ENERGIA E SOSTENIBILITÀ PER LA PUBBLICA AMMINISTRAZIONE

Workshop Energia e Sostenibilità per la PA: Strumenti per la riqualificazione Energetica e Sismica

VULNERABILITÀ SISMICA E INTERVENTI SUGLI EDIFICI ESISTENTI

Benevento, 13 giugno 2019

Paolo Clemente

UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Agenzia per la Coesione Territoriale

ENEA
Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

PON GOVERNANCE E CAPACITÀ ISTITUZIONALE 2014-2020

SCUOLA ROMOLO CAPRANICA DI AMATRICE

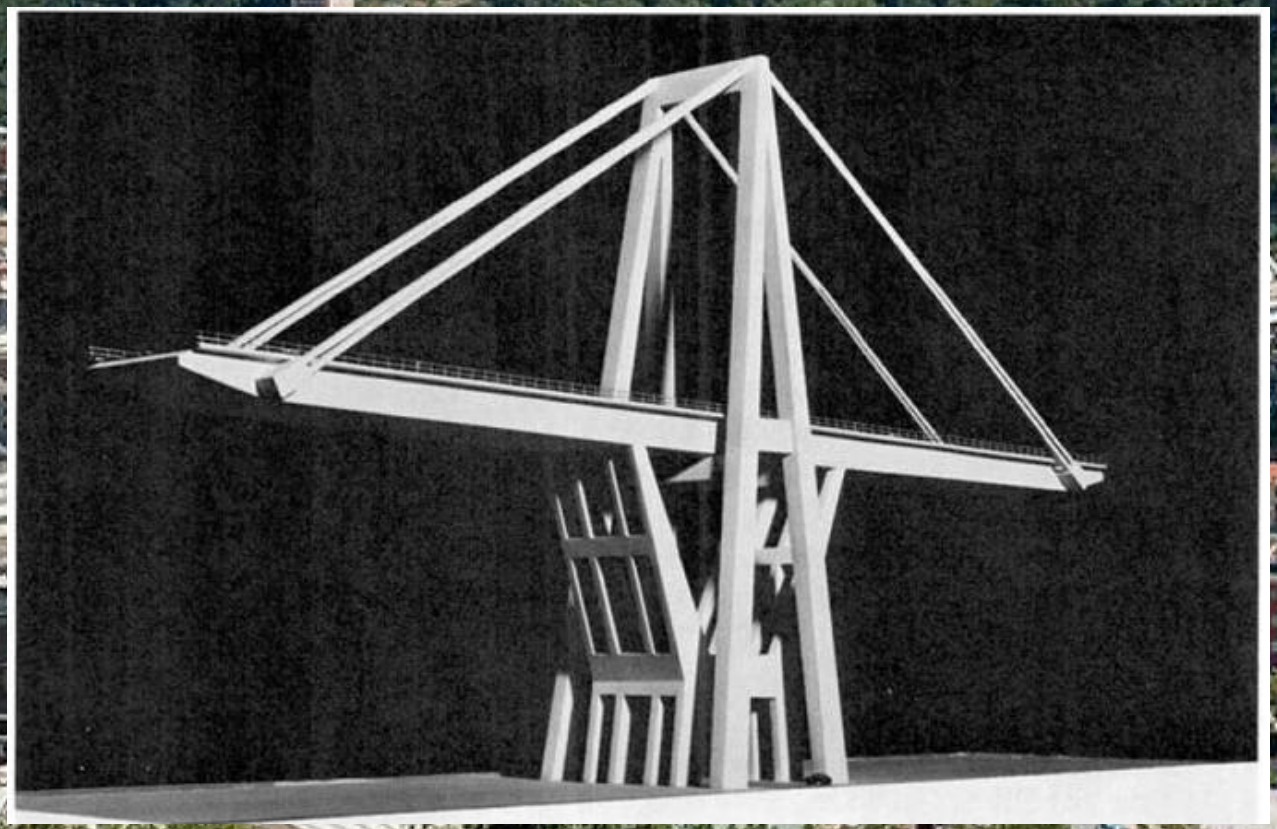
TORRE ANNUNZIATA, 07.07.2017

ROMA, VIA VIGNA JACOBINI, 16.12.1998

BOSCO VERTICALE

PONTI E VIADOTTI

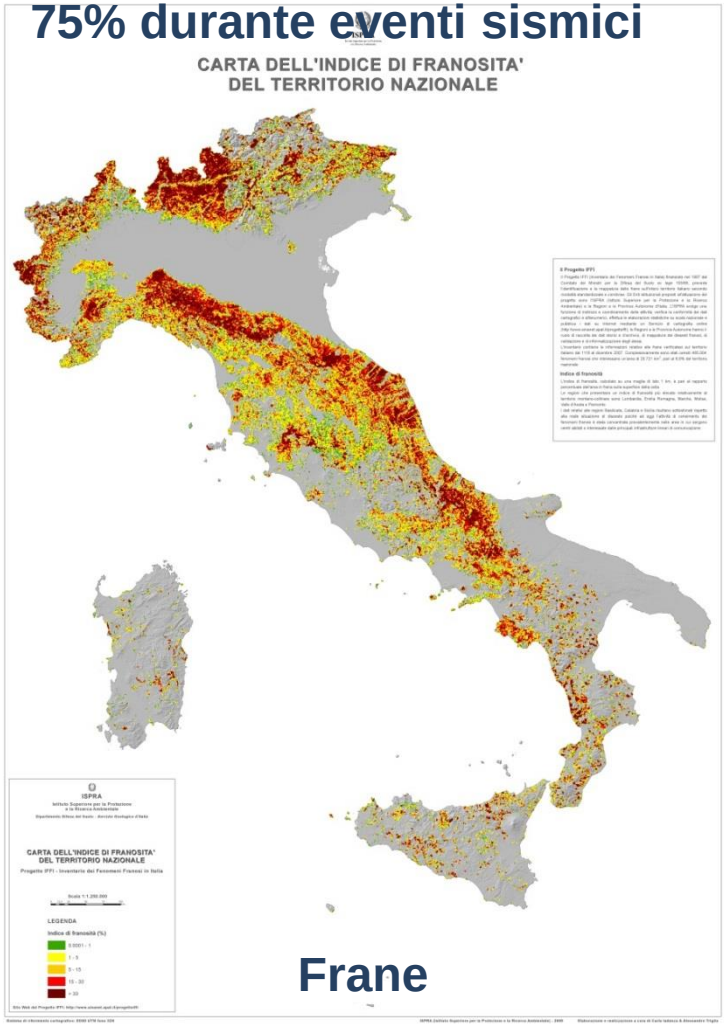
VIADOTTO POLCEVERA



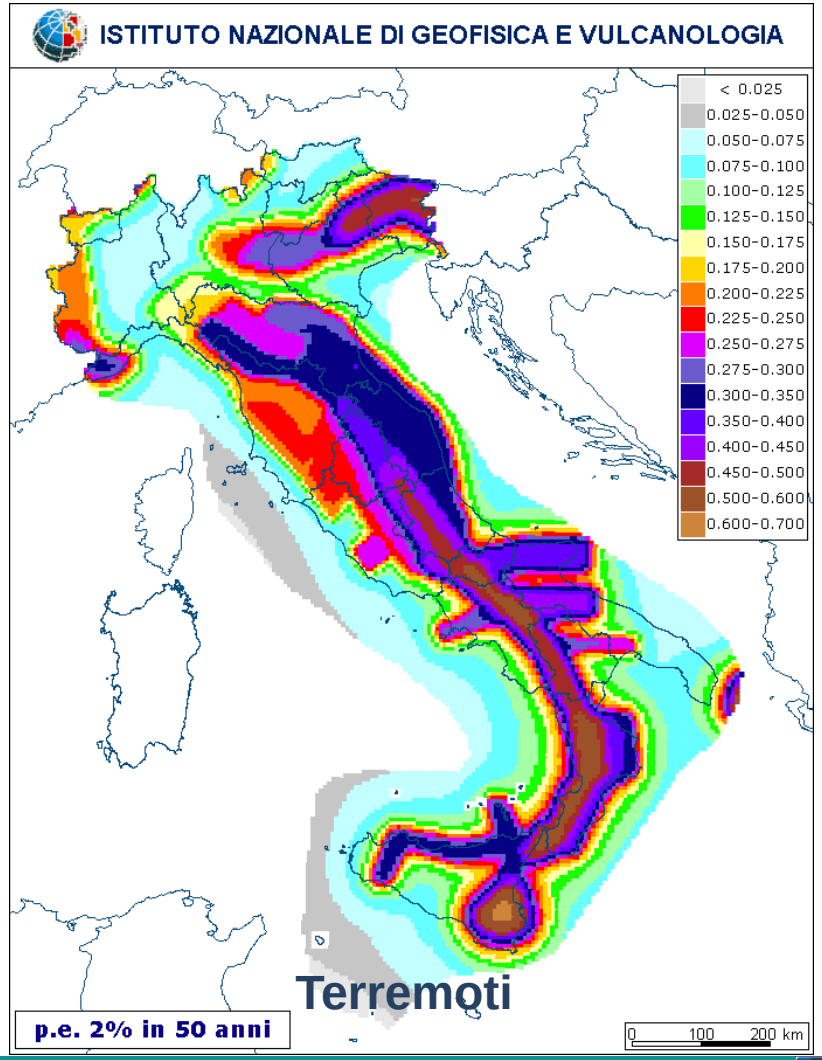
CALAMITÀ NATURALI IN ITALIA

Nella seconda metà del secondo millennio (stima ENEA, 1999):

- **Vittime dovute a eventi naturali = circa 1200 all'anno**
- **75% durante eventi sismici**



Frane

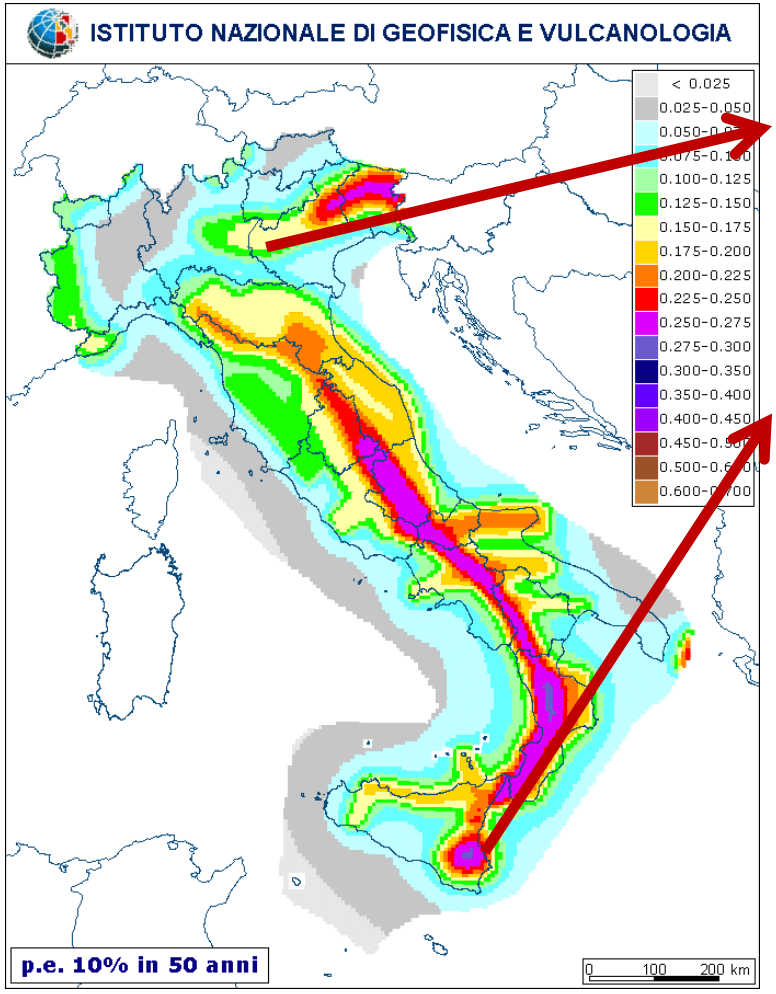


Terremoti

CALAMITÀ NATURALI: EFFETTI

Nel passato ► **una catastrofe causava essenzialmente vittime**

Oggi ► **una catastrofe può causare disastri ambientali e danni all'economia**



2012: Terremoto Pianura Padana Emiliana

- gravi danni all'economia della regione e dell'intero paese

Terremoto Sicilia sudorientale del 1693

- disastro ambientale, oggi sede di molti stabilimenti petrolchimici

Considerate

- l'estensione delle aree interessate
- la varietà del patrimonio edilizio esistente

la riduzione del rischio sismico richiede un notevole impegno finanziario

PREVENZIONE

- **Investimento necessario per riduzione rischio sismico su tutto il territorio nazionale = centomila miliardi di lire (Stima GNDT dopo il sisma dell'Irpinia del 1980)**
- **Somma non disponibile né utilizzabile in tempi brevi, né allora né adesso**
- **Investimento estremamente conveniente**

Valle del Belice(*)	1968	1968-2028	9.179
Friuli V. G. (*)	1976	1976-2006	18.540
Irpinia	1980	1980-2023	52.026
Marche Umbria (*)	1997	1997-2024	13.463
Puglia Molise (*)	2002	2002-2023	1.400
Abruzzo (**)	2009	2009-2029	13.700
Emilia (**)	2012	2012-	13.300
Totale			121.608

CNI

E' necessaria un'oculata programmazione della spesa e degli interventi:

- **Patrimonio pubblico: priorità di intervento su opere strategiche o di particolare rilevanza, quali prefetture, caserme, ospedali, scuole, ecc.**
- **Patrimonio privato: bonus fiscali e/o assicurazione obbligatoria**

RISCHIO SISMICO

R = potenziale danno economico, sociale e ambientale derivante da eventi sismici che possono occorrere su un territorio in un dato periodo di tempo

H
Pericolosità sismica sito
- entità fenomeno atteso in un periodo di tempo
- caratteristica del territorio

V
Vulnerabilità del bene
- suscettibilità a subire un danno di un certo grado, in presenza di un evento sismico di assegnato livello
- caratteristica del bene

Rischio sismico

$R = H \cdot V \cdot W / S$

W
Esposizione
- valore del bene
- conseguenze di eventuali danni o collasso

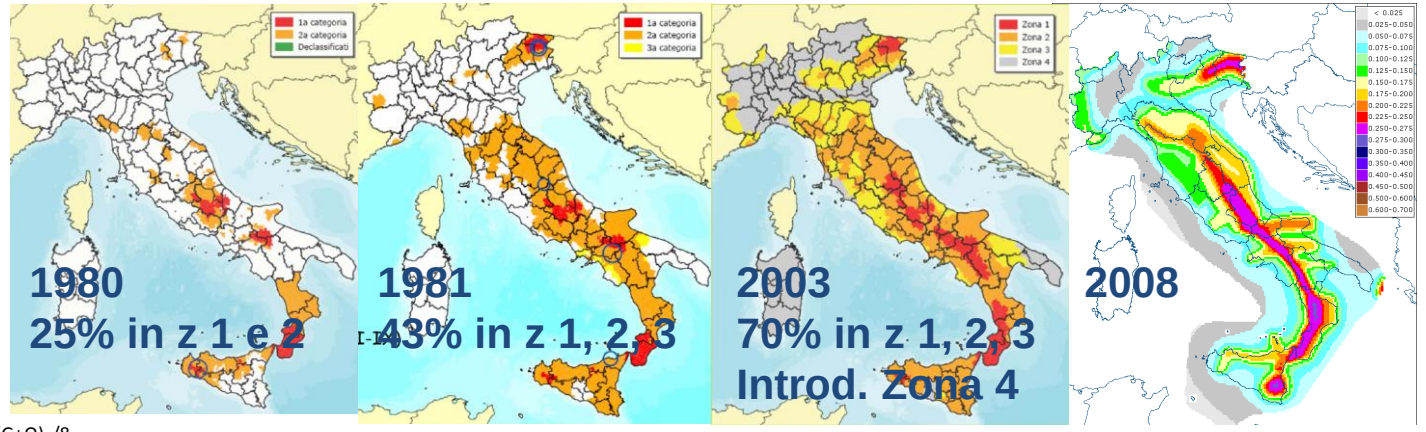
S
Resilienza
- Capacità di ripristinare le condizioni precedenti all'evento

Come possiamo ridurre il rischio sismico ?

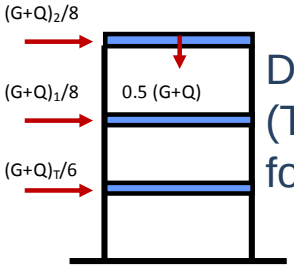
LA SICUREZZA SISMICA IN ITALIA

In Italia il 70% dell'edificato non è adeguato al sisma di progetto al sito

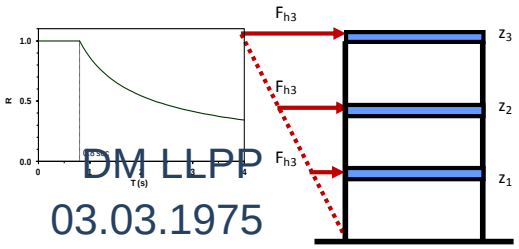
Evoluzione della classificazione sismica



Evoluzione della normativa tecnica



DL 5.11.1916 (TU) n.1526 forze statiche



DM LLPP 03.03.1975

OPCM3274/03 Spettri elastici Stati Limite

Qualità delle costruzioni

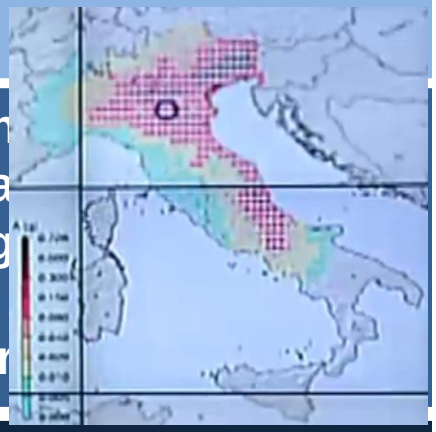
- **Età > 50 anni** per gran parte degli edifici
- **Periodi di maggiore attività dopo eventi eccezionali** (guerre, terremoti): costruzioni edificate in fretta, senza adeguati controlli, con sistemi e materiali scadenti

Edifici storici, tra cui:

- Scuole, Ospedali, Musei, Strutture strategiche

PREVISIONE DEI TERREMOTI

Interv.	Tempo	Utilità	Commenti
Brevis -simo	sec ÷ min	*early warning* per impianti RIR, treni AV, …	Possibile ma non utile in Italia
Breve	ore ÷ mese	preparare le risorse per emergenza e l'evacuazione	Al momento non siamo in grado di fare ciò
Medio	mesi ÷ anni	individuare aree dove intervenire prioritariamente per ridurre il rischio	Esperimen aree di gra tempi lung utilizzabili scopi di pr
Lungo	decine di anni	ridurre vulnerabilità e esposizione, preparare le popolazioni	Le mappe di pericolosità ci danno questa informazione

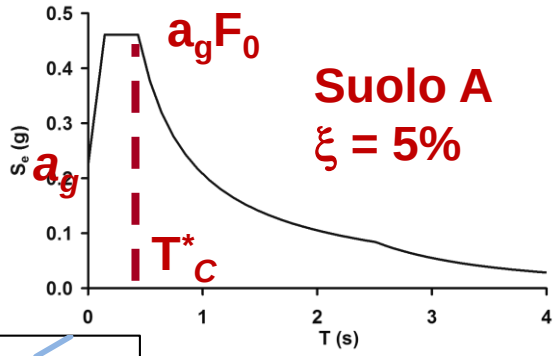


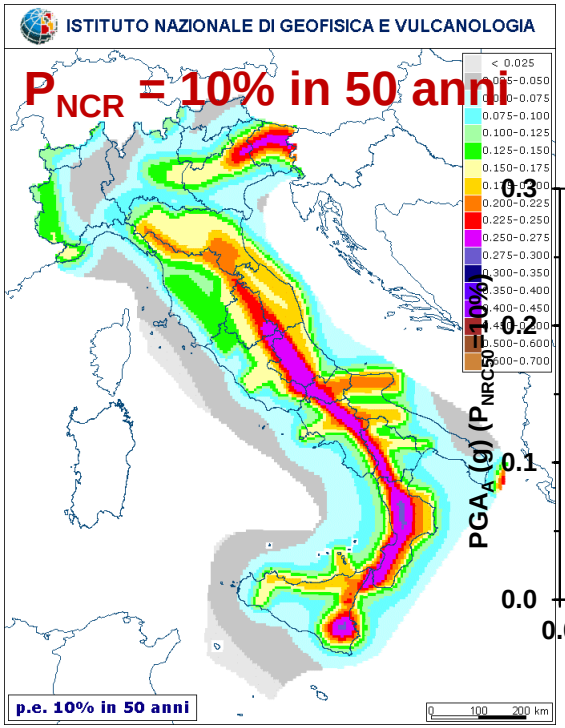
Per salvare vite umane ► costruire edifici con criteri antisismici

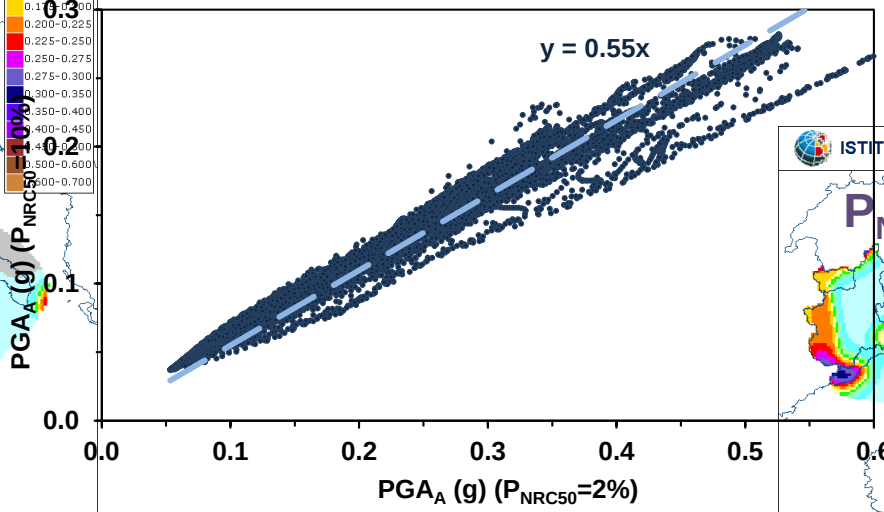
TERREMOTO DI PROGETTO: SPETTRO ELASTICO

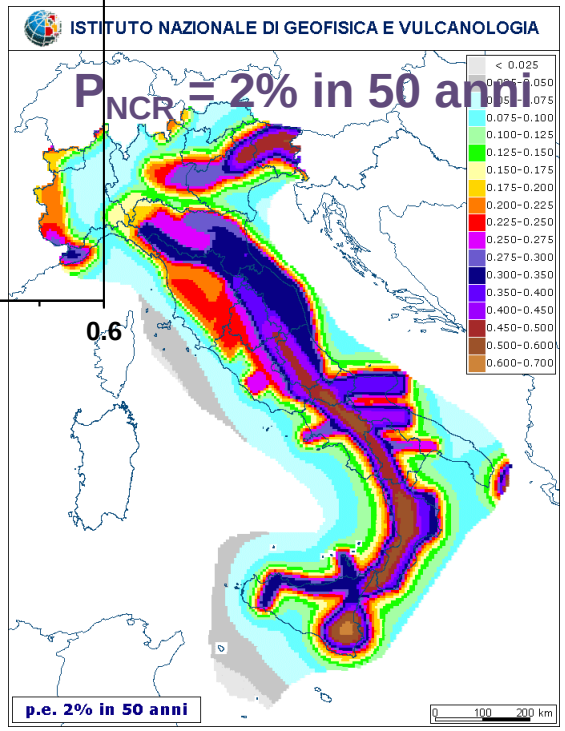
Parametri di riferimento = a_g, F_0, T^*_C

per ciascun sito in funzione di P_{NCR} (o P_{VR}) in 50 anni









P_{NCR} min = 2%

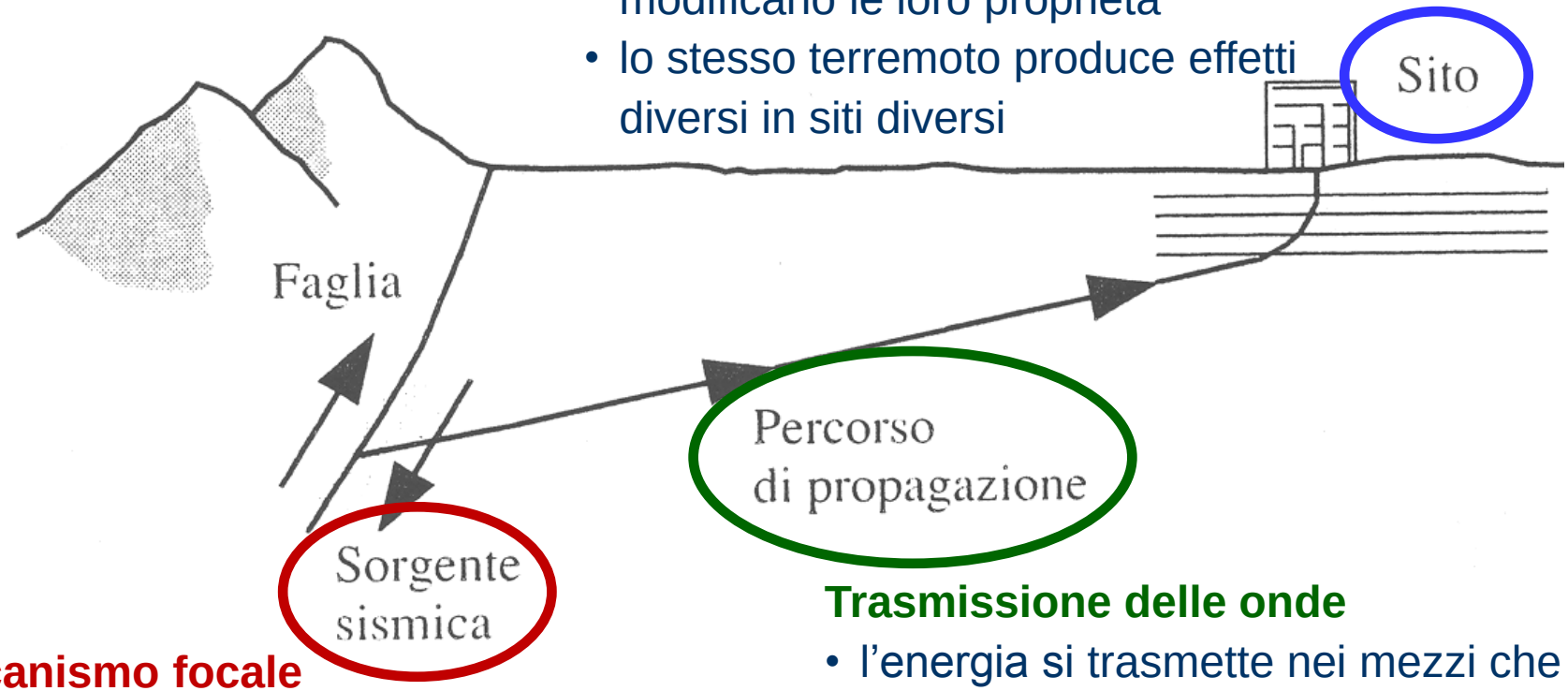
- Tempo di osservazione breve
- No info su eventi in aree disabitate

Mappe per P_{NCR} << 1 tengono conto delle incertezze

SORGENTE – PERCORSO – SITO

Amplificazione locale

- dal basso verso l'alto le onde modificano le loro proprietà
- lo stesso terremoto produce effetti diversi in siti diversi



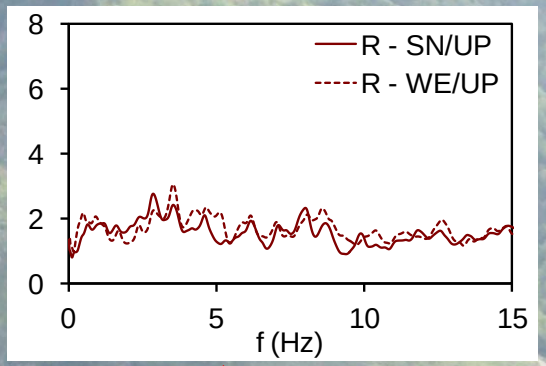
Meccanismo focale

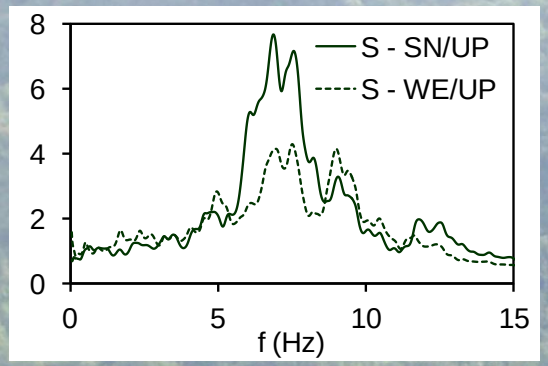
- determina intensità e caratteristiche del sisma
- terremoti diversi producono effetti diversi

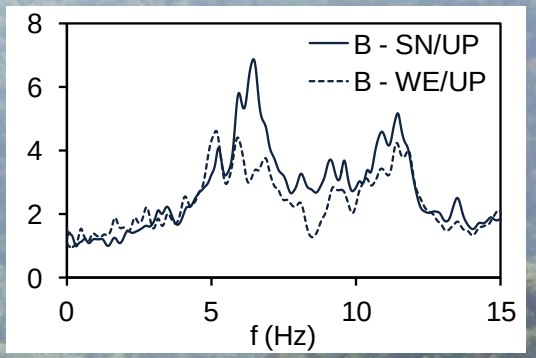
Trasmissione delle onde

- l'energia si trasmette nei mezzi che attraversa, con riflessioni, rifrazioni, attenuazioni
- l'effetto si smorza al crescere della distanza dall'epicentro

RISPOSTA SISMICA LOCALE







R

S

B

Ai 3 siti si hanno differenti risposte allo stesso evento sismico

Array velocimetrico a Belmonte Castello (FR): Receiver Functions di registrazioni di aftershocks del sisma dell'Aquila, 2009

MICROZONAZIONE SISMICA

MOPS ▸ **Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (amplificative e non)**

Pianificazione territoriale

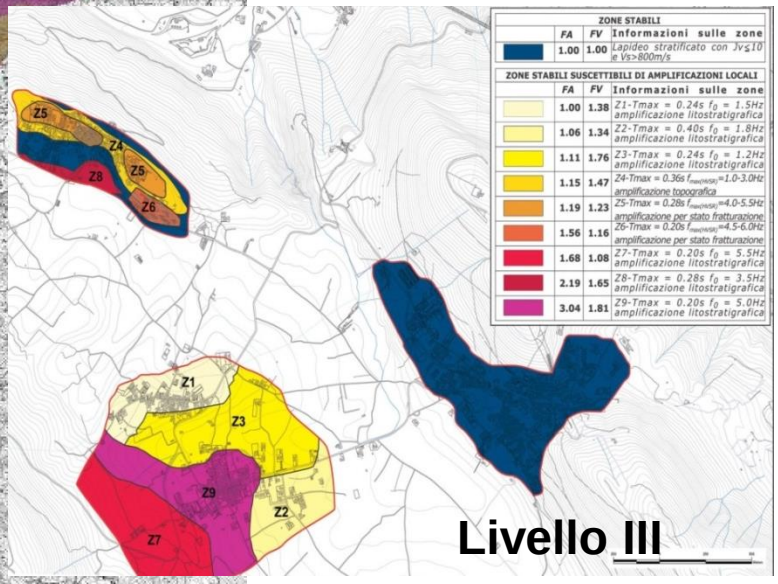
- **Scelta siti per nuove strutture**
- **Definizione priorità di intervento su esistente**

Livello I

- **Zone instabili**
- **Zone stabili (pianeggianti, V_{S30} > 800 m/s)**
- **Zone stabili ma suscettibili di amplificazione**

Livello II: coefficienti di amplificazione attraverso abachi (situazioni semplici 1D)

Livello III: coefficienti di amplificazione attraverso misure in sito e modellazione



Livello III

CRITERI DI PROGETTAZIONE TRADIZIONALE

Scopo: assicurare che in caso di sisma

- **sia protetta la vita umana**
- **siano limitati i danni**
- **rimangano funzionanti le strutture essenziali**

Sisma di progetto SLU → **no crolli, molti danni**

Principio non sostenibile → **Costi di ricostruzione**

Principio non compatibile con lo scopo delle norme →

- **Strutture strategiche funzionanti** (strutture di protezione civile, ponti, ospedali, caserme, ecc.)
- **Strutture a rischio di incidente rilevante sicure** (Impianti nucleari, chimici, contenenti materiali pericolosi)

ISOLAMENTO SISMICO ALLA BASE

ISOLATORI SISMICI

Isolatori elastomerici (RB)

- Isolatori elastomerici a basso smorzamento (LDRB)
- Isolatori elastomerici a alto smorzamento (HDRB)
- Isolatori gomma-piombo (LRB)

Isolatori a scorrimento con superfici piane

(SD)

Isolatori a scorrimento con superfici curve

(CSS)

EDIFICI ISOLATI IN GIAPPONE

> 5·000 edifici isolati, di cui oltre 120 alti

Tokyo (2000)
H=87.4 m,
: 30 LDRB + 99 EPD,
T = 4 s; trazione

Applause Building a Osaka, sistema di controllo ibrido

Artificial ground a Tokyo
S = 12350 m²
21 edifici residenziali
6-14 piani, con parcheggio interrato
242 isolatori (LDR, BB, RB/SD);
T = 6,7 s, d = 80 cm

SCUOLA "ANGELI DI SAN GIULIANO"

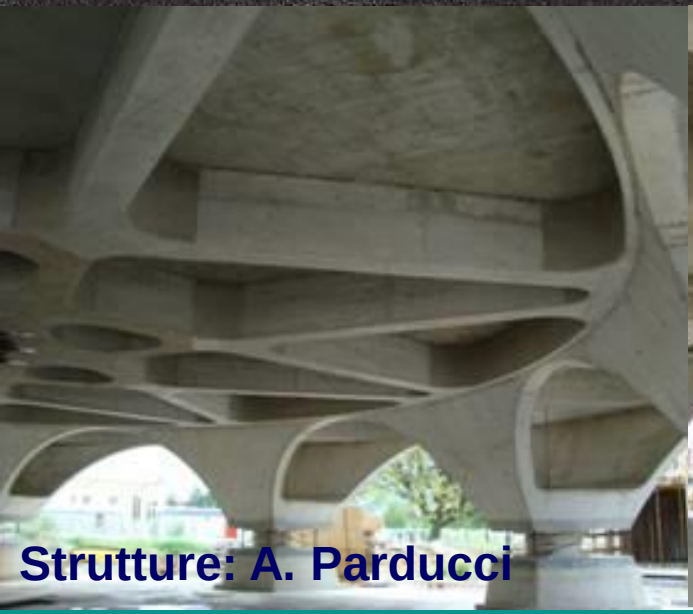
61 HDRB + 12 SD

Isolamento sismico:
P. Clemente (coord.), M. Dolce, A. Parducci, G. Buffarini

BASAMENTO ISOLATO SISMICAMENTE

Brevetto ENEA-TEKVA

CENTRO PROTEZIONE CIVILE, FOLIGNO



Strutture: A. Parducci

PROGETTO C.A.S.E. (L'AQUILA)

Piattaforme isolate con edificio prefabbricato, in c.a., legno o acciaio (giugno 2009)

Isolatori a pendolo scorrevole (CSS)

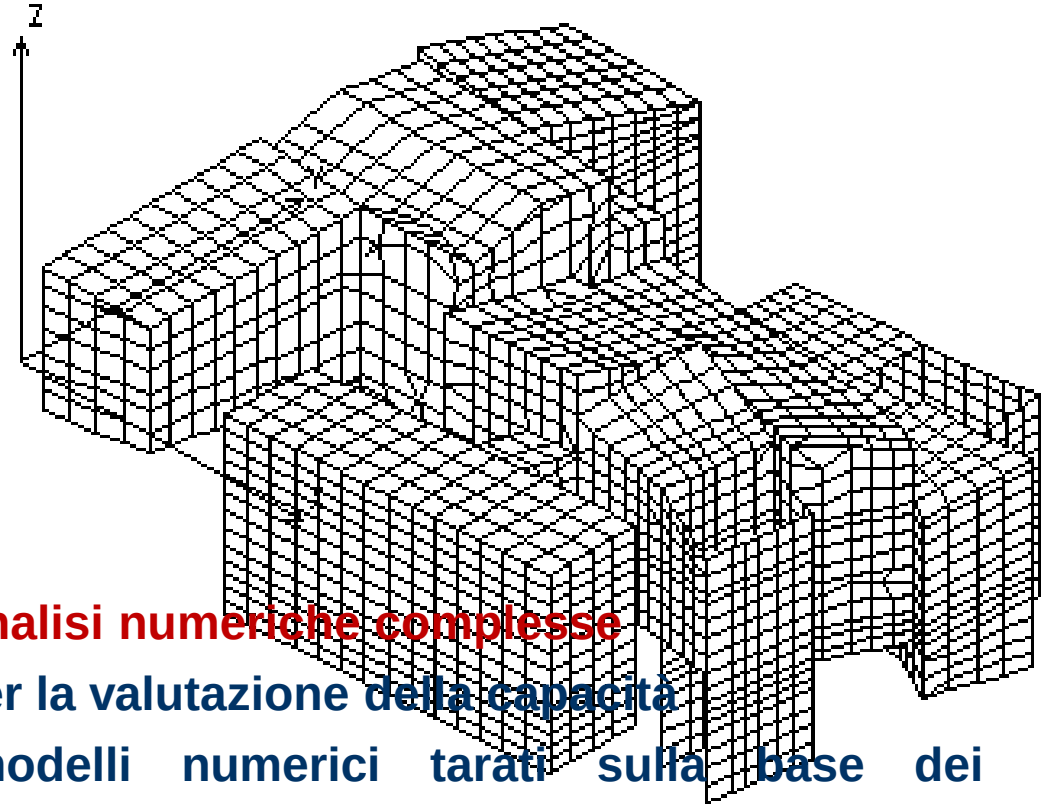
Progetto: DPC

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

La valutazione non può basarsi su un semplice esame visivo

Analisi sperimentali

- **sui materiali (effettive resistenze)**
- **sulle strutture (effettivo comportamento statico e dinamico)**



Analisi numeriche complesse per la valutazione della capacità (modelli numerici tarati sulla base dei risultati sperimentali)

Operazioni costose ma indispensabili per:

- Diagnosi: valutazione dell'affidabilità strutturale
- Terapia: definizione degli eventuali interventi

INDICE DI SICUREZZA

$$\zeta_E = \frac{(a_g \cdot S)_C}{(a_g \cdot S)_D} = \frac{\text{azione sismica SLV effettivo della struttura}}{\text{azione sismica progetto SLV per nuova costruzione}}$$

- ζ_E **può essere < 1**
- **Non c'è obbligo di intervento** a seguito della valutazione
- **A seguito di interventi**
  - ✓ valore minimo ζ_E = 0.6, per strutture strategiche e edifici scolastici
  - ✓ incremento minimo = 0.1, per le altre strutture
  - ✓ valore minimo ζ_E = 0.8, per strutture trasformate in edifici scolastici
- **Valori non sufficienti** per validare l'uso delle costruzioni (non è definito $\zeta_{E,min}$)

$$V_{NR} = -T_{RSLV,C} \frac{\ln(1-P_{VR})}{C_U}$$

- $T_{RSLV,C}$ = tempo di ritorno dell'azione sismica relativa allo SLV dalla struttura
- P_{VR} = 0.1 per SLV

- **Non ha il significato di una scadenza**, ma soltanto di una misura relativa della sicurezza al fine di stabilire dei criteri di priorità
- **Non è un valore massimo** della vita utile dell'edificio **né un valore minimo**
- **Va rapportato alla vita nominale** di un edificio, ossia almeno 50 anni
- Non è stabilito in modo univoco il **tempo a partire dal quale si misura**

INTERVENTI: TRADIZIONALI E INNOVATIVI

Tecniche tradizionali non adatte per adeguamento sismico edifici storici:

- Incremento di resistenza e duttilità
- Irreversibili
- Materiali diversi e incompatibili
- Modifica concezione strutturale originaria

- Possono solo evitare il collasso
- Non possono evitare gravi danni

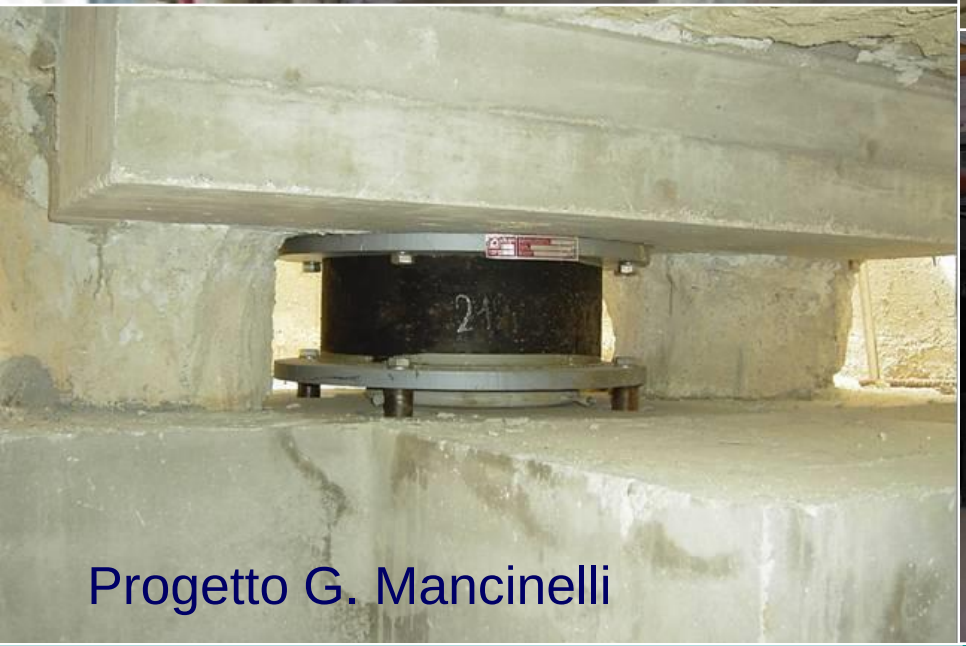
Le moderne tecnologie, invece:

- Riduzione azione sismica
- No danni anche per eventi violenti
- Scarsa interferenza con la struttura

EDIFICIO VIA LATINI, FABRIANO

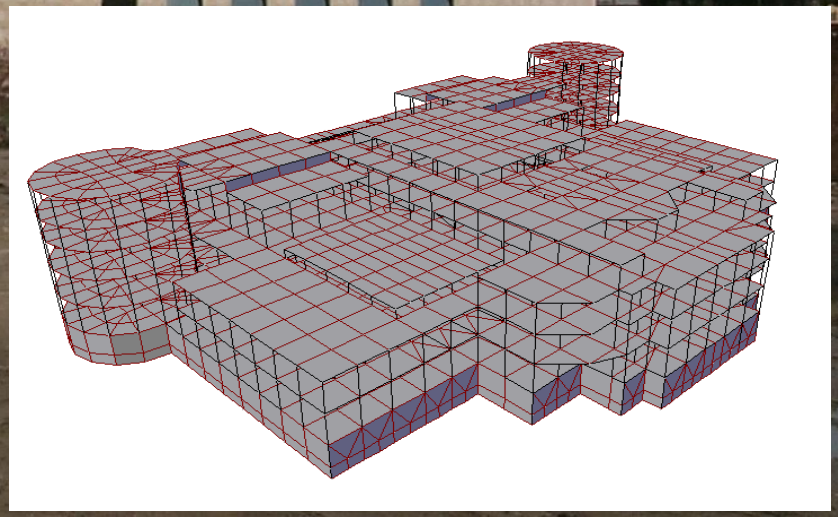
Design: G. Mancinelli

EDIFICIO VIA LATINI, FABRIANO



Progetto G. Mancinelli

CENTRO POLIFUNZ. (R. TRAIANO SOCCAVO, NA)



CENTRO POLIFUNZ. (R. TRAIANO SOCCAVO, NA)

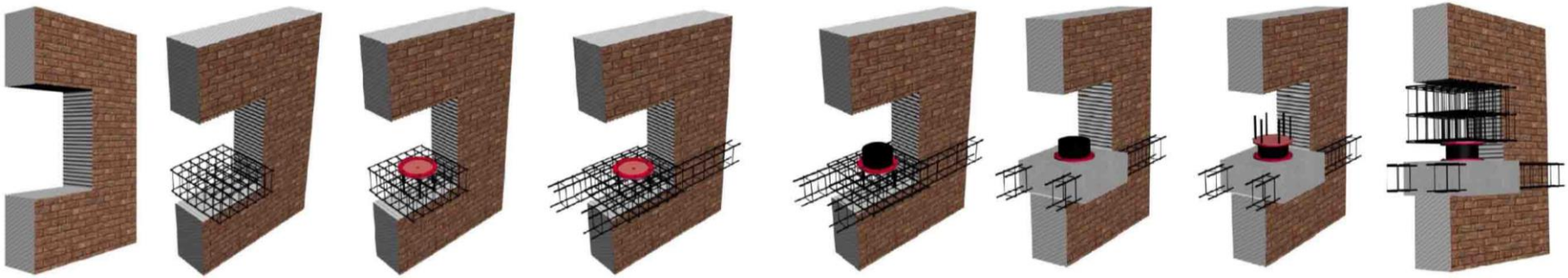
Taglio dei pilastri: inserimento dei dispositivi lungo i pilastri del primo livello e inserimento di un piano rigido

Courtesy by ALGA

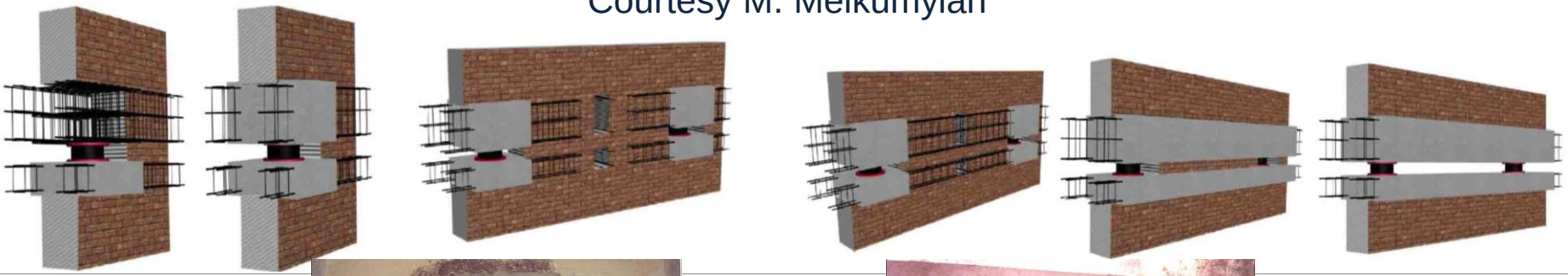
EDIFICIO SCOLASTICO A VANADZOR (ARMENIA)

Masonry building, 4 levels
Retrofit by means of con “Medium Damping Rubber Bearing” (MDNB), 2002
(design M. Melkumyian)

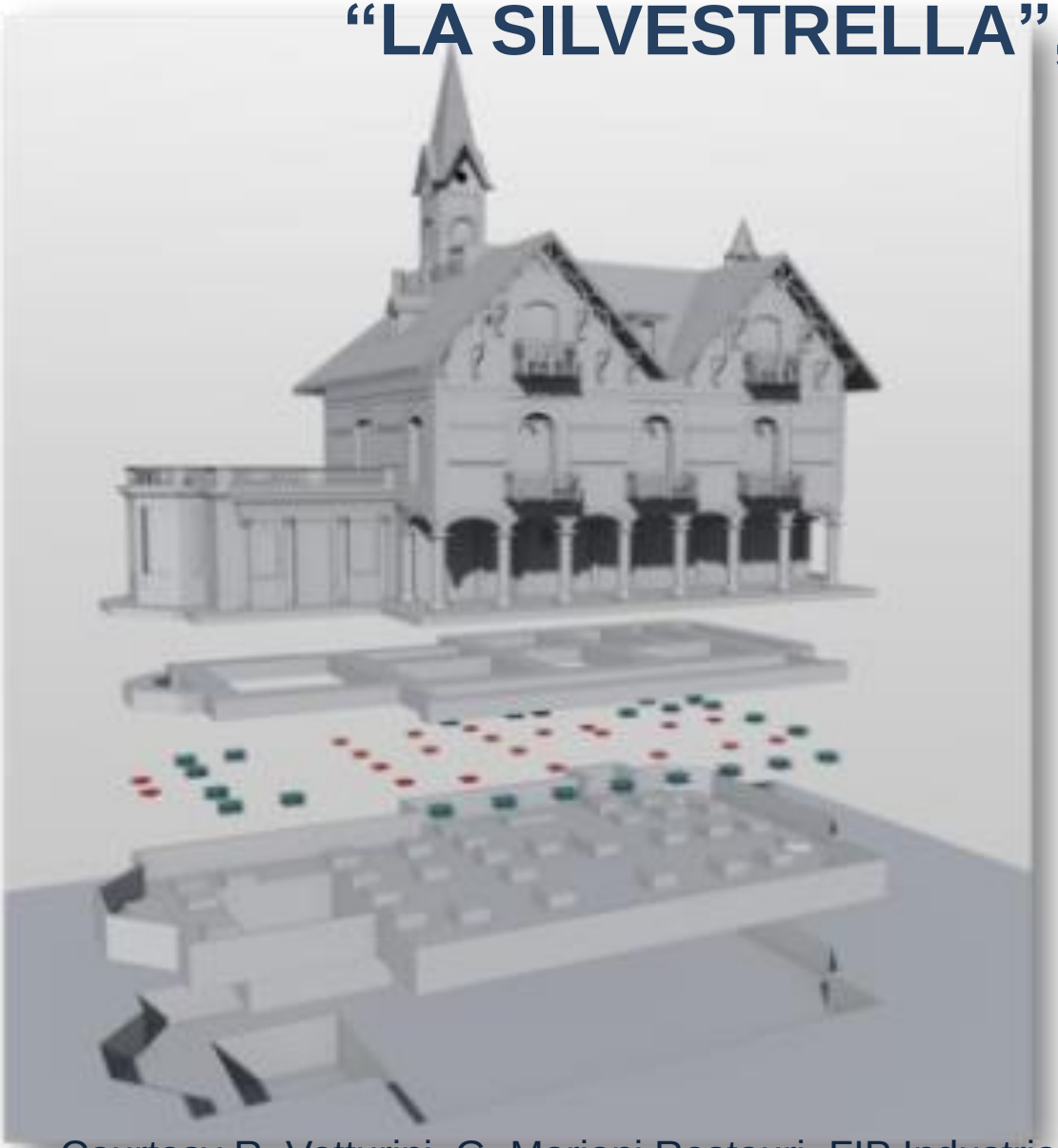
EDIFICIO SCOLASTICO A VANADZOR (ARMENIA)



Courtesy M. Melkumyian



"LA SILVESTRELLA", L'AQUILA



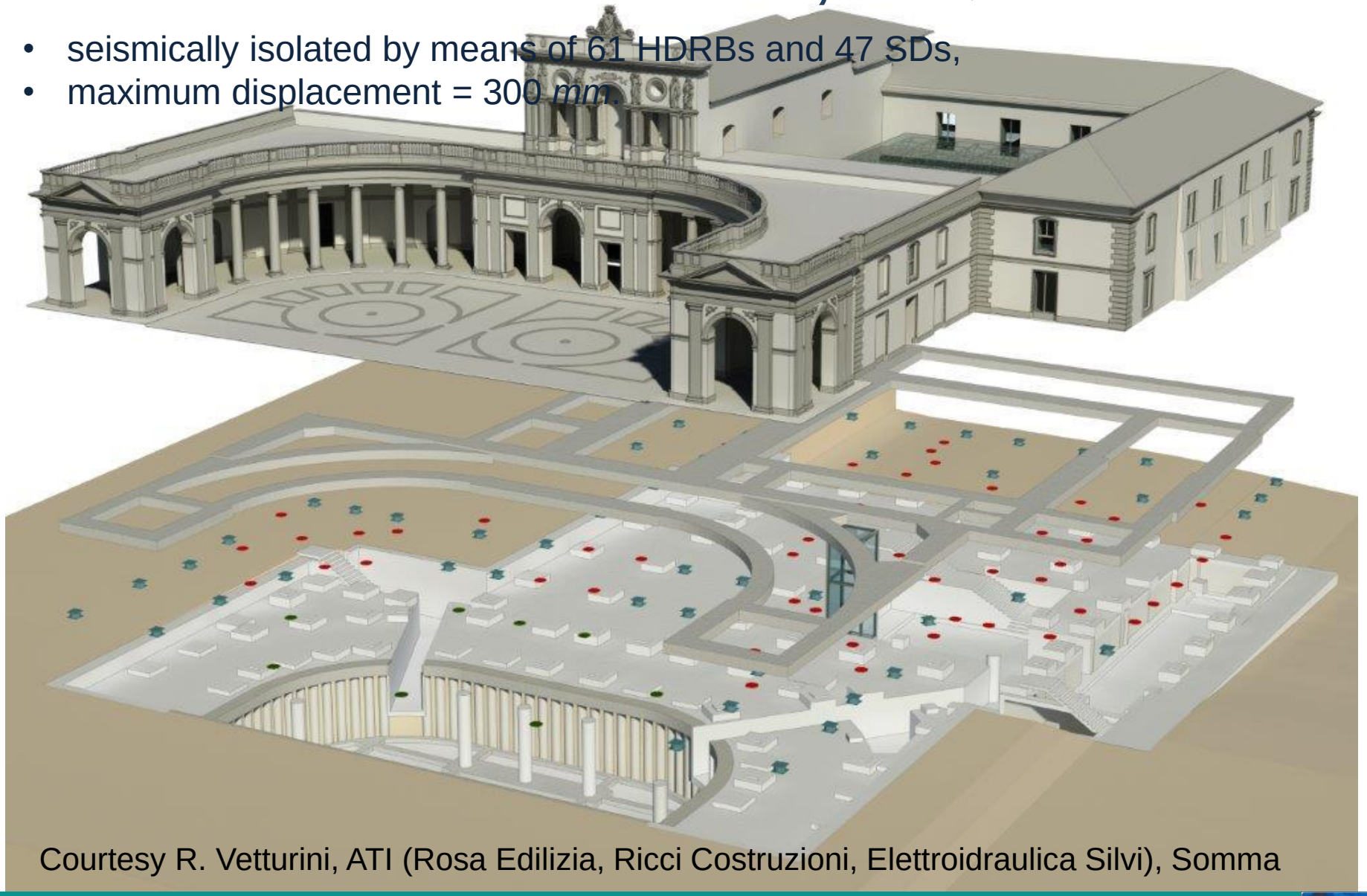
Courtesy R. Vetturini, G. Mariani Restauri, FIP Industriale

Fasi esecutive:

- Consolidamento della sovrastruttura e messa in sicurezza
- Realizzazione di due sottofondazioni tra le quali sono inseriti gli isolatori:
  - ✓Sottofondazione superiore: cordolo continuo in c.c.
  - ✓Sottofondazione inferiore: plinti successivamente collegati con una piastra in c.a.

EMICICLO BUILDING, L'AQUILA

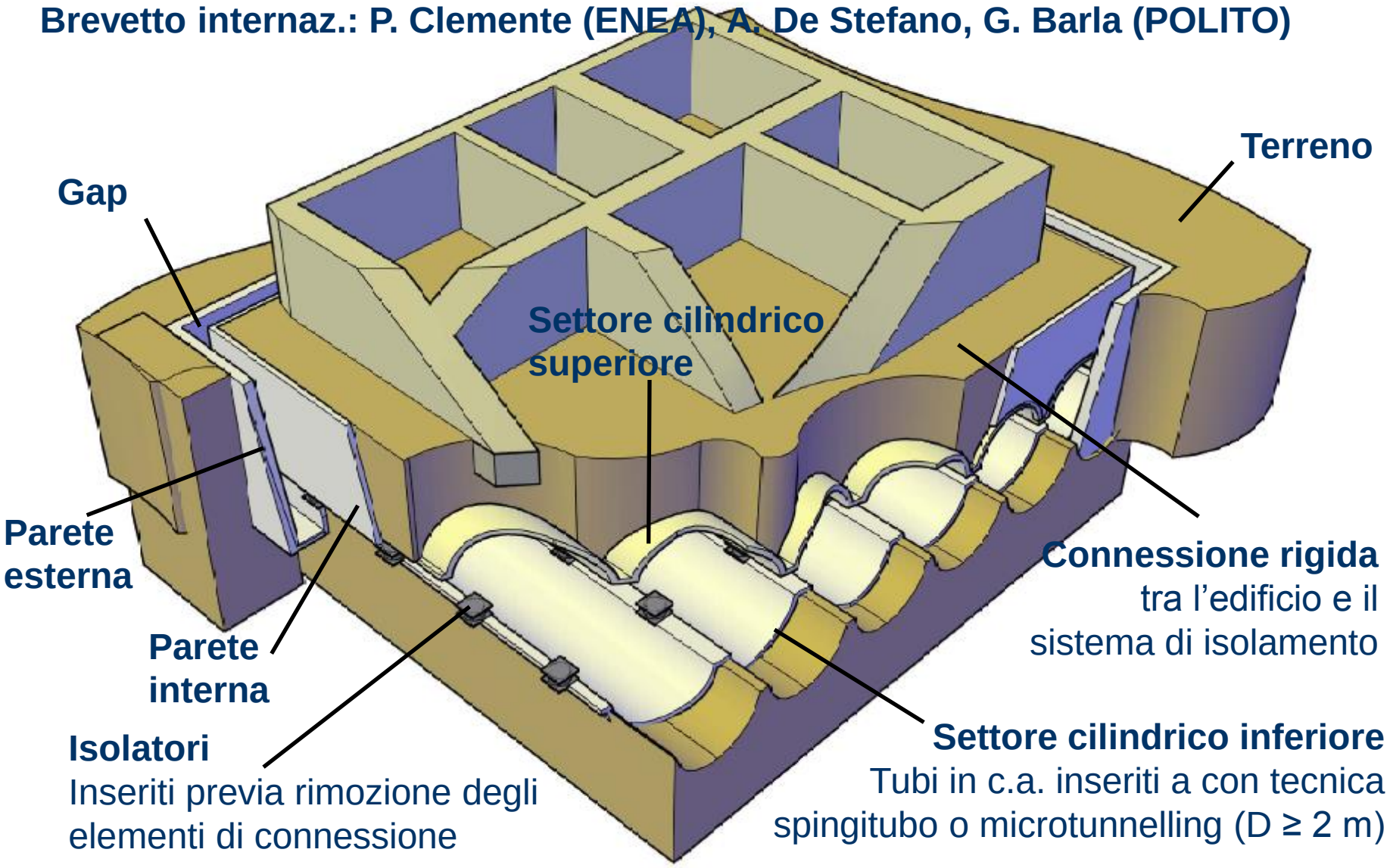
- seismically isolated by means of 61 HDRBs and 47 SDs,
- maximum displacement = 300 *mm*.



Courtesy R. Vetturini, ATI (Rosa Edilizia, Ricci Costruzioni, Elettroidraulica Silvi), Somma

STRUTTURA ISOL. SISMICO EDIFICI ESISTENTI

Brevetto internaz.: P. Clemente (ENEA), A. De Stefano, G. Barla (POLITO)



Manuale teorico-pratico in materia di adeguamento degli edifici esistenti mediante isolamento sismico, tecnica che consente di perseguire un elevato grado di sicurezza e, negli interventi preventivi ossia su edifici non danneggiati e quindi agibili, di tenere operativa la struttura durante i lavori, garantendo anche un risparmio sui costi legati alla delocalizzazione.

I principali argomenti trattati nella pubblicazione sono:

- storia dell'isolamento sismico, dai primi tentativi di disaccoppiare la struttura dal terreno mediante strati di argilla o altro, basati sull'intuito, fino alle più recenti applicazioni;
- richiami teorici essenziali sul comportamento degli edifici isolati alla base e dei dispositivi elastomerici, a scorrimento con superfici piane e a scorrimento con superfici curve, descrivendone le caratteristiche e le verifiche da eseguire secondo le norme tecniche vigenti;
- i criteri essenziali per una progettazione ottimale, con particolare riferimento all'inserimento dell'isolamento sismico in edifici esistenti. Si affronta dapprima la scelta della disposizione in pianta e in elevazione dei dispositivi di isolamento, poi vengono presentate semplici procedure per il dimensionamento preliminare;
- tecniche di applicazione dell'isolamento sismico in edifici esistenti, rispettivamente in conglomerato cementizio armato e in muratura, con l'ausilio di esempi già realizzati;
- soluzione innovativa, pensata per gli edifici storici ma applicabile a una vasta gamma di strutture esistenti, che consente di isolare un edificio agendo al di sotto delle fondazione, senza toccare la sovrastruttura.

SOFTWARE INCLUSO (WebApp con aggiornamento automatico)

- **Foglio di calcolo per il dimensionamento preliminare di un sistema di isolamento sismico** formato da isolatori elastomerici e a scorrimento con superfici piane. Esso consente di eseguire la verifica di massima di un sistema di isolamento sismico composto da isolatori elastomerici e isolatori a scorrimento con superfici piane, per un edificio con un numero di impalcati non superiore a 10, oltre all'impalcato "0" che è primo al di sopra dell'interfaccia di isolamento, e un numero totale di isolatori non superiore a 100.
- **Speciale progettazione strutturale antisismica** (normativa nazionale, normativa regionale e giurisprudenza)

REQUISITI HARDWARE E SOFTWARE

Qualsiasi dispositivo con MS Windows, Mac OS X, Linux, iOS o Android; Adobe Reader 11+; MS Excel 2010+. Accesso ad Internet e browser web con Javascript attivo.

Paolo Clemente, Ing. Civile, Ph.D. in Ing. delle Strutture, Dirigente di Ricerca in ENEA. Progettista e collaudatore di strutture con isolamento sismico. Autore di numerosi lavori scientifici sull'isolamento sismico.

Fernando Saitta, Ing. Civile, Ph.D. nel Settore Scientifico Disciplinare Scienza delle Costruzioni. Ricercatore in ENEA. Autore di numerosi lavori scientifici su dissipatori e strutture isolate alla base.

Giacomo Buffarini, Ing. Civile, Primo Ricercatore in ENEA. Progettista e collaudatore di strutture con isolamento sismico. Autore di numerosi lavori scientifici sull'isolamento sismico.

Giovanni Bongiovanni, Ing. Nucleare, Ricercatore in ENEA. Autore di numerosi lavori sulla caratterizzazione dinamica sperimentale e il comportamento sismico sperimentale di strutture con isolamento sismico.

P. CLEMENTE, F. SAITTA, G. BUFFARINI, G. BONGIOVANNI — ISOLAMENTO SISMICO EDIFICI ESISTENTI

Paolo Clemente, Fernando Saitta,
Giacomo Buffarini, Giovanni Bongiovanni

ISOLAMENTO SISMICO EDIFICI ESISTENTI

CRITERI DI PROGETTO E APPLICAZIONI

- CENNI STORICI E APPLICAZIONI
- TEORIA E DISPOSITIVI DI ISOLAMENTO
- PROGETTO E OTTIMIZZAZIONE
- ISOLAMENTO SISMICO NEGLI EDIFICI IN C.A. ESISTENTI
- ISOLAMENTO SISMICO NEGLI EDIFICI IN MURATURA ESISTENTI
- UNA NUOVA STRUTTURA DI ISOLAMENTO SISMICO PER EDIFICI ESISTENTI

SOFTWARE INCLUSO
WEBAPP CON AGGIORNAMENTO AUTOMATICO

DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE DI UN SISTEMA DI ISOLAMENTO SISMICO

SPECIALE PROGETTAZIONE STRUTTURALE ANTISISMICA
(Normativa nazionale, normativa regionale e giurisprudenza)

GRAFILL

https://www.grafill.it/libri/clemente-saitta-buffarini-bongiovanni/isolamento-sismico-degli-edifici-esistenti_88-277-0049-5.html

ANAGRAFE DEL COSTRUITO

Raccolta delle cartelle cliniche ► stato di salute del costruito
In 3 fasi:

1) Recupero **documentazione** esistente + accurata **indagine visiva**
2) **Rilievo** strutturale, architettonico e impiantistico + **prove sperimentali** su materiali e strutture (ove necessario)
3) Valutazione dello stato di salute ► **classificazione strutturale**

Costi contenuti
ma vanno previsti **incentivi,**
quali bonus fiscali

- **Controlli** sperimentali e verifica a prefissati intervalli di tempo
- **Aggiornamento** a ogni intervento sull'edificio ► sistema dinamico

- **Se Classe non soddisfacente ► progetto di miglioramento sismico**

INCENTIVARE LA SICUREZZA

Sistema virtuoso che:

- Invogli i cittadini a **investire sulla sicurezza** dei propri immobili
- Porti alla **riduzione del rischio** a fronte di eventi ambientali
- **Non gravi sullo Stato**
- **Non arricchisca una categoria** a scapito di altre o dei cittadini stessi
- Contribuisca ad un **rilancio del settore edile** e del mercato immobiliare

SICUREZZA STRUTTURALE (CLASSE) ► VALORE DI MERCATO

Strumenti:

- **Bonus fiscali**
- **Assicurazione obbligatoria a fronte dei rischi naturali**

ASSICURAZIONE OBBLIGATORIA

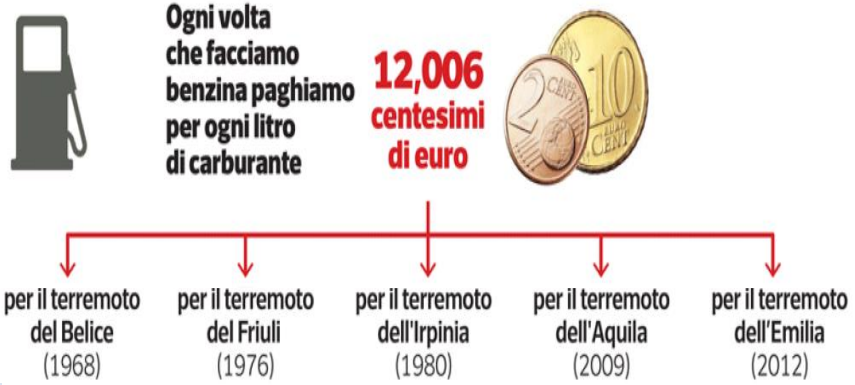
Ddl n. 3631/XVI (2012, Senato) – Ddl n. 881/XVII (2013, Senato)

Perché?

- **Sollevare lo Stato** da spese ricostruzione a seguito di eventi calamitosi
- **Velocizzare** tempi di ricostruzione
- **Stimolare i proprietari** a verificare l'affidabilità delle strutture
- **Rilanciare** il settore edile (più manutenzione, meno nuove costruzioni)

Nuova tassa?

- **SI !!** che **deve sostituire quelle esistenti**, palesi e non
- un **sistema virtuoso**, onesto e trasparente



Quanto costa?

Unità immobiliari	≈ **32.000.000**
Danni (M€/anno)	≈ **3.200**

Premio di assicurazione medio
≈ 100 €/anno

Fondo per la Sicurezza strutturale

MARCHIO DI SICUREZZA

Finalità del marchio: valorizzare l'investimento nella sicurezza

Concessione d'uso del marchio: subordinata al completamento di un iter istruttorio

Disciplinare: vademecum che guida il professionista

Comitato scientifico
Paolo Clemente, ENEA
Giacomo Buffarini, ENEA
Roberto Giacchetti, SidLab srl
Emanuele Tondi, UNICAM
Claudio Rosso, Ass. It. Cultura e Qualità

Principio: Rispetto delle NTC, con requisiti aggiuntivi

Elaborati di progetto e esecuzione: Progetto originario, Elaborati "as built", Ampio report di foto e video

Accurata ed esaustiva relazione finale

Sopralluogo da parte della Commissione Tecnica

CONDOMINI 4.0

Obiettivo Indagine Strutturale:

- **Approccio integrato:** sicurezza e efficienza
- **Indagine Speditiva** per una rapida ed esperta valutazione
- **Base Iniziale** dalla quale individuare le criticità da approfondire
- **Quadro Statistico** utile per pianificare interventi su vasta scala
- **Stabilire Priorità** di intervento
- **Gravi Deficienze Strutturali** e conseguenti provvedimenti urgenti

- **Non sostituisce la verifica di vulnerabilità**, ma è propedeutica ad essa
- **Non garantisce la sicurezza dell'edificio**, essendo un'indagine speditiva, di carattere documentale e visivo

Info: concetta.tripepi@enea.it; anna.marzo@enea.it; giacomo.buffarini@enea.it

PREVENZIONE E INFORMAZIONE

EDIFICIO IN CLASSE

Edifici con grado di sicurezza non soddisfacente:

- **No scuole**
- **No ospedali**
- **No edifici strategici**

Distinguere:

- **Edifici storici: da salvare sempre**
- **Edifici semplicemente vecchi: demolizione e ricostruzione**

paolo.clemente@enea.it

ENERGIA E SOSTENIBILITÀ
PER LA
PUBBLICA AMMINISTRAZIONE

UNIONE EUROPEA
Fondo Sociale Europeo
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Agenzia per la Coesione Territoriale

ENEA
Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

PON GOVERNANCE E CAPACITÀ ISTITUZIONALE 2014-2020