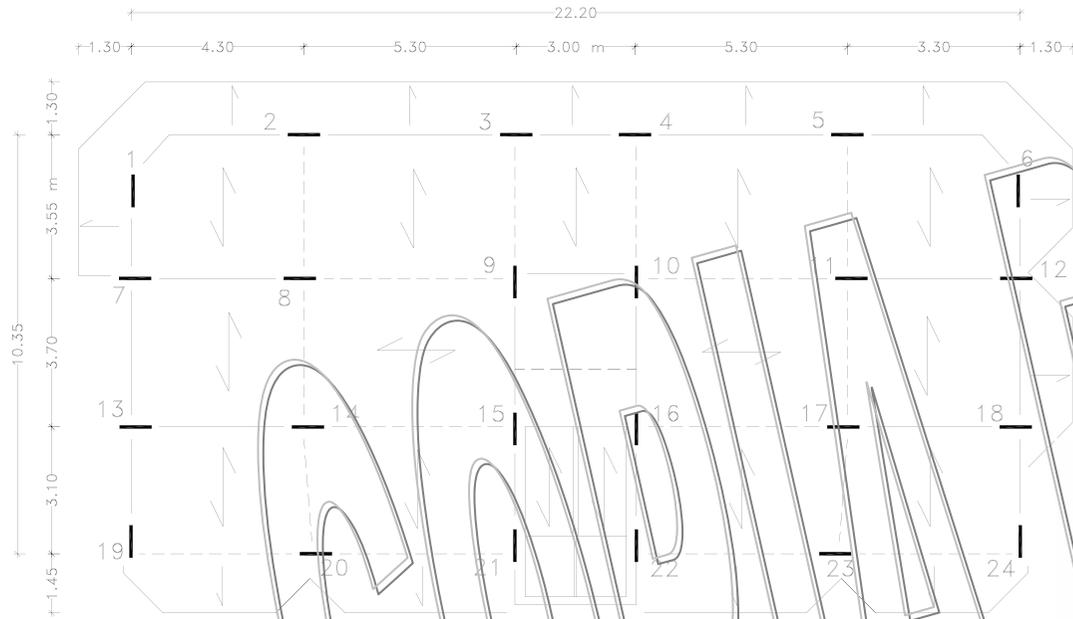
# CARPENTERIA PRIMO IMPALCATO

**PILASTRI: 40x80-40x70-40x60 TRAVI EMERG.: 40x70 -30x60-30x50**

**TRAVI SPESSORE: 25x80 (caricate) – 25x60 (scariche)**



# SCHEMA DELLA CARPENTERIA E MODELLO SPAZIALE



Struttura a base fissa 40x70

24 pilastri

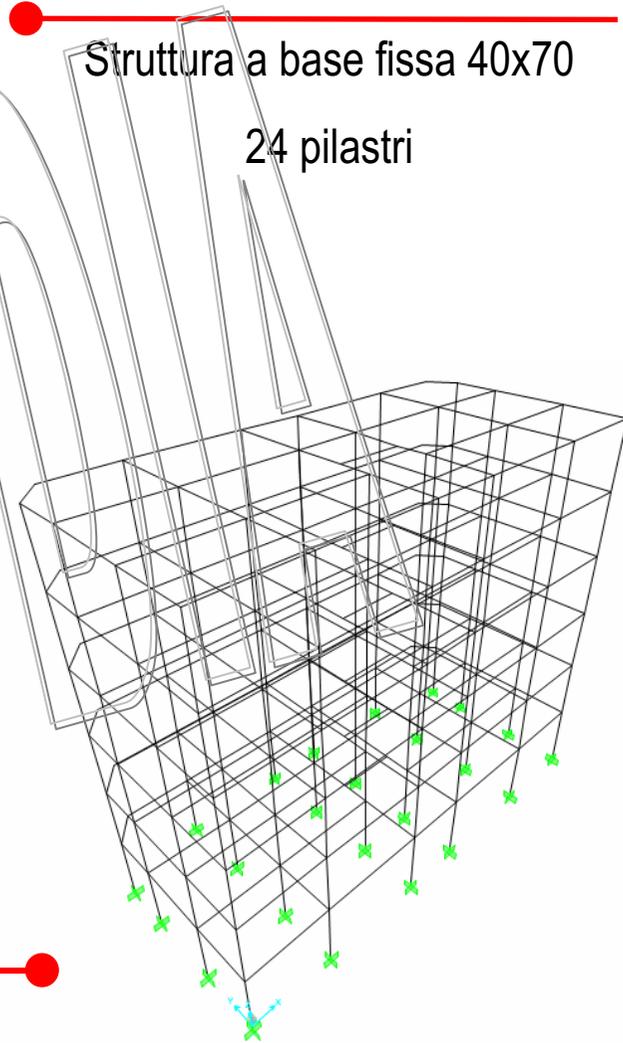
Telaio spaziale a piani rigidi

Materiali: calcestruzzo armato,  $E=2,531e+09 \text{ kg/m}^2$ ,  $\nu=0,2$

Masse concentrate nel baricentro geometrico;

Piano rigido: constraint diaphragm;

Analisi: Modale con spettro di risposta e time-history



# PROCESSO PROGETTUALE: FASI

- **Analisi dei carichi:**

- Analisi dei carichi unitari;
- Valutazione dei Carichi Verticali;
- Valutazione del “peso sismico  $W$ ”;
- Valutazione Forze Orizzontali.

- **Dimensionamento degli elementi strutturali;**

- **Calcolo delle sollecitazioni nella struttura;**

- **Verifica degli elementi strutturali.**

# ANALISI DEI CARICHI

Solaio

$$P1 = q_{\text{solaio}} \times \alpha_s \times \alpha_t \times A$$

Travi- p.p.

$$P2 = p_{\text{trave}} \times \alpha_t \times L - \text{carichi fissi solaio} \times b_{\text{trave}}$$

Tompagni

$$P3 = p_{\text{tompagno}} \times L$$

Tramezzi

$$P4 = p_{\text{tramezzo}} \times \lambda \quad (\lambda \text{ da posizione pilastro})$$

$$P = P1 + P2 + P3 + P4$$

Pilastri- p.p.

$$G_r = 10\% P_{\text{tot}}$$

RIEPILOGO CARICHI ALLA BASE IN (t)

67	101	88	88	101	67
83	108	91	91	108	83
72	99	99	99	99	72
64	96	85	85	96	64

SOLAIO:

$$G_k = 475 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_k = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$N_r(t) = N_{r-1} + P + G_r$$

# PESI SISMICI – $W_{tot}=1525t$

$$W = G_k + \sum_i \Psi_{Ei} Q_{ki}$$

$\Psi_{Ei} = 0,30$  ultimo piano ,  $0,15$  altri piani

## Impalcato 1°e 2°

Solaio	78153,8 kg
Travi emergenti	9049,5 kg
Travi spessore	22140 kg
Tompagni	76940,5 kg
Sbalzo	26917,5 kg
Scala	6305 kg
Pilastrini	56320 kg
<b>TOT</b>	<b>276 t</b>

## Impalcato 3°e 4°

Solaio	79406,2 kg
Travi emergenti	9049,5 kg
Travi spessore	22140 kg
Tompagni	76940,5 kg
Sbalzo	26917,5 kg
Scala	6305 kg
Pilastrini	36480 kg
<b>TOT</b>	<b>257 t</b>

## Impalcato 5°

Solaio	79769,8 kg
Travi emergenti	9049,5 kg
Travi spessore	22140 kg
Tompagni	76940,5 kg
Sbalzo	26917,5 kg
Scala	6305 kg
Pilastrini	30720 kg
<b>TOT</b>	<b>252 t</b>

## Impalcato 6°

Solaio	84508,6 kg
Travi emergenti	9049,5 kg
Travi spessore	22140 kg
Tompagni	38470,3 kg
Sbalzo	30247,5 kg
Scala	7085 kg
Pilastrini	15360 kg
<b>TOT</b>	<b>207 t</b>

# FORZE SISMICHE - ORDINANZA n.3274

## •CALCOLO DEL PRIMO PERIODO DI VIBRAZIONE

$$T1=C1*H^{(3/4)}$$

**0,69 sec**

$$C1= 0,075$$

per edifici in c.a.

$$H= 19,2 \text{ m}$$

altezza edificio dal piano fondale

## •CALCOLO ORDINATA SPETTRALE PER T1 - FATTORE DI STRUTTURA

$$Sd(T1)=ag*S^{2,5}/q*(Tc/T1)= 0,14$$

$ag$ = accelerazione orizzontale massima pari a 0,35g per edificio in 1° categoria

$S$ = fattore di suolo pari a 1,25 per suolo C

$q$ = fattore di struttura pari  $q_0*KD*KR=$

**5,85**

$q_0$ =tipologia strutturale e per strutture a telaio= $4,5*\alpha u/\alpha 1=4,5*1,3= 5,85$

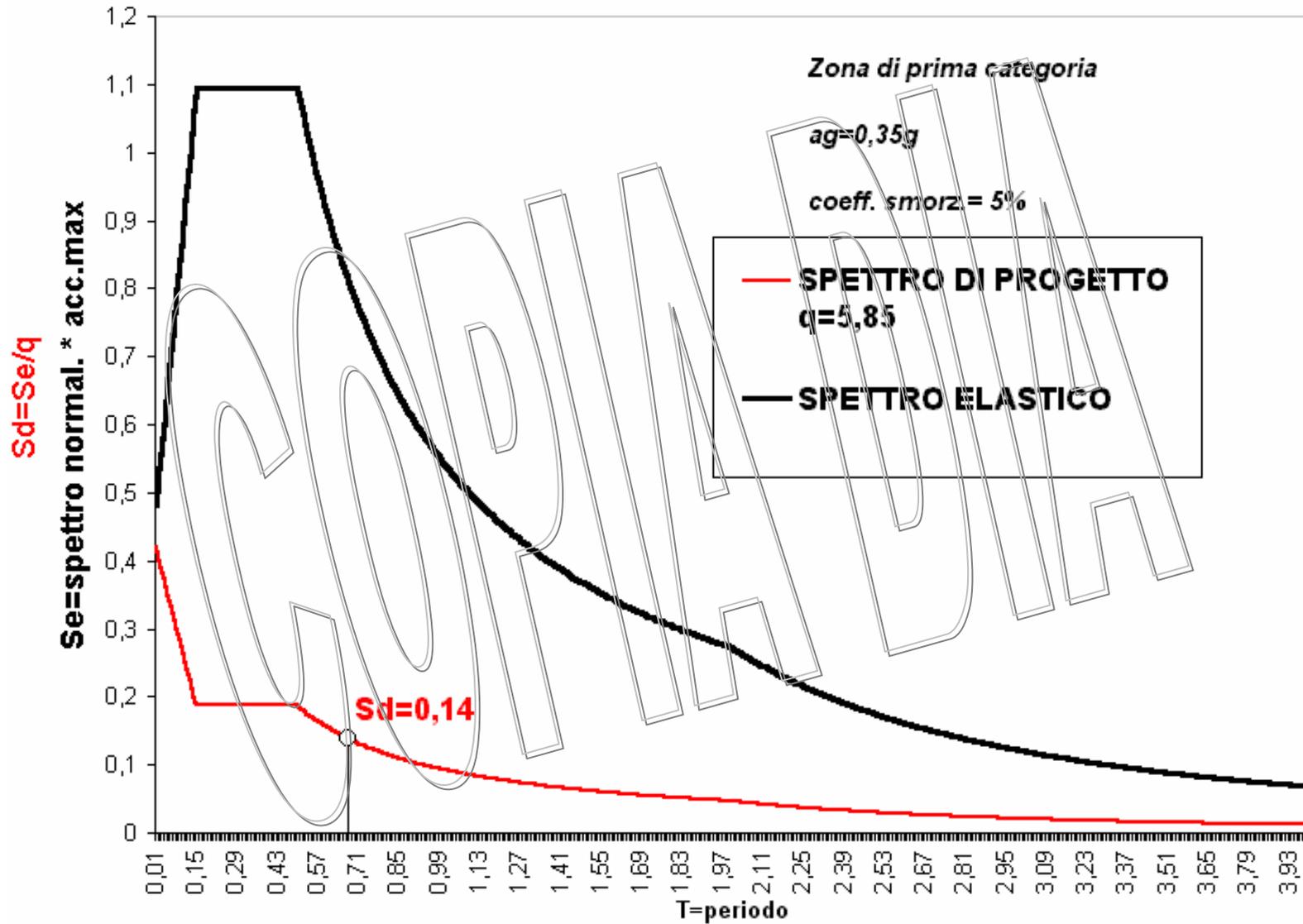
$\alpha u/\alpha 1=1,3$  (edifici a più piani e più campate - ordinanza par.5.3.1)

$KD=1$  per classe di duttilità CD"A"

per telai a più piani e più campate.

$KR=1$  per edifici regolari in altezza

# FORZE SISMICHE - ORDINANZA n.3274



# FORZE SISMICHE - ORDINANZA n.3274

## •FORZE STATICHE EQUIVALENTI ALL'AZIONE SISMICA

$$F_i = \gamma_i F_h \longrightarrow \gamma_i = z_i * W_i / \sum (z_i * W_i)$$

$$F_h = S_d(T_1) * W * \lambda$$

$W_i$  e  $W_j$  = pesi sismici delle masse ai piani i e j

$z_i$  e  $z_j$  = altezze dei piani i e j dalle fondazioni

$S_d(T_1)$  = ordinata dello spettro di risposta di progetto

$W$  = peso sismico complessivo **1524833 kg**

$\lambda$  = coefficiente pari a 0.85 se l'edif. ha almeno tre piani e se  $T_1 < 2T_c$ , vale 1 altrimenti.

## •FORZE SISMICHE AI PIANI

F1=	9473 kg
F2=	18946 kg
F3=	26503 kg
F4=	35338 kg
F5=	43246 kg
F6=	42626 kg

## •TAGLIO AI PIANI

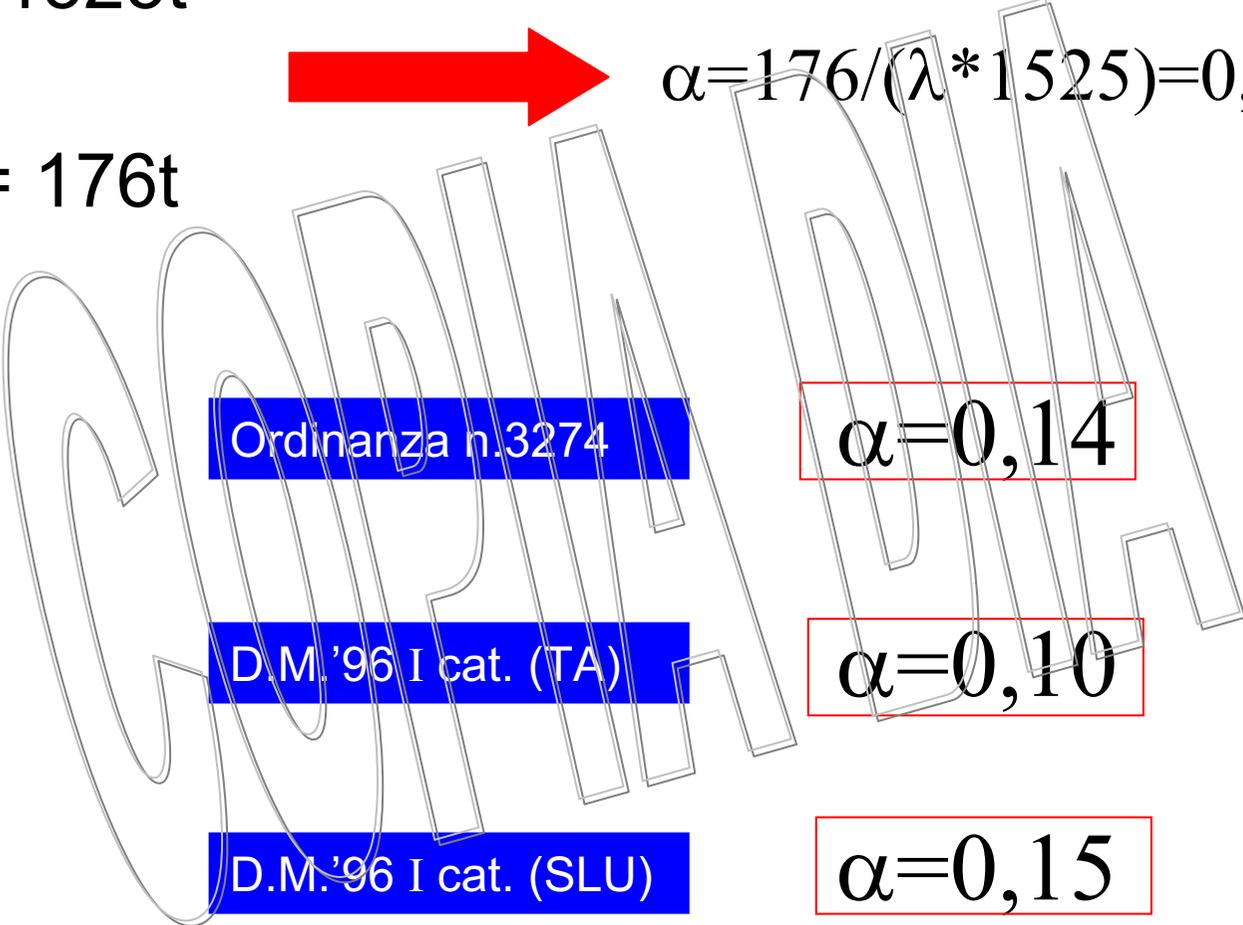
<b>Vbase=</b>	<b>176131 kg</b>
V2=	133505 kg
V3=	90260 kg
V4=	54922 kg
V5=	28418 kg
V6=	9473 kg

# FORZE SISMICHE - ORDINANZA n.3274

$$W_{\text{tot}} = 1525\text{t}$$

$$V_{\text{base}} = 176\text{t}$$


$$\alpha = 176 / (\lambda * 1525) = 0,14$$



Ordinanza n.3274

$$\alpha = 0,14$$

D.M.'96 I cat. (TA)

$$\alpha = 0,10$$

D.M.'96 I cat. (SLU)

$$\alpha = 0,15$$

# GERARCHIA DELLE RESISTENZE – CD”A”

## •PILASTRI

*I MOMENTI FLETTENTI DI CALCOLO SI OTTENGONO AMPLIFICANDO QUELLI DA ANALISI DI UN FATTORE  $\alpha$ .*

*QUESTO NELL'INTENTO DI FAVORIRE IL MECCANISMO 1 PERCHE' ESSO RICHIEDE UNA MINORE ROTAZIONE  $\theta$  DELLE CERNIERE PLASTICHE FORMATESI ALLA BASE.*

$$\alpha = \gamma_{Rd} * |\sum M_{Rt}| / |\sum M_p|$$

$$\gamma_{Rd} = 1.20$$

$M_{Rt}$  = momento resistente della trave convergente nel nodo

$M_p$  = momento nei pilastri sopra e sotto al nodo

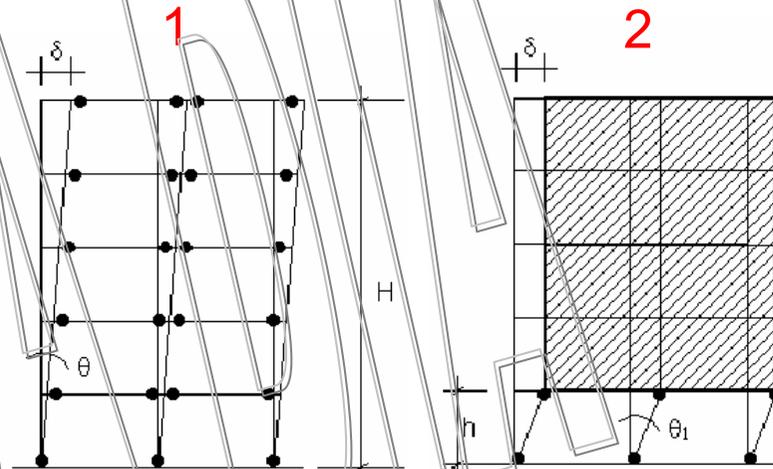
**E' RISULTATO UN  $\alpha_{max} = 1,5 \rightarrow +50\%$**

PER EVITARE ROTTURE INELASTICHE A TAGLIO

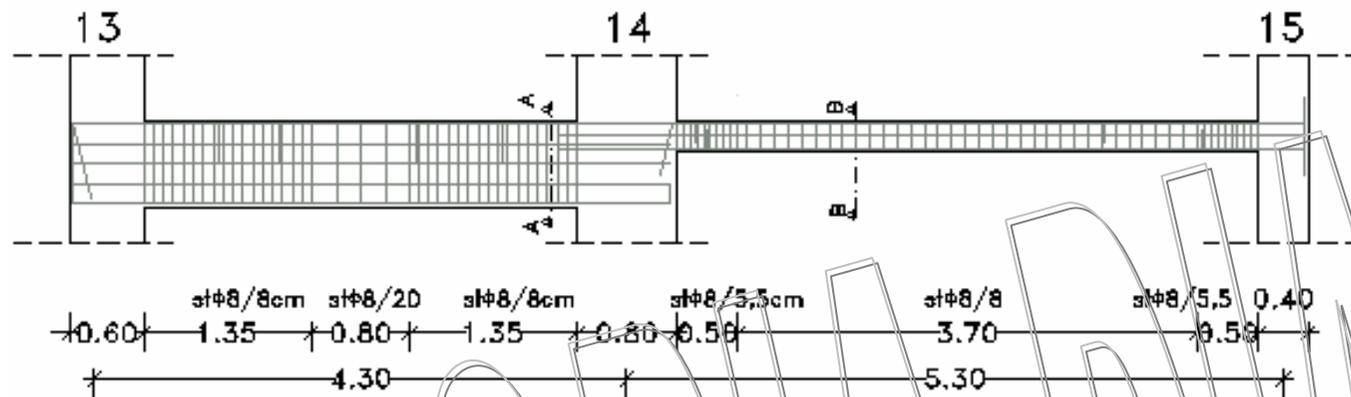
$$V_d = \gamma_{Rd} * (M^s_{Rp} + M^i_{Rp}) / I_{pil}$$

## •TRAVI

*Per evitare rotture inelastiche a taglio nelle travi gli sforzi di taglio di calcolo si ottengono sommando il contributo dovuto ai carichi verticali allo sforzo di taglio prodotto dai momenti resistenti delle sezioni di estremità amplificati di  $\gamma_{Rd} = 1.20$ .*

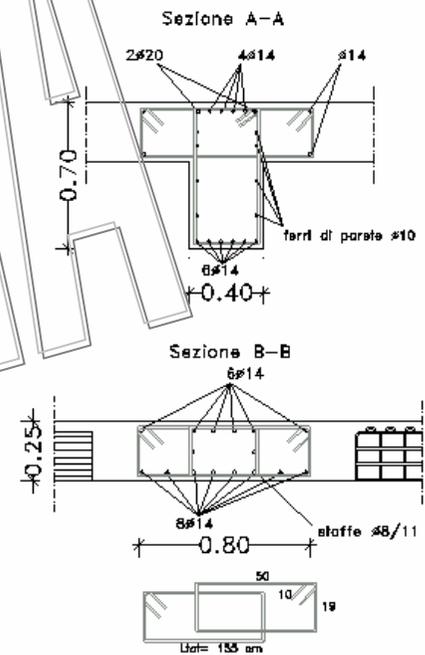
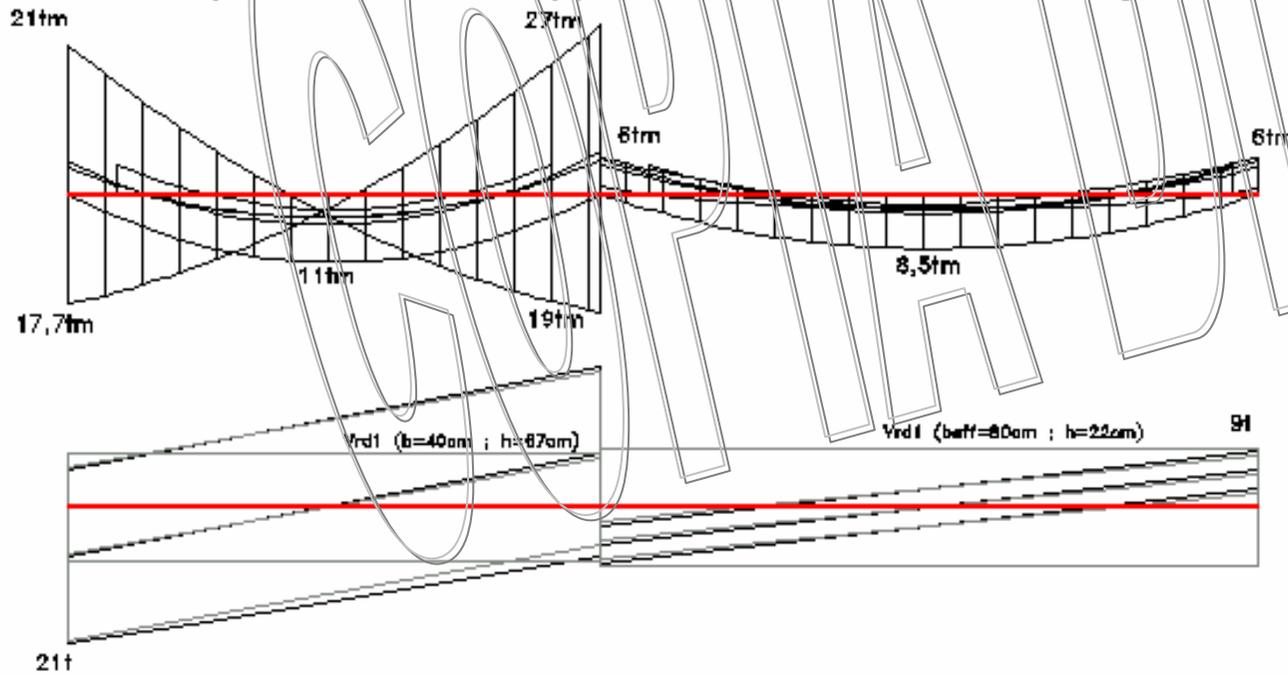


# TRAVE 13-15 – ORDINANZA n.3274

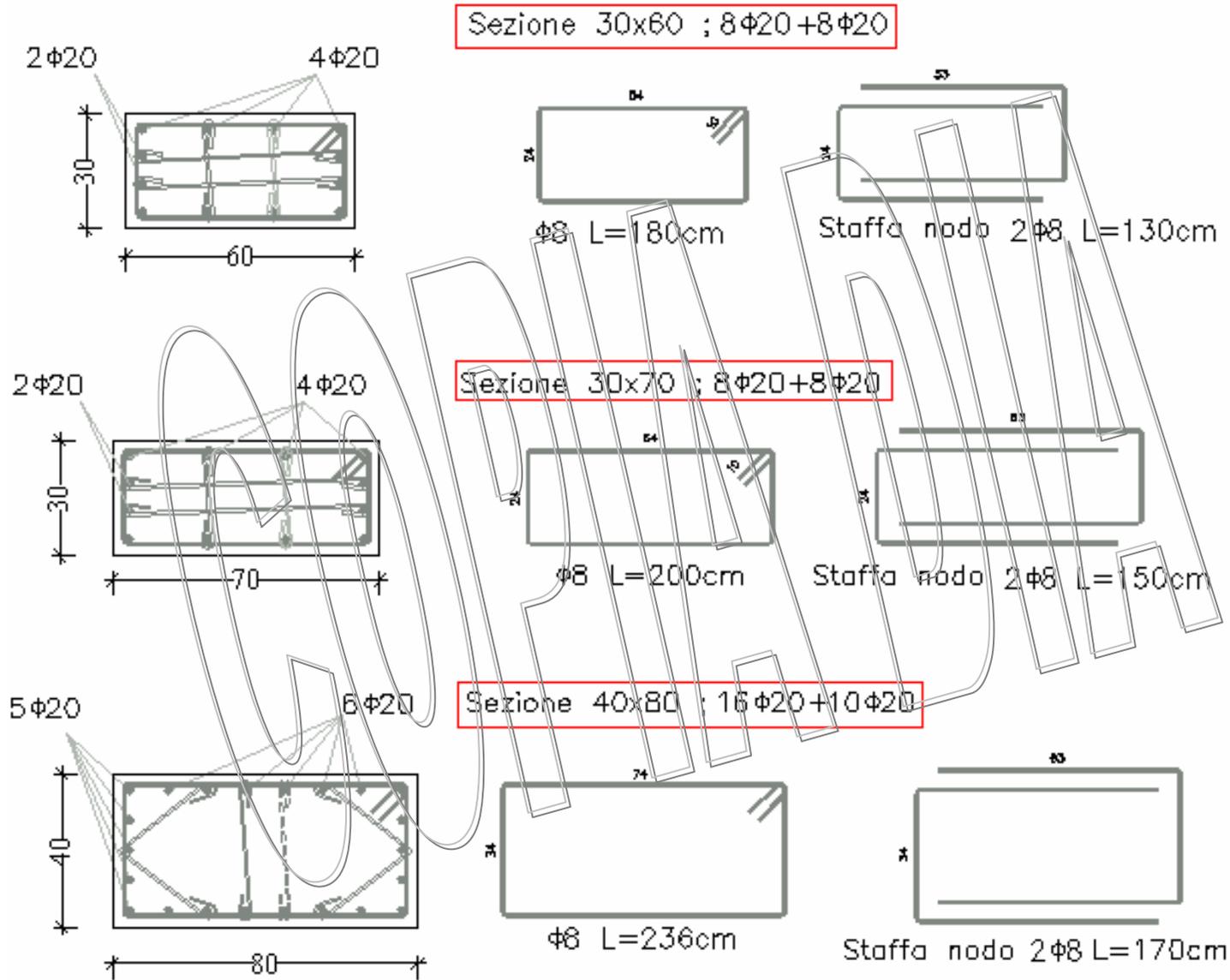


**TRAVI EMERGENTI**  
 1°-2°Ord. 40X70  
 3°-4°Ord. 30X60  
 5°-6°Ord. 30X50

Diagrammi di involucro del momento e del taglio



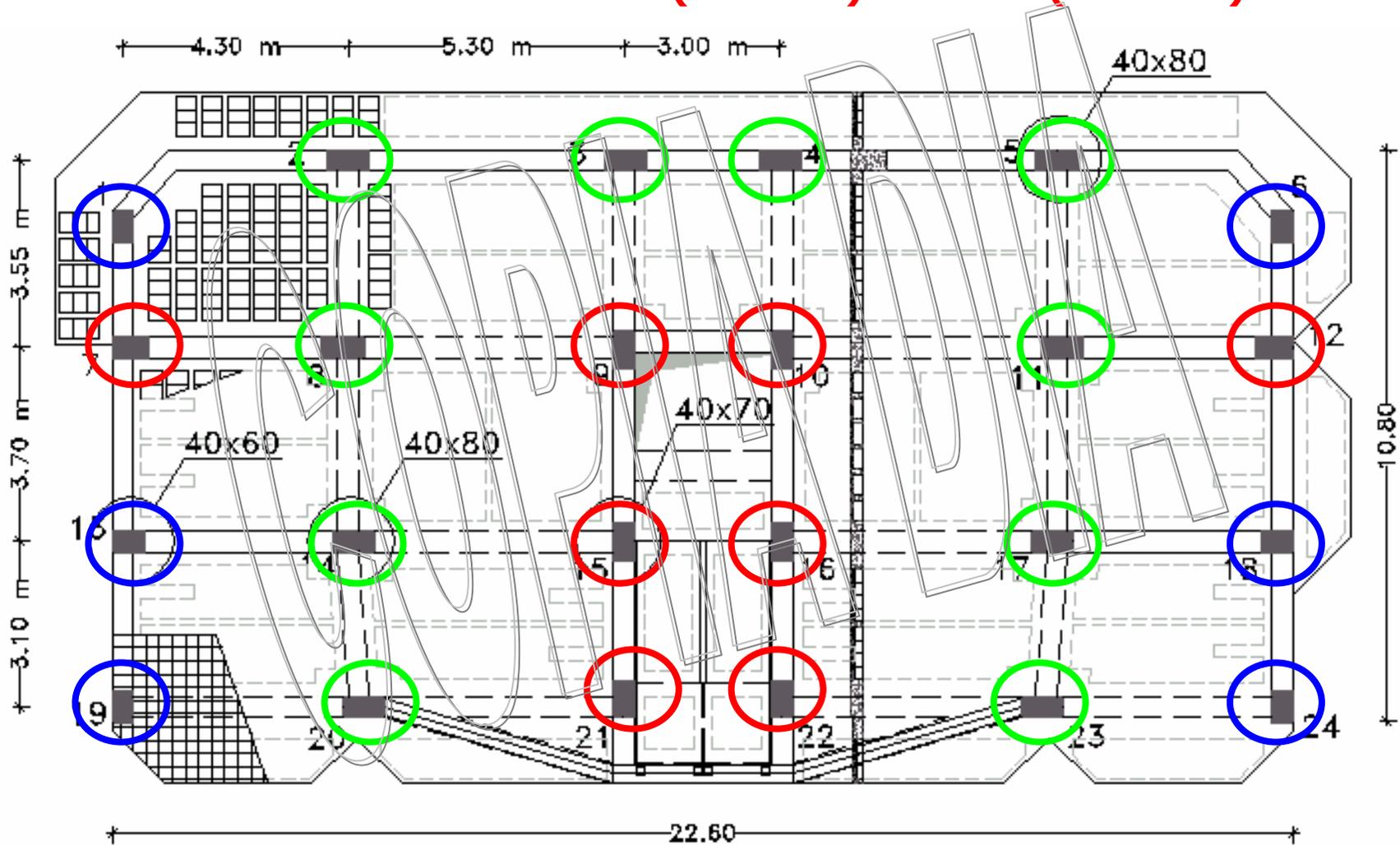
# SEZIONI PILASTRO 3



# CARPENTERIA PRIMO IMPALCATO

**PILASTRI: 40x80-40x70-40x60 TRAVI EMERG.: 40x70 -30x60-30x50**

**TRAVI SPESSORE: 25x80 (caricate) – 25x60 (scariche)**





**EDIFICIO A BASE ISOLATA**

**STRUTTURA B - 40X70**

# PROGETTO con Isolamento alla Base

## Check list

- 1) Convincere il cliente
- 2) Analisi costi - benefici
- 3) Analisi dei costi
- 4) **Disporre di normative**
- 5) Richiedere permessi
- 6) Fare le cose per bene
- 7) Progettare (semplice)
- 6) Eseguire (semplice)

PROPIANNA

# PROGETTO STRUTTURALE

## 1) Scelta del periodo di isolamento

2.5 secondi almeno quattro volte periodo fisso

## 2) Progetto isolatori

Verticale  $\Rightarrow$  Area

30 Kg/cm<sup>2</sup>  $\Rightarrow$  100 Kg/cm<sup>2</sup>

Orizzontale  $\Rightarrow T = 2\pi (K/m)^{1/2}$

m= massa;

K= rigidezza

G A /h

## 3) Progetto elementi di dettaglio

Snellezza globale (ribaltamento)  $H/L < 1 / 3$

Snellezza locale Spessore gomma / altezza singolo strato

# METODOLOGIA DI PROGETTO DI ISOLATORI HDRB

Conciliare le esigenze di sostenere i carichi verticali e di avere una grossa deformabilità in orizzontale per avere un considerevole aumento del periodo.

$T_{isol}$  = periodo di isolamento

3 s, almeno quattro volte il periodo fisso.

$\sigma_v$  = tensione di lavoro media verticale

$$\sigma_v = \frac{N}{A}$$

N = sforzo normale agente sull'isolatore;

A = superficie caricata.

L'altezza dell'isolatore si dimensiona in funzione dello spostamento di progetto:

$S_1$  = fattore di forma primario → **controlla** l'instabilità locale dell'isolatore;

$$S_1 = \frac{A'}{As}$$

A' = area caricata;

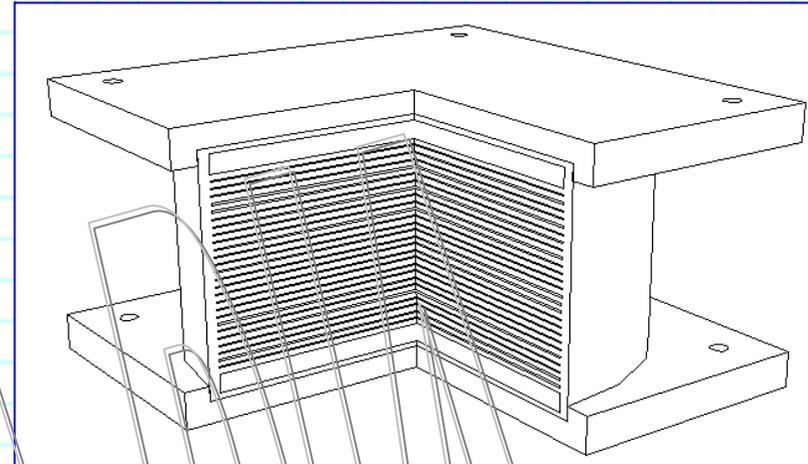
As = superficie laterale libera (scarica);

$S_2$  = fattore di forma secondario → **controlla** l'instabilità globale della struttura;

$$S_2 = \frac{D}{t_e}$$

D = dimensione in pianta della piastra di acciaio;

$t_e$  = spessore totale degli strati di gomma;



# METODOLOGIA DI PROGETTO DI ISOLATORI HDRB

$K_o$  = rigidezza orizzontale:

$$K_o = \frac{G_{din} A}{t_e} \quad G_{din} = \text{modulo a taglio};$$

Si calcola la rigidezza totale sommando le rigidezze dei singoli isolatori, quindi si ricava il periodo di isolamento:

$T_{is}$  = periodo di isolamento:

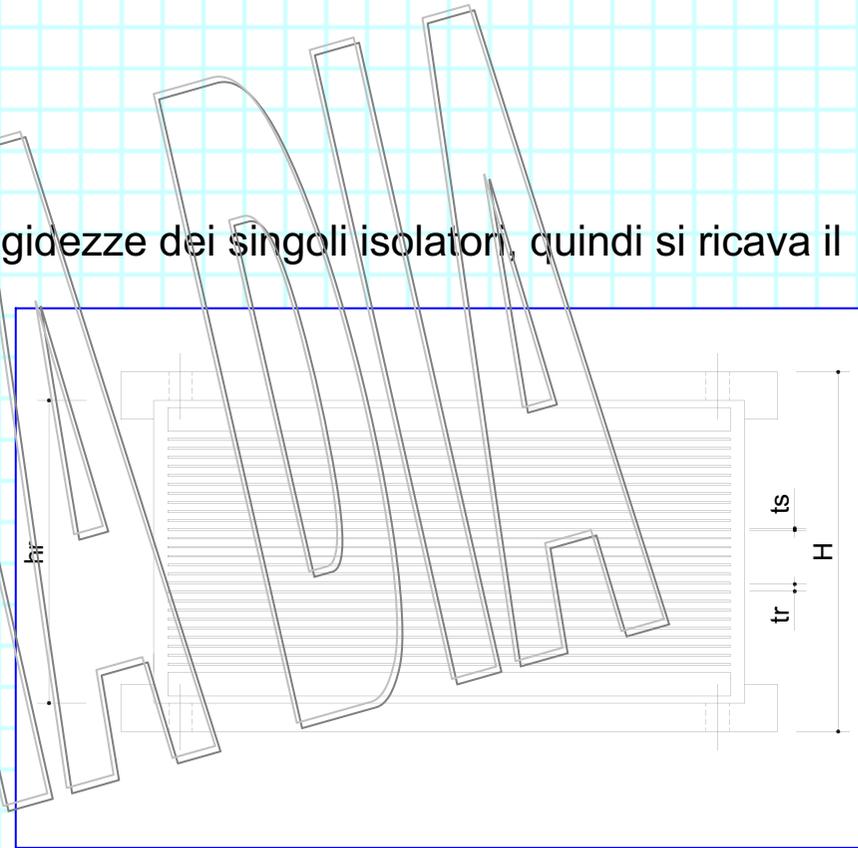
$$T_{is} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{M}{K_o^{tot}}}$$

$K_v$  = rigidezza verticale:

$$K_v = \frac{E_c A}{t_e}$$

(controllo che  $K_v > 800 \cdot K_o$ )

$E_c$  = modulo di rigidezza a compressione =  $6GS_1^2$



# PROGETTO DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO

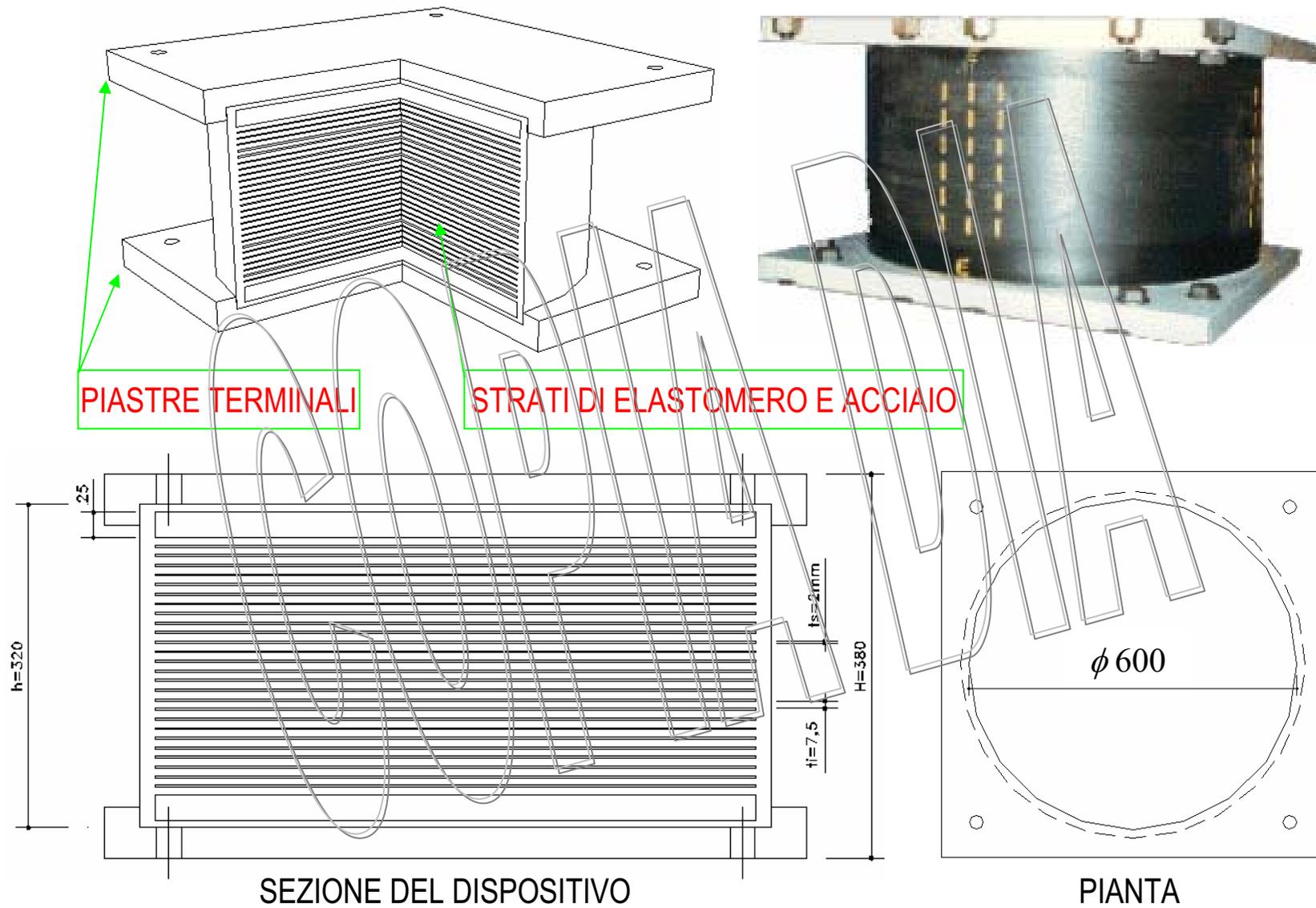
## 1) SCELTA DEL PERIODO DI ISOLAMENTO

- 3 secondi, almeno quattro volte il periodo fisso.

## 2) PROGETTO DEGLI ISOLATORI

- Tensione di lavoro verticale  $\Rightarrow$  Area
  - 30 Kg/cm<sup>2</sup>  $\Rightarrow$  90 Kg/cm<sup>2</sup>
- Orizzontale  $\Rightarrow T = 2\pi (m/K)^{1/2}$ 
  - m = massa;
  - K = rigidezza =  $G_{din} A / t_r$
  - $G_{din}$  = modulo di rigidezza dinamico a taglio.

# ISOLATORE HDS IMPIEGATO - $\Phi 600\text{mm}$ - $G = 4\text{kg}/\text{cm}^2$



## Appoggio in acciaio teflon con elastomero incapsulato multidirezionale



consente una qualsiasi traslazione relativa

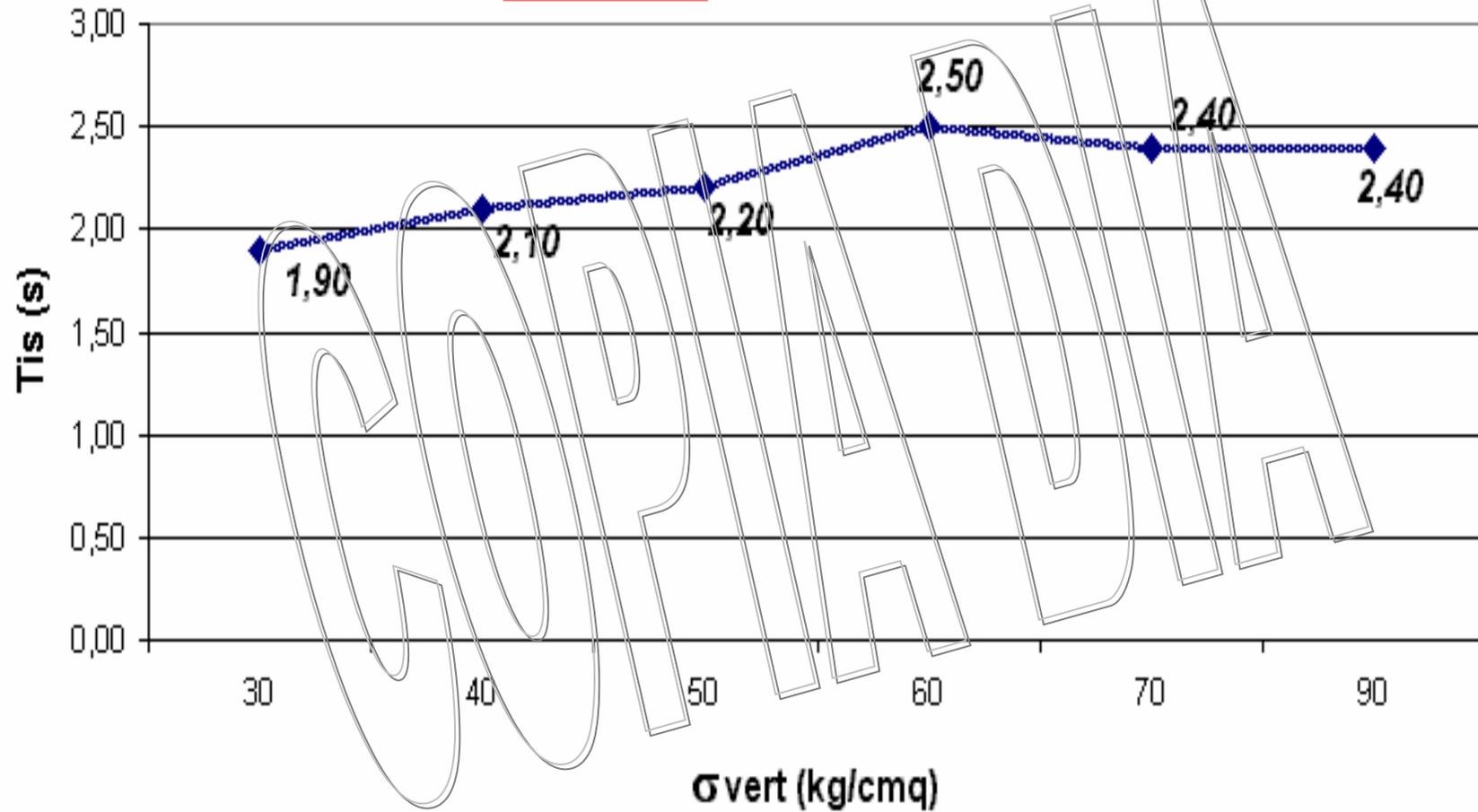
Il contatto, e quindi il movimento reciproco di scorrimento, avviene tra una lastra di acciaio inossidabile lucidato, e quindi con bassa rugosità superficiale, solidale alla sovrastruttura, ed un disco in teflon nicchiato, con interposta un'opportuna pasta anti-frizione, solidale alla sottostruttura.

La progettazione così come la realizzazione degli apparecchi d'appoggio rispecchiano le norme CNR 10018/99 e le descrizioni dei capitolati ANAS e Autostrade. L'appoggio è costituito principalmente dalle seguenti parti tra loro assemblate:

- Piastra di base d'acciaio S275JR per il contenimento di:
- Disco elastomerico in neoprene;
- Anello in bronzo per la tenuta anti estrusione dell'elastomero;
- Disco di contenimento con guarnizioni cilindriche al nitrile radiale e frontale con funzione di anti polvere;
- Disco in Teflon (PTFE Politetrafluoretilene);
- Lamierino d'acciaio inox X5CrNiMo1712 applicato alla piastra superiore;
- Piastra superiore d'acciaio S275JR con eventuale centraggio e fresatura in funzione di pendenze presenti nella struttura.

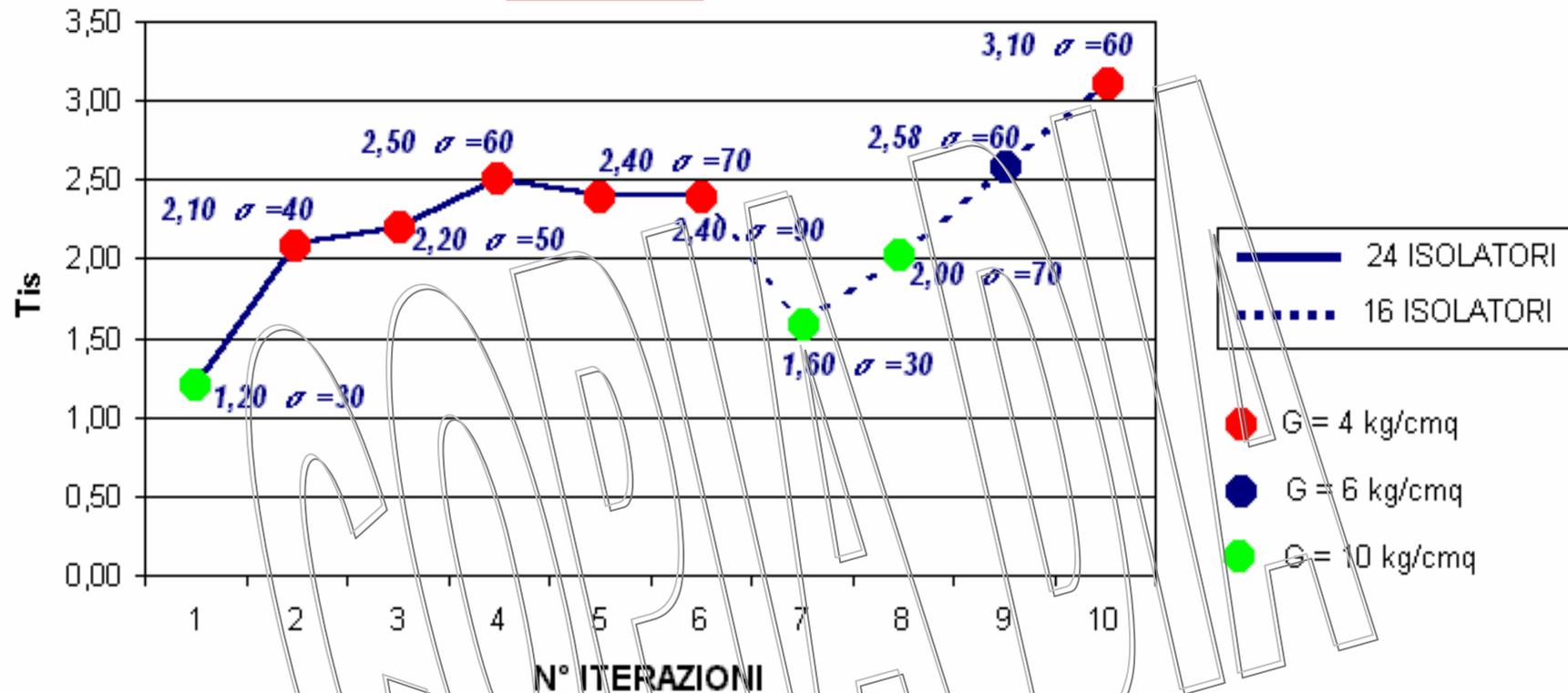
# PERIODI DELLA STRUTTURA ISOLATA CON 24 ISOLATORI

$G=4 \text{ kg/cmq}$     $S1>20$     $S2>3$



## RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELLE ITERAZIONI

S1>20 S2>3



CONFIGURAZIONE FINALE:

16 ISOLATORI

8 SCIVOLATORI IN TEFLON

$G_{din} = 4 \text{ kg/cmq}$

# PROGETTO STRUTTURALE

## 1) Progetto struttura in elevazione

Taglio filtrato =  $K \times d$

Importanza progetto secondo spostamento

## 2) Modellazione

Semplice:

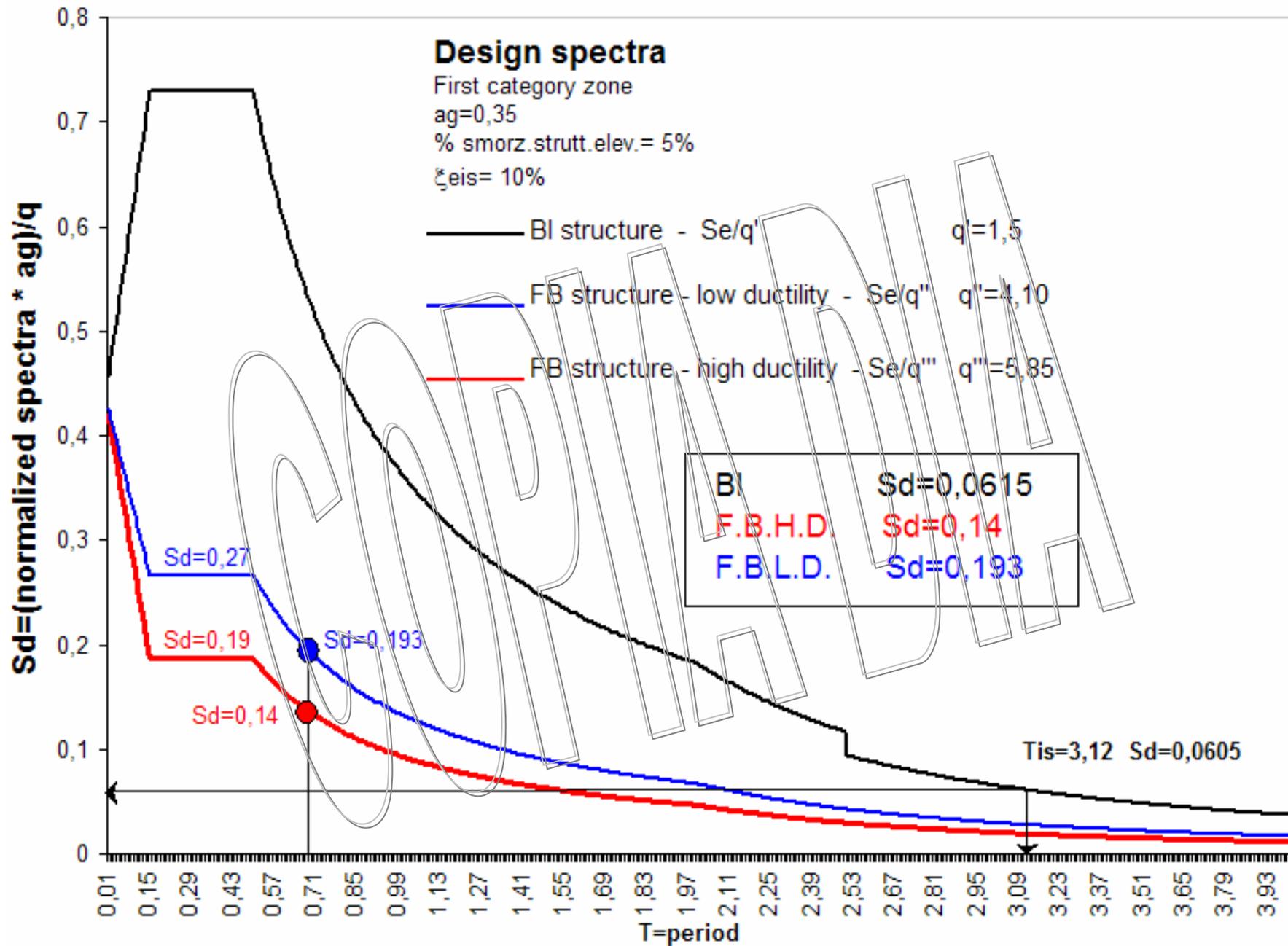
Spettro elastico senza riduzione !

Spettro modificato al periodo di isolamento per tenere conto dello smorzamento (segue analisi modale)

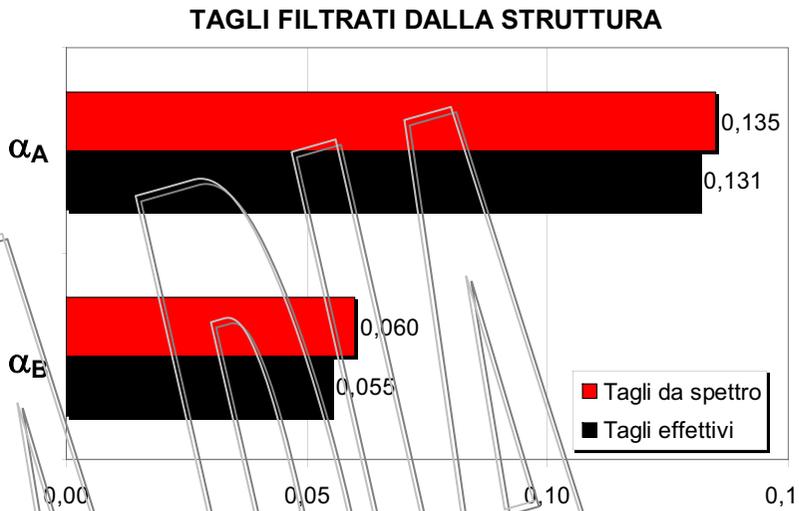
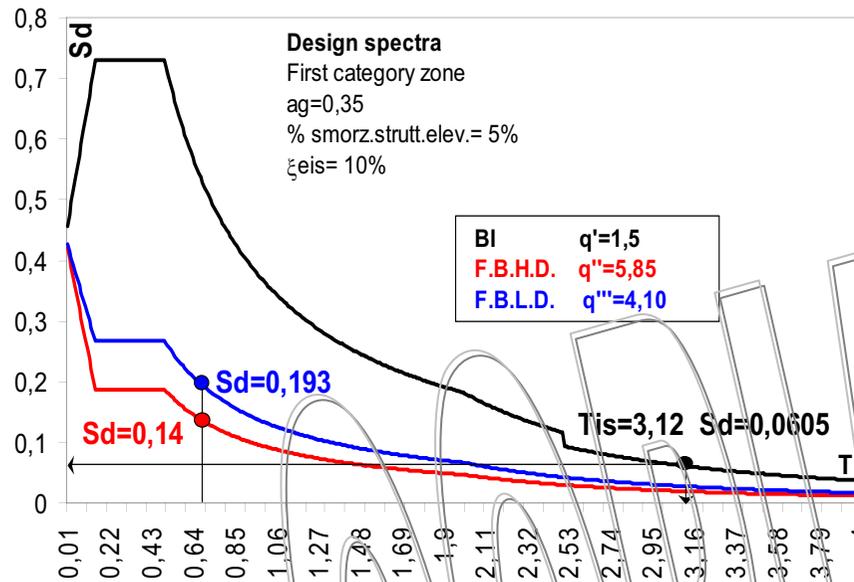
Modellazione più raffinata:

Modello completo con molle al piede e smorzatori al piede

# VERIFICA TAGLIO ALLA BASE STRUTTURA ISOLATA / STRUTTURA A BASE FISSA



# RISULTATI DELL'ANALISI DINAMICA MODALE

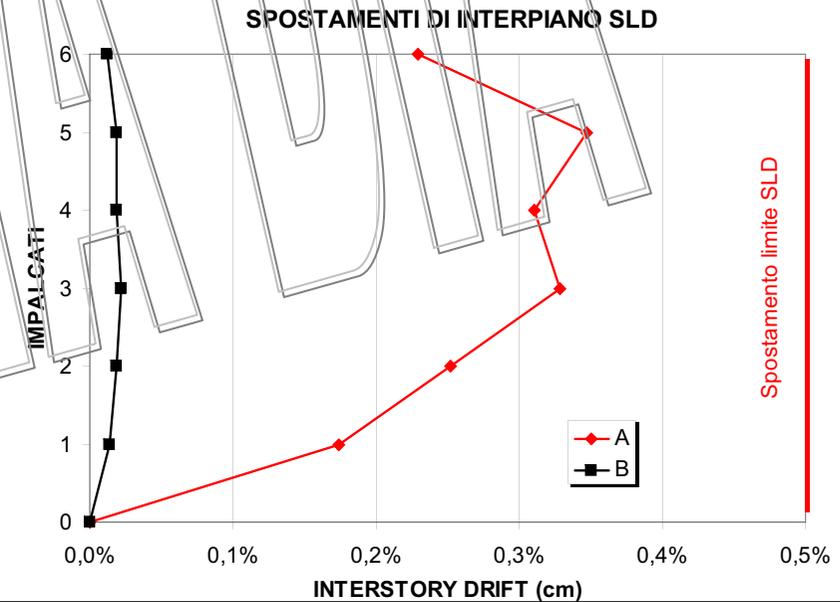


$T_{1A}=0,69s \rightarrow T_{1A}=0,688s$

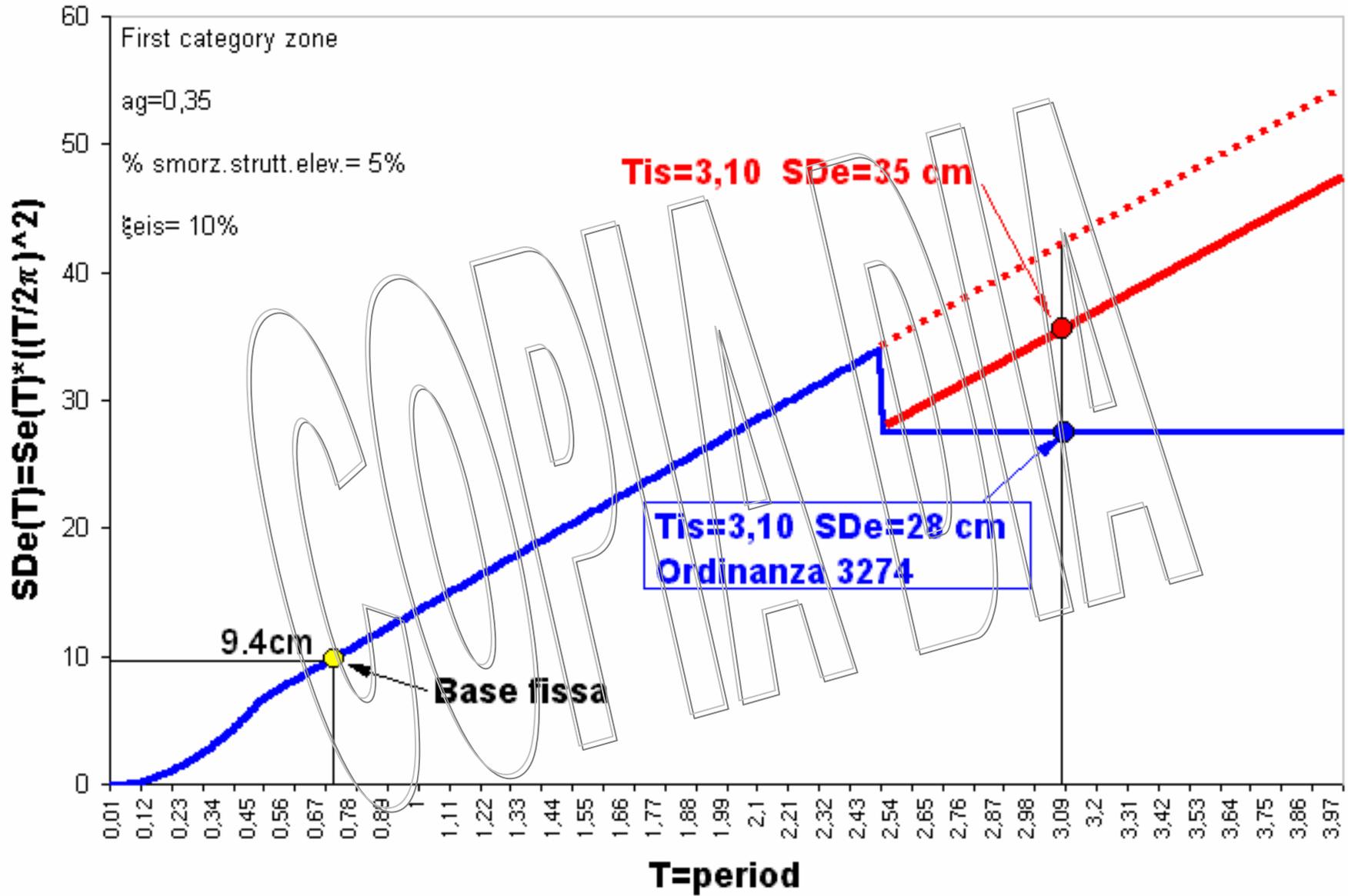
$T_{1B}=3,10s \rightarrow T_{1B}=3,18s$

$\Psi_r = \frac{\delta_r}{h_r} < 0,005$

**1/300**  
**1/4500**



# CALCOLO DEGLI SPOSTAMENTI - ORDINANZA 3274/2003 punto 3.2.3



# PROGETTO STRUTTURALE

## 1) Modellazione

### RISULTATI DEI MODELLI AL SAP

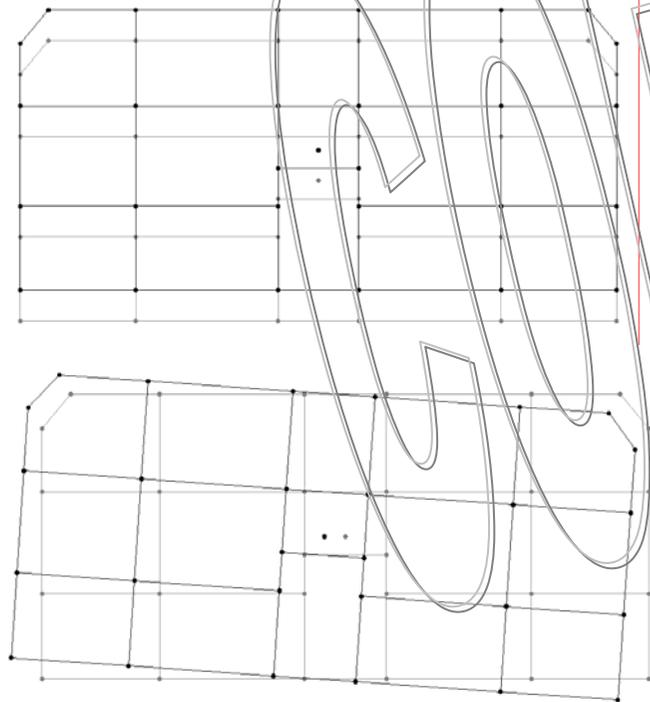
A BASE FISSA

B EDIFICIO ISOLATO

COPYRIGHT

# STRUTTURA A - PARTICIPATING MASS RATIOS (FB 40x70)

MODE	PERIOD	INDIVIDUAL MODE (PERCENT)			CUMULATIVE SUM (PERCENT)		
		UX	UY	UZ	UX	UY	UZ
1	0,689	0,00	73,72	0	0,00	73,72	0
2	0,687	52,21	0,00	0	52,21	73,72	0
3	0,535	21,38	0,00	0	73,59	73,72	0
4	0,255	0,00	14,80	0	73,59	88,52	0
5	0,213	19,37	0,00	0	92,96	88,52	0
6	0,130	0,00	9,61	0	92,96	98,13	0



I° MODO

II° MODO

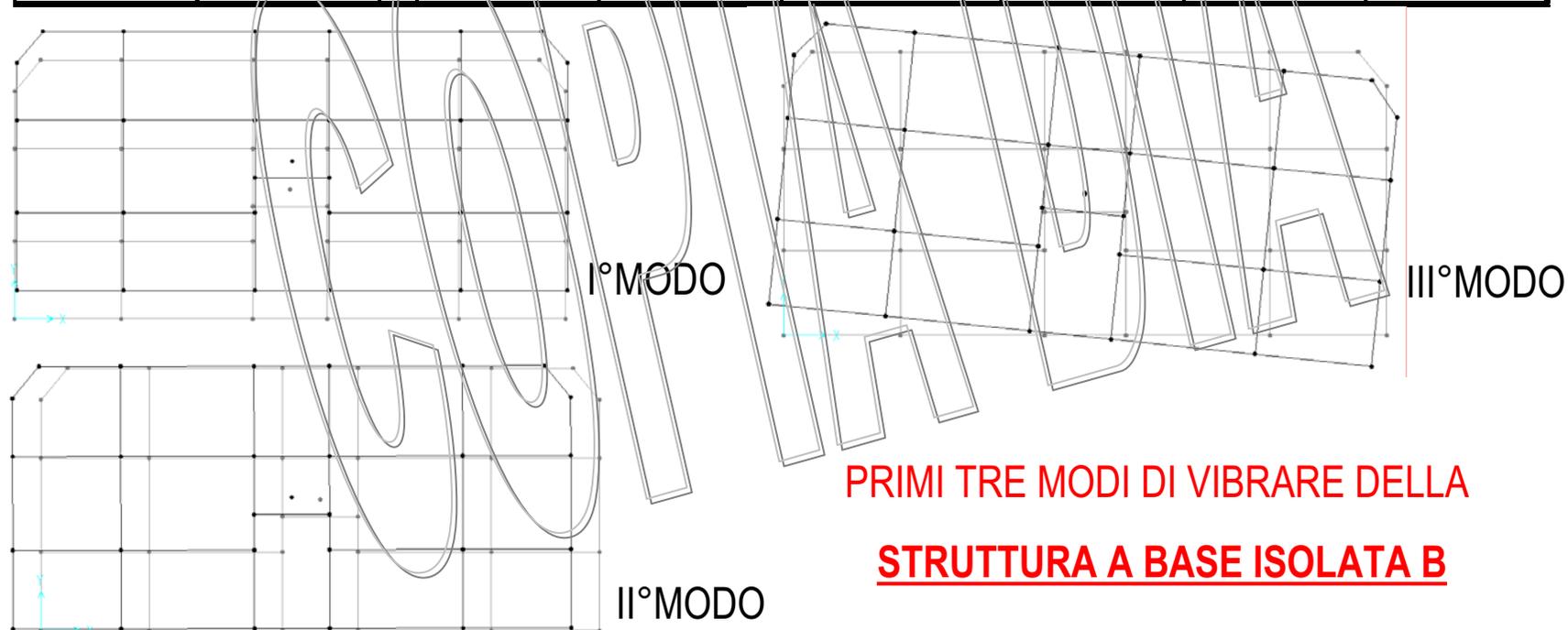
PRIMI TRE MODI DI VIBRARE DELLA  
STRUTTURA A BASE FISSA



III° MODO

# STRUTTURA B - PARTICIPATING MASS RATIOS (IB 40x70)

MODE	PERIOD	INDIVIDUAL MODE (PERCENT)			CUMULATIVE SUM (PERCENT)		
		UX	UY	UZ	UX	UY	UZ
1	3,181893	0	99,9635	0	0	99,9635	0
2	3,175931	99,9284	0	0	99,9284	99,9635	0
3	2,343938	0,0405	0	0	99,9689	99,9635	0
4	0,393669	0	0,0351	0	99,9689	99,9986	0
5	0,383472	0,0296	0	0	99,9985	99,9986	0



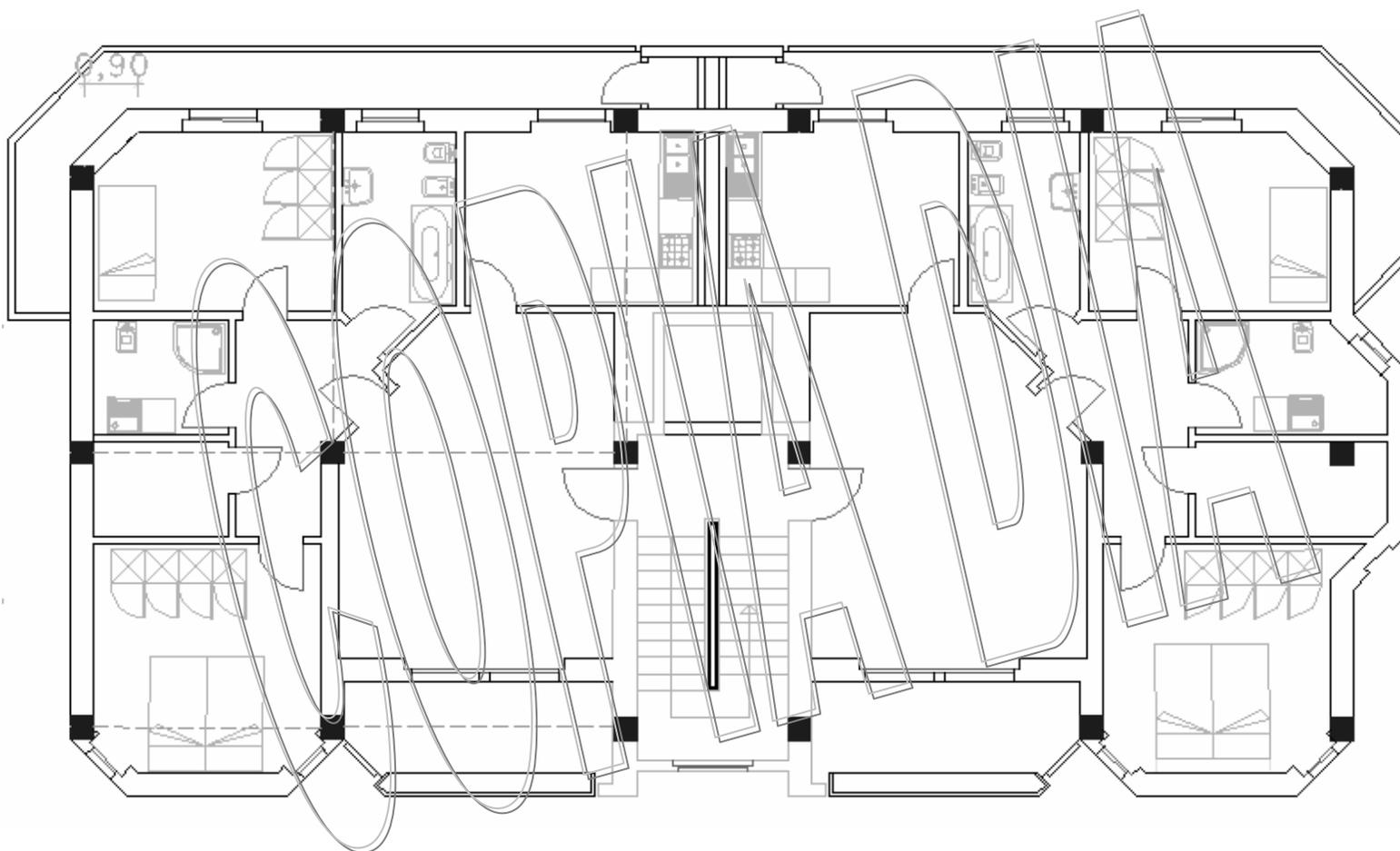
CONFIGURAZIONE IN ELEVAZIONE OTTIMIZZATA PER ISOLAMENTO

**EDIFICIO A BASE ISOLATA**

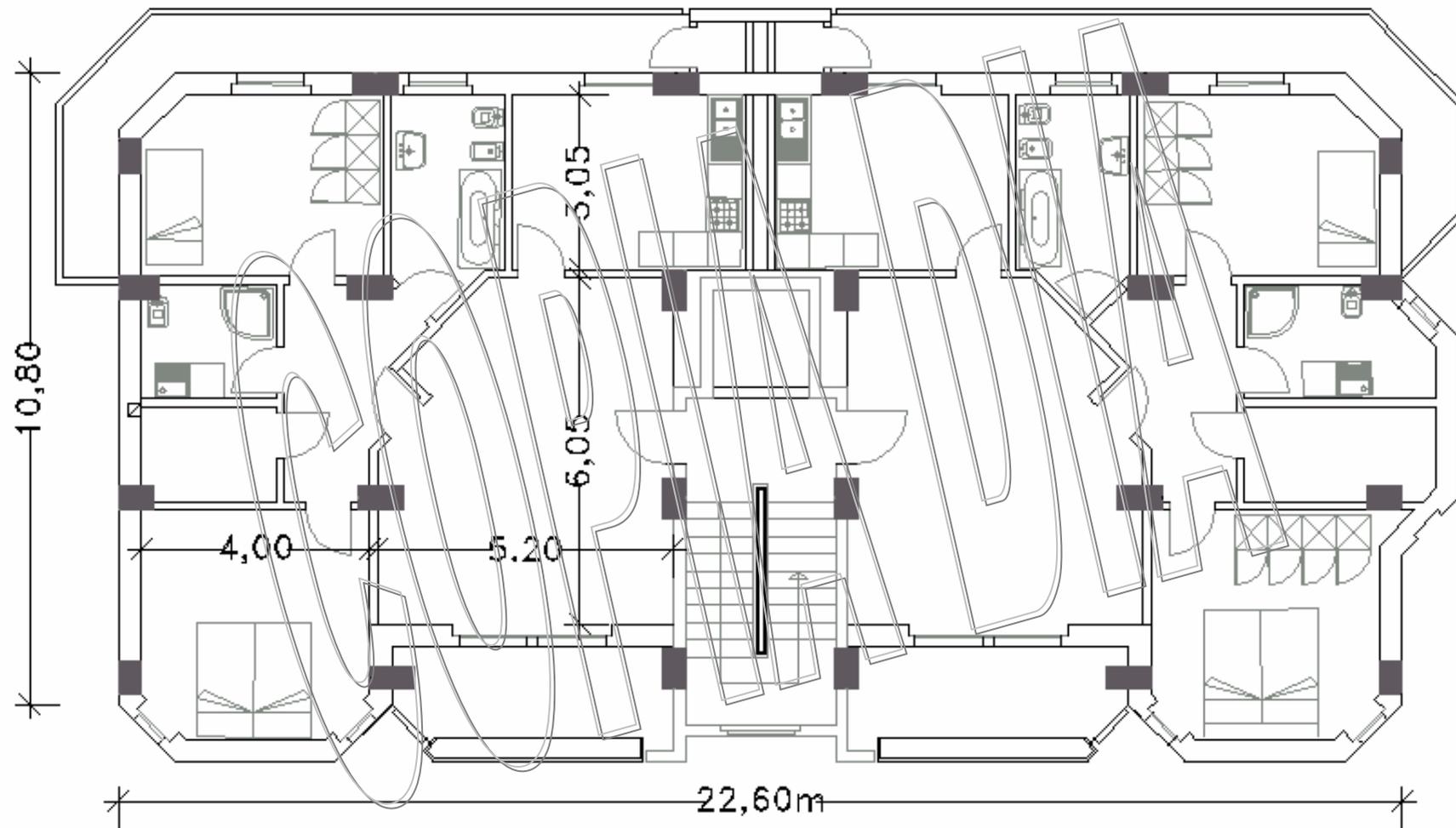
**STRUTTURA C - 40X70**



# Struttura isolata ("Struttura C") - 18 pilastri 40x40



# PIANTA ARCHITETTONICA CON PILASTRI



# PROGETTO STRUTTURALE “STRUTTURA C”

## 1) IMPOSTAZIONE CARPENTERIA E PREDIMENSIONAMENTO

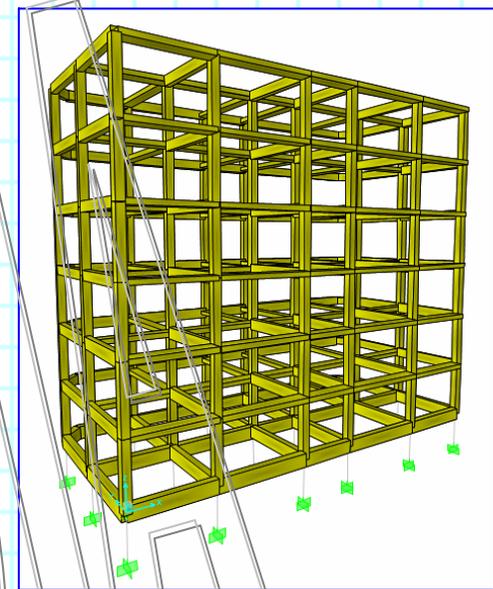
## 2) PROGETTO DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO

## 3) PROGETTO STRUTTURA IN ELEVAZIONE

- $V = \text{Taglio filtrato} = K \cdot \delta = 106t$ 
  - Rigidezza ridotta rispetto caso prec.

## 4) MODELLAZIONE E ANALISI

- Spettro elastico ridotto  $q=1,5$ 
  - Spettro modificato al periodo di isolamento per tenere conto dello smorzamento (segue analisi modale)
  - Oppure modello completo con molle e smorzatori al piede



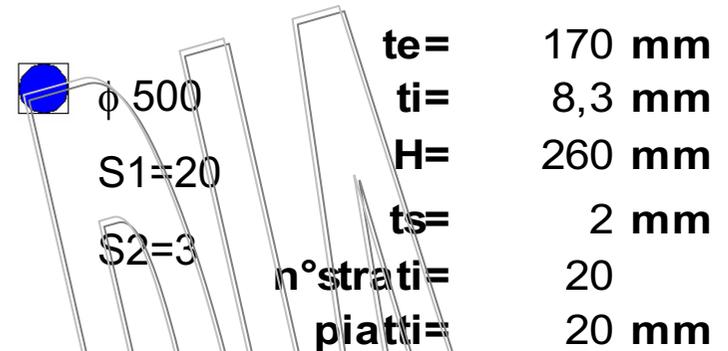
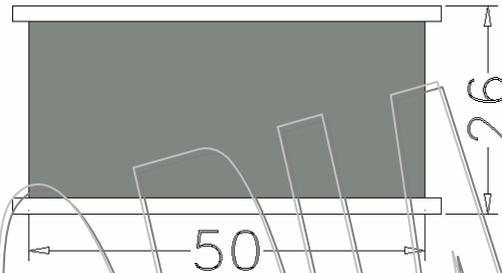
# SCHEMA DEL SISTEMA DI ISOLAMENTO

PARAMETRI DI PROGETTO:



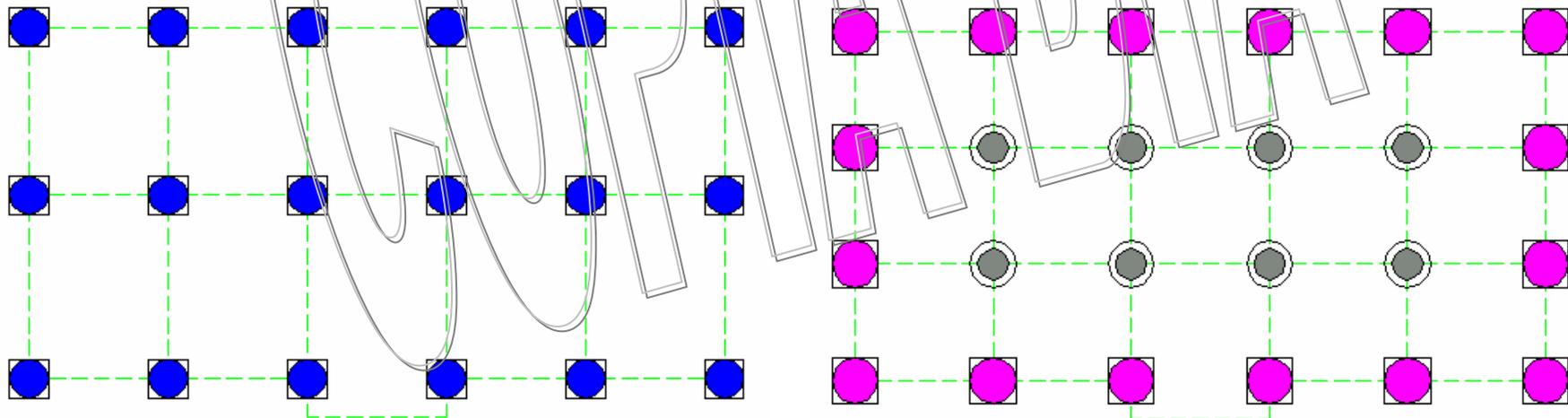
RISULTATO: **T=2.58s**

**N°=18**  
 **$\sigma=50 \text{ kg/cm}^2$**   
 **$G=4 \text{ kg/cm}^2$**   
 **$S_1 > 20$**   
 **$S_2 > 3$**

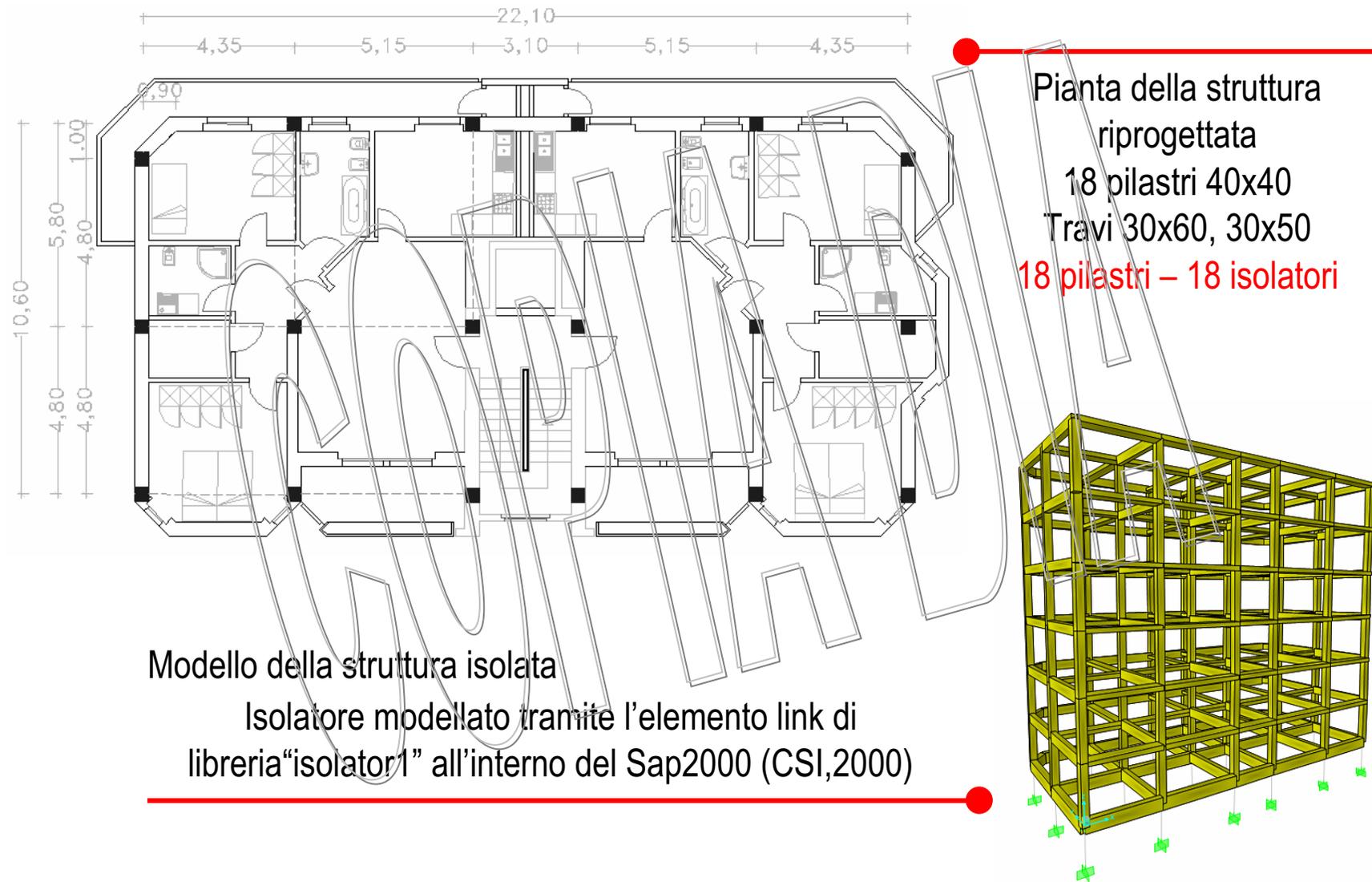


**SOLUZIONE CORRENTE**

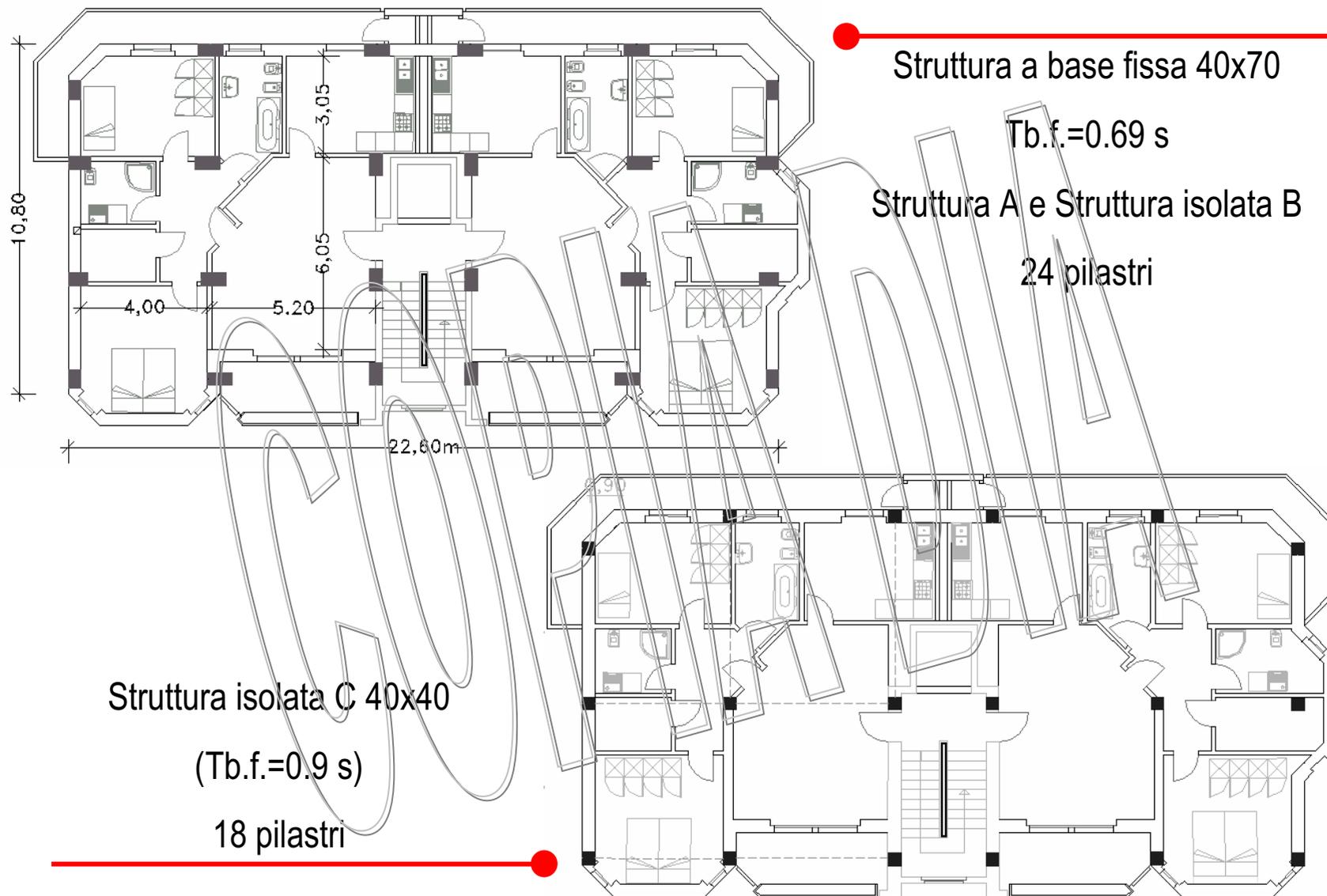
**SOLUZIONE STRUTTURA B**



# STRUTTURA C – EDIFICIO A BASE ISOLATA 40X40



# CONFRONTO CARPENTERIE

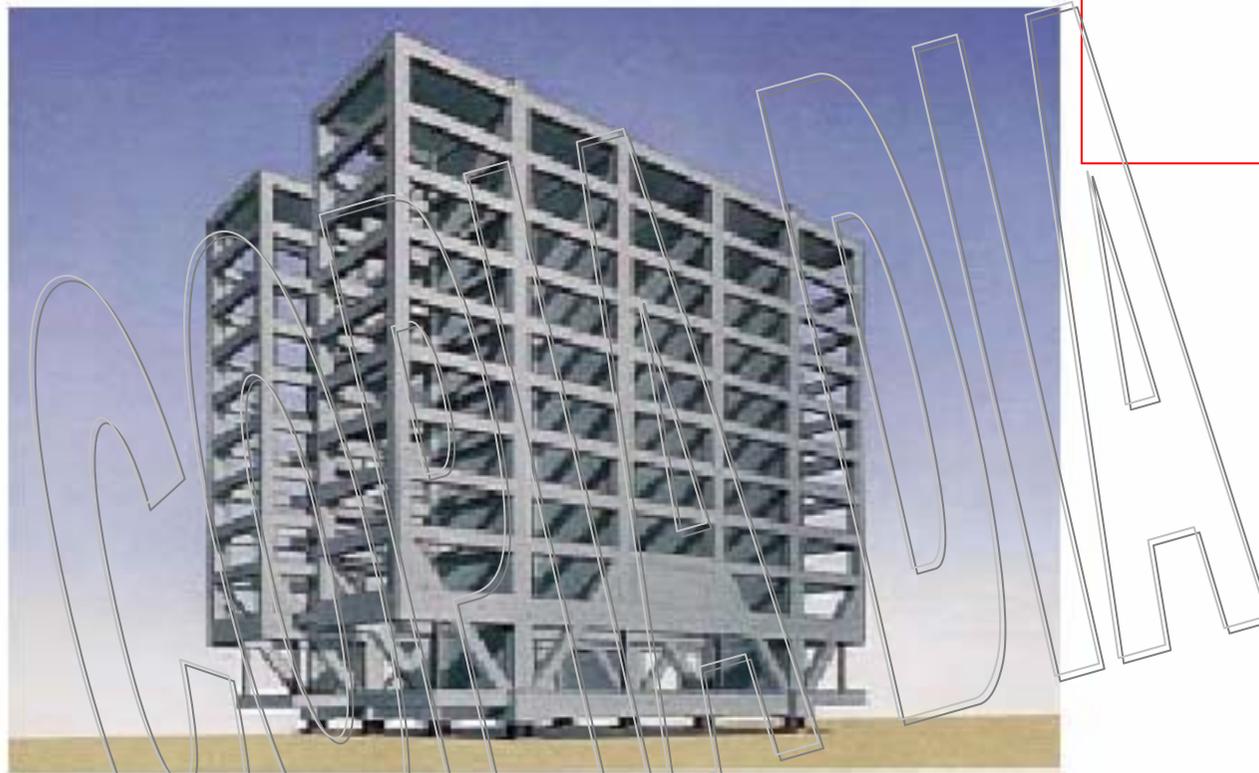


**The 1995 Kobe (Hyogo-ken Nanbu)  
Earthquake as a Trigger for  
Implementing New Seismic Design  
Technologies in Japan**

to appear in:

*Lessons Learned Over Time, Learning From Earthquakes, Volume III*  
Earthquake Engineering Research Institute, 1999

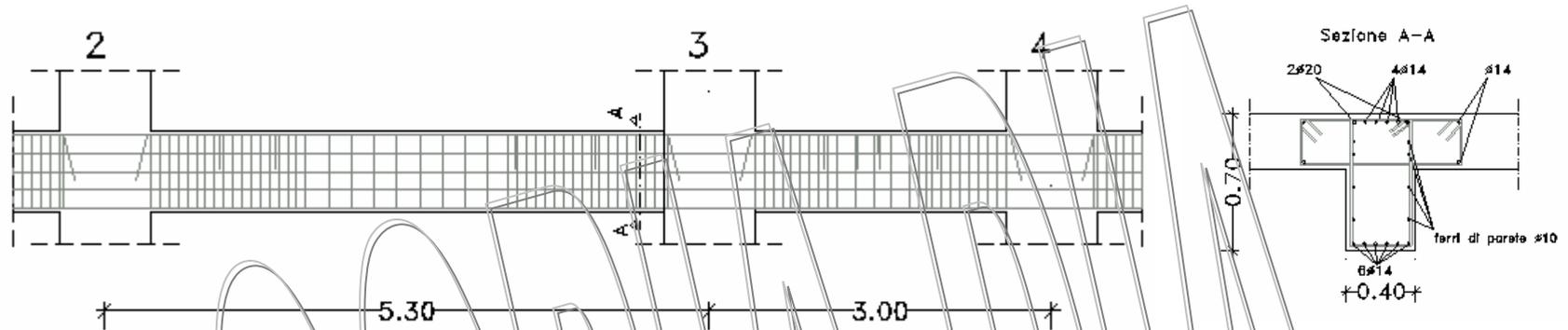
Peter W. Clark  
Ian D. Aiken  
Masayoshi Nakashima  
Mitsuo Miyazaki  
Mitsumasa Midorikawa



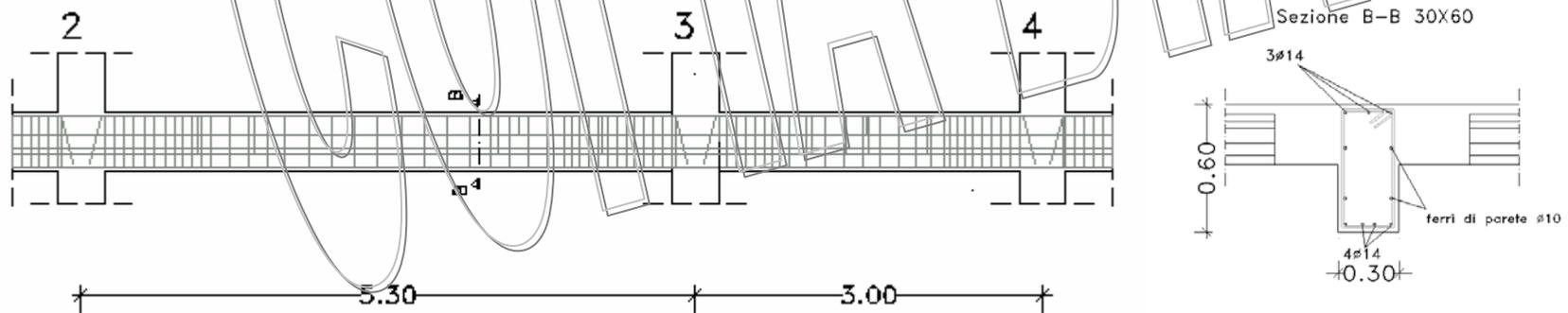
*Transfer trusses in lower stories of an isolated building to concentrate vertical load in a reduced number of bearings*

# CONFRONTO TRAVE 2 - 4

•TRAVE 2-4 BASE FISSA 40 X 70



•TRAVE 2-4 BASE ISOLATA 30 X 60



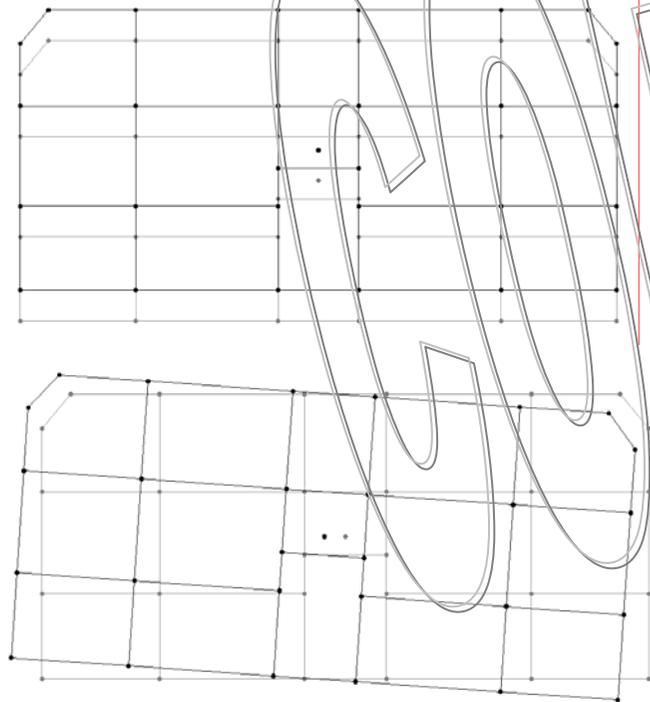
# RISULTATI DELLE ANALISI

## ANALISI MODALE CON SPETTRO DI RISPOSTA

- A – BASE FISSA 40X70
- B – BASE ISOLATA 40X70
- C – BASE ISOLATA 40X40

# STRUTTURA A - PARTICIPATING MASS RATIOS (FB 40x70)

MODE	PERIOD	INDIVIDUAL MODE (PERCENT)			CUMULATIVE SUM (PERCENT)		
		UX	UY	UZ	UX	UY	UZ
1	0,689	0,00	73,72	0	0,00	73,72	0
2	0,687	52,21	0,00	0	52,21	73,72	0
3	0,535	21,38	0,00	0	73,59	73,72	0
4	0,255	0,00	14,80	0	73,59	88,52	0
5	0,213	19,37	0,00	0	92,96	88,52	0
6	0,130	0,00	9,61	0	92,96	98,13	0



I° MODO

II° MODO

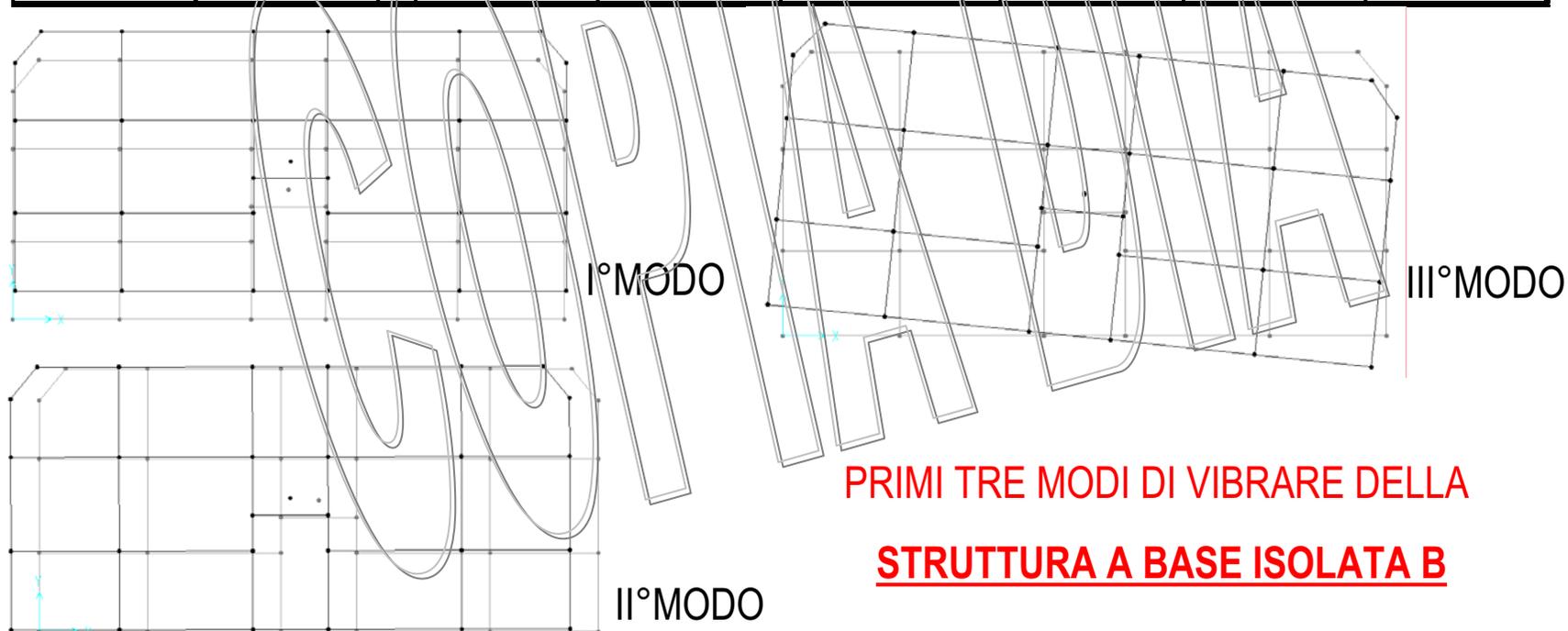
PRIMI TRE MODI DI VIBRARE DELLA  
STRUTTURA A BASE FISSA



III° MODO

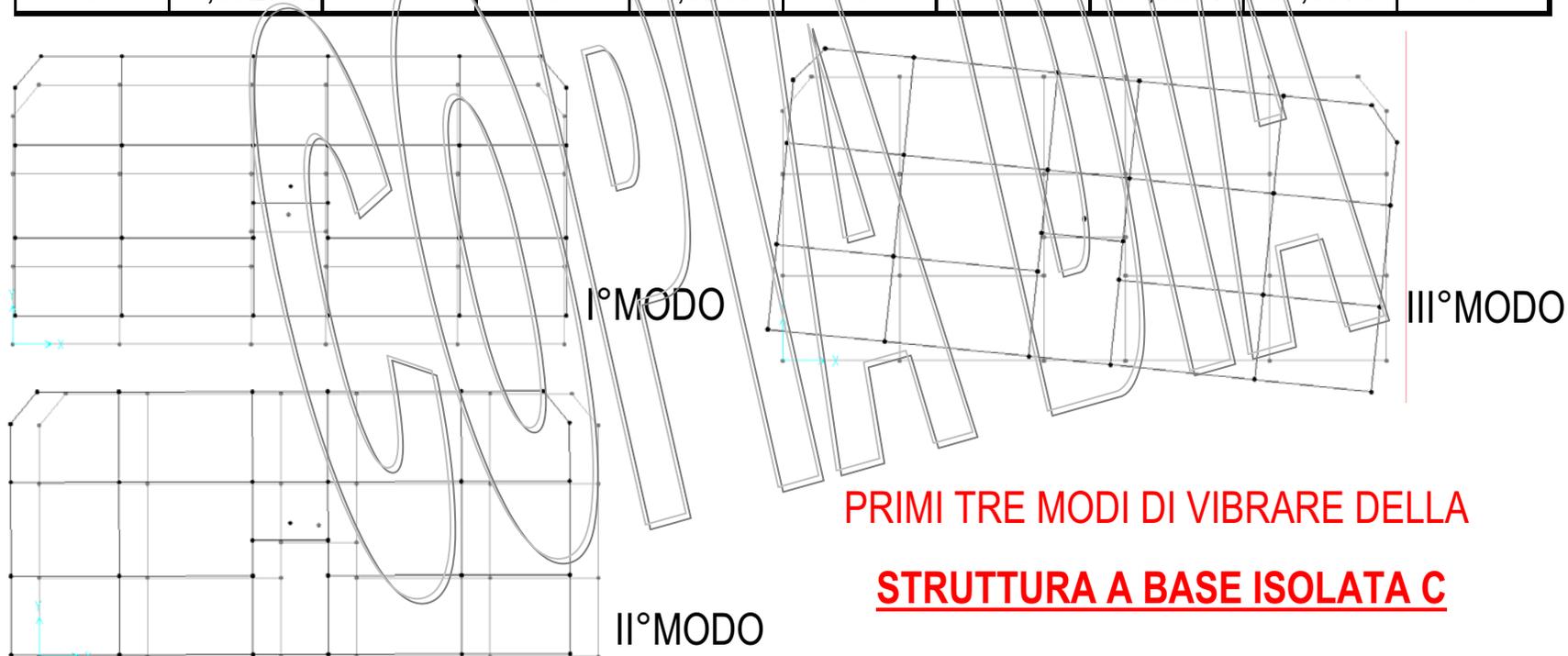
# STRUTTURA B - PARTICIPATING MASS RATIOS (IB 40x70)

MODE	PERIOD	INDIVIDUAL MODE (PERCENT)			CUMULATIVE SUM (PERCENT)		
		UX	UY	UZ	UX	UY	UZ
1	3,181893	0	99,9635	0	0	99,9635	0
2	3,175931	99,9284	0	0	99,9284	99,9635	0
3	2,343938	0,0405	0	0	99,9689	99,9635	0
4	0,393669	0	0,0351	0	99,9689	99,9986	0
5	0,383472	0,0296	0	0	99,9985	99,9986	0



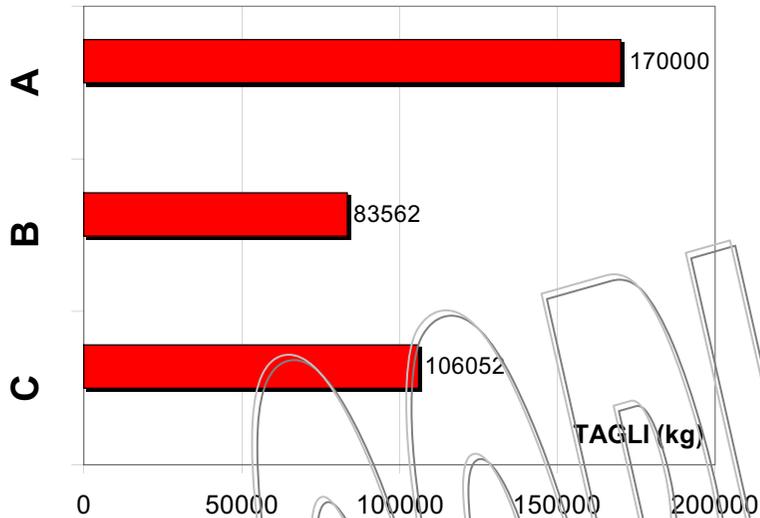
# STRUTTURA C - PARTICIPATING MASS RATIOS (IB 40x40)

MODE	PERIOD	INDIVIDUAL MODE (PERCENT)			CUMULATIVE SUM (PERCENT)		
		UX	UY	UZ	UX	UY	UZ
1	2,790832	99,5072	0	0	99,5072	0	0
2	2,766473	0	99,6618	0	99,5072	99,6618	0
3	2,249106	0,0943	0	0	99,6015	99,6618	0
4	0,544696	0,3826	0	0	99,9841	99,6618	0
5	0,532754	0	0,3256	0	99,9841	99,9873	0

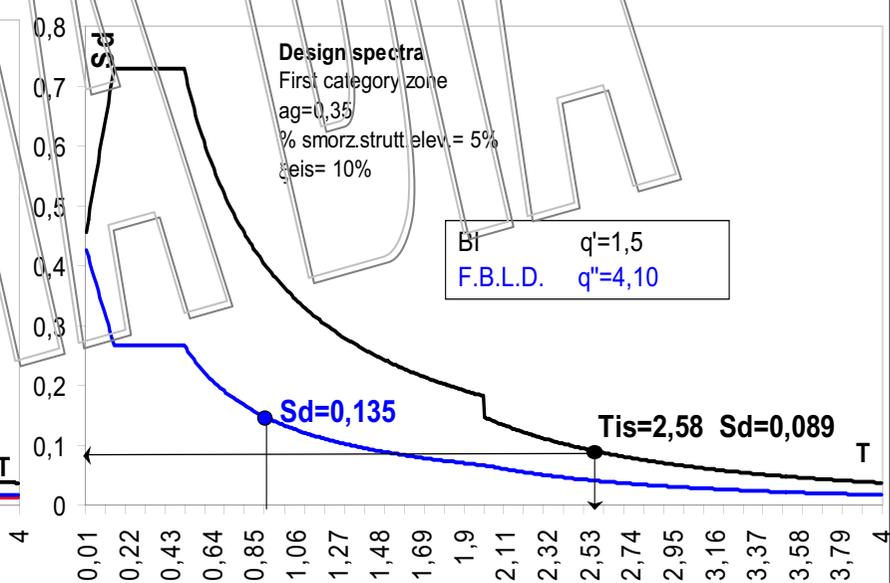
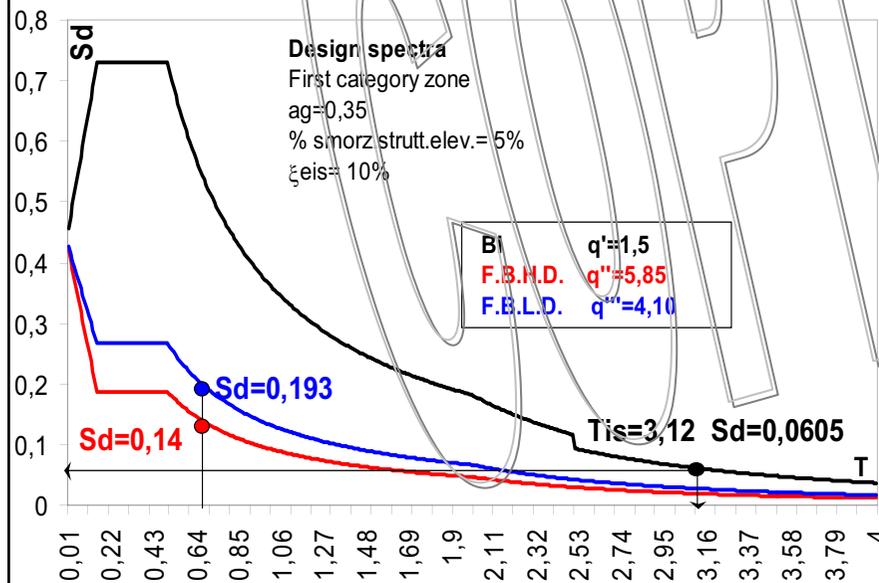
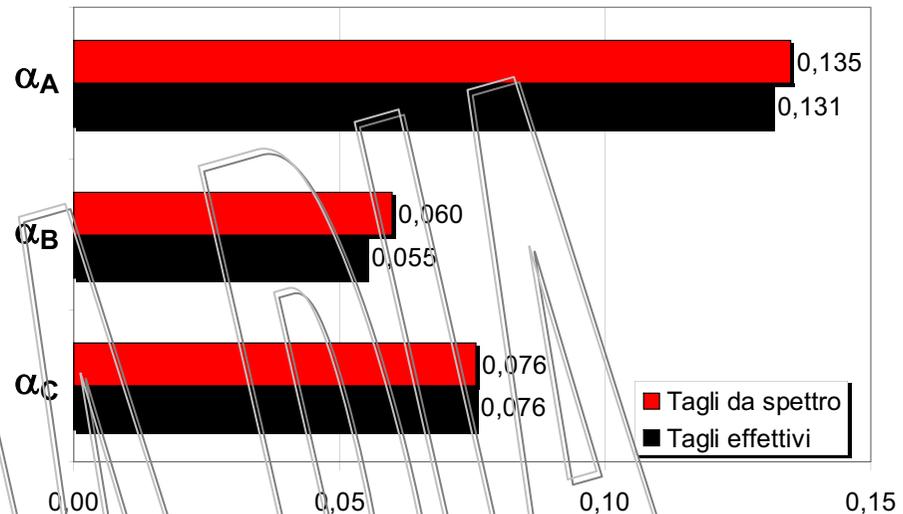


# TAGLIO FILTRATO DALLE STRUTTURE SLU

TAGLI ALLA BASE

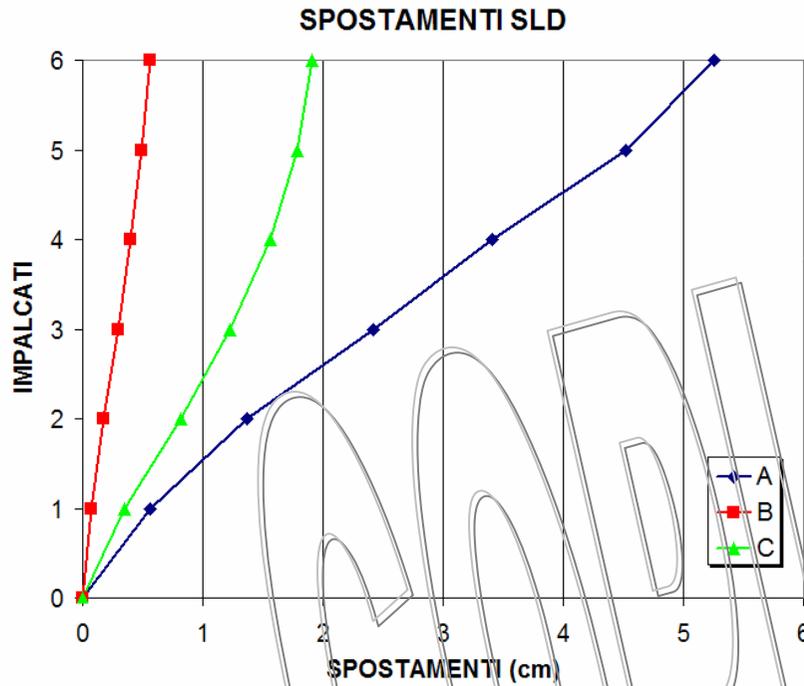


TAGLI FILTRATI DALLA STRUTTURA

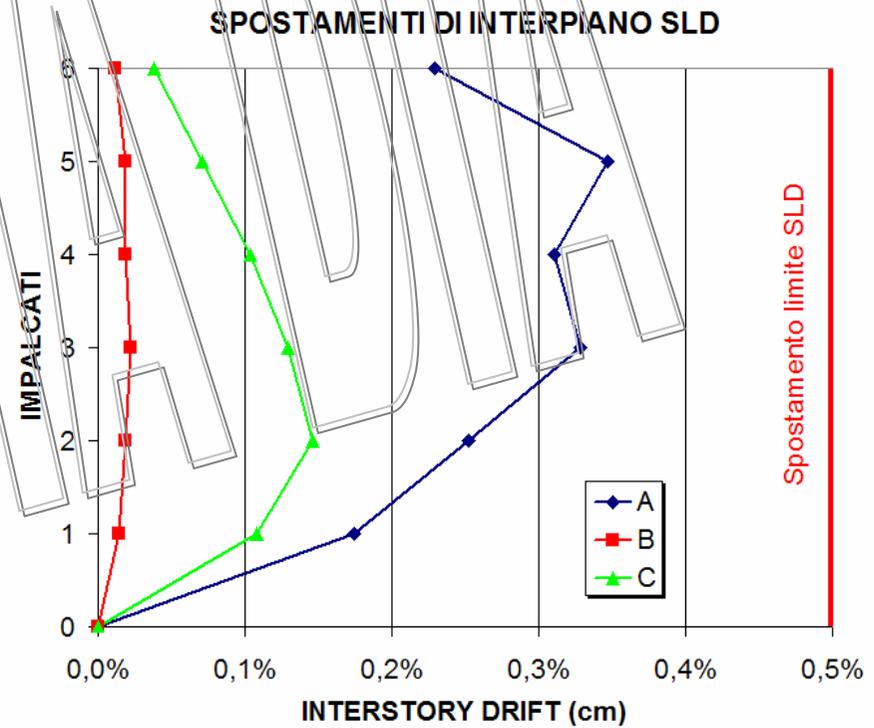


# SPOSTAMENTI DEI PIANI – Pil. 40x70

# SLD



ANALISI DINAMICA MODALE CON  
SPETRO DI RISPOSTA PER LO SLD



$$\Psi_r = \frac{\delta_r}{h_r} < 0,005$$

1/300

1/4500

1/700

Spostamento limite SLD