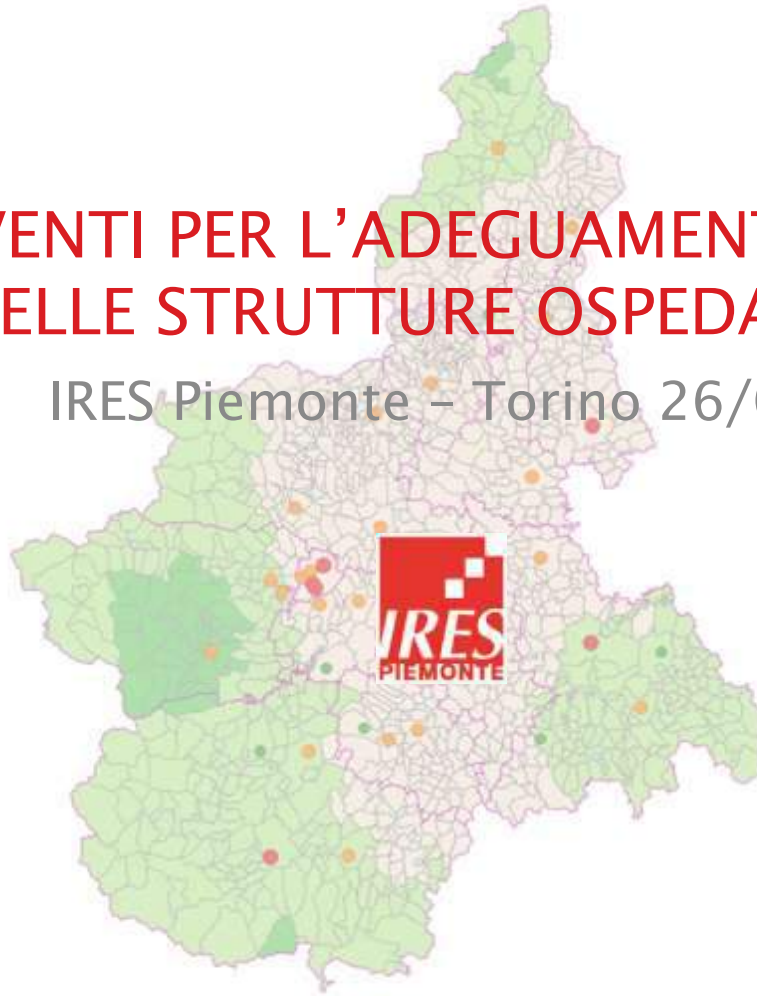


# GLI INTERVENTI PER L'ADEGUAMENTO ANTISIMICO DELLE STRUTTURE OSPEDALIERE

IRES Piemonte - Torino 26/06/2017



## CONOSCENZE E VERIFICHE PER L'ADEGUAMENTO STRUTTURALE

---

Prof. Ing. Giuseppe Andrea Ferro - Politecnico di Torino



# GLI INTERVENTI PER L'ADEGUAMENTO ANTISIMICO DELLE STRUTTURE OSPEDALIERE

IRES Piemonte - Torino 26/06/2017

**R**  
RISCHIO SISMICO



LA MISURA DEI DANNI CHE, IN BASE AL TIPO DI SISMICITÀ, DI RESISTENZA DELLE COSTRUZIONI E DI ANTROPIZZAZIONE, CI SI PUÒ ASPETTARE IN UN DATO INTERVALLO DI TEMPO.

$$R = P \times V \times E$$

**P**  
PERICOLOSITÀ SISMICA

P è la pericolosità sismica di un **territorio** è rappresentata dalla frequenza e dalla forza dei terremoti che lo interessano, ovvero dalla sua sismicità.

Un territorio avrà una pericolosità sismica tanto più elevata quanto più probabile sarà, a parità di intervallo di tempo considerato, il verificarsi di un terremoto di una certa magnitudo.

**RAPPRESENTA LA SISMICITÀ DEL TERRITORIO**

**V**  
VULNERABILITÀ SISMICA

V è la vulnerabilità sismica, che riflette la capacità di una **costruzione** di rispondere alle sollecitazioni sismiche ed è misurata dal danno che la costruzione subisce a fronte di un evento di data intensità.

Quanto più un edificio è vulnerabile (per esempio per scarsa manutenzione), tanto maggiori saranno le conseguenze che ci si deve aspettare in seguito alle oscillazioni cui la struttura sarà sottoposta.

**RAPPRESENTA LA QUALITÀ DELLA COSTRUZIONE**

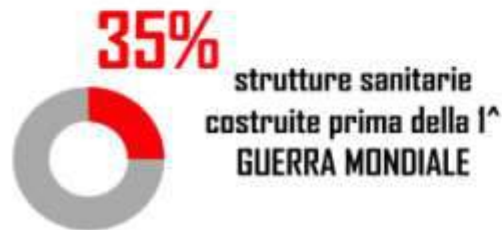
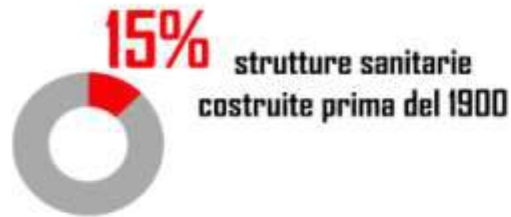
**E**  
ESPOSIZIONE SISMICA

E è l'esposizione sismica, che può essere definita come la dislocazione, consistenza, qualità e valore dei beni e delle **attività presenti** sul territorio che possono essere influenzate direttamente o indirettamente dall'evento sismico. La maggiore o minore presenza di beni a rischio e, dunque, la conseguente possibilità di subire un danno (in vite umane, economico, ai beni culturali, ecc...)

**RAPPRESENTA IL VALORE DELLA COSTRUZIONE E IL SUO AFFOLLAMENTO**



# Vulnerabilità edifici ospedalieri



**PATRIMONIO molto VARIEGATO**

62%: Cemento Armato  
 23%: Muratura  
 13%: Cemento Armato + Muratura  
 2%: Prefabbricato/Acciaio

Fonte dati: IL SOLE 24 ORE, SANITÀ, LUGLIO 2009



## Vulnerabilità edifici ospedalieri

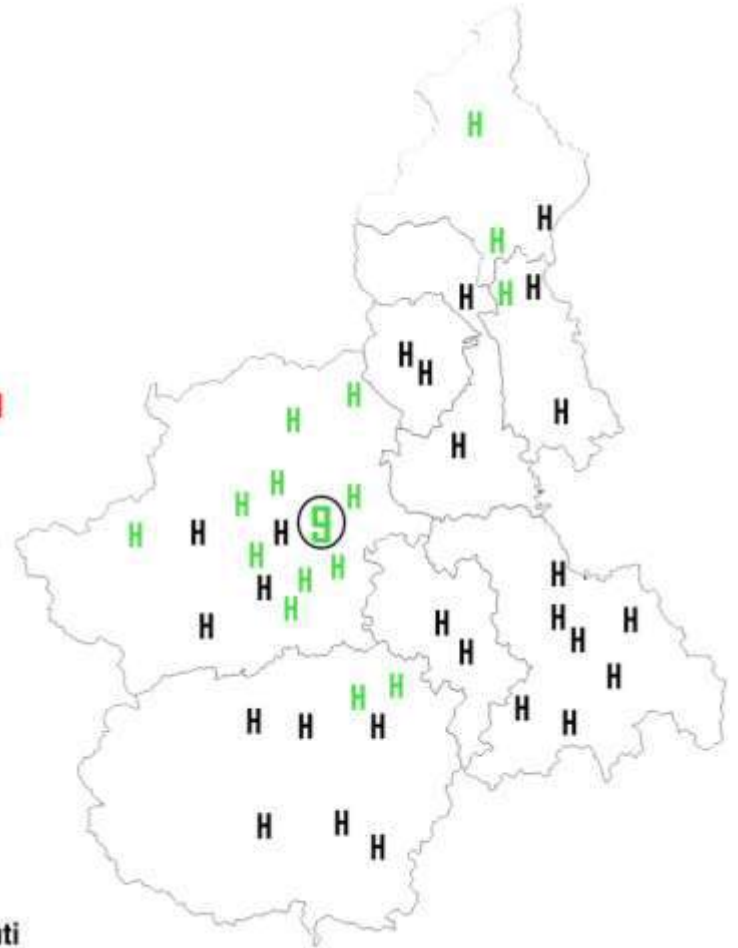
**51** **PRESIDI OSPEDALIERI IN PIEMONTE**  
 RETE OSPEDALIERA REGIONALE - PIANIFICAZIONE 2015

- strutture sanitarie costruite prima del 1900: 9
- strutture sanitarie costruite tra il 1900 ed il 1940: 20
- strutture sanitarie costruite tra il 1940 ed il 2000: 20
- strutture sanitarie costruite dopo il 2000: 2

FORNTE DATI: RISCHIO SISMICO IN ITALIA, PROTEZIONE CIVILE

**24** **ANALISI DI VULNERABILITÀ**  
 DISEG - POLITECNICO DI TORINO, 2015/2016

- predisposizione delle schede di livello 0
- analisi storico-strutturale dei presidi considerati



## Opcm n. 3519 del 28 aprile 2006: criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle stesse zone

ZONA	Accelerazione con $pf=10\%$ in 50 anni ( $a_g$ )	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico ( $a_g$ )
1	$0.25 < a_g \leq 0.35$ g	0.35 g
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$ g	0.25 g
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$ g	0.15 g
4	$\leq 0.05$ g	0.05 g

Sulla base delle valutazioni di  $a_g$ , l'assegnazione di un territorio a una delle zone sismiche potrà avvenire secondo la tabella con tolleranza di 0.025 g



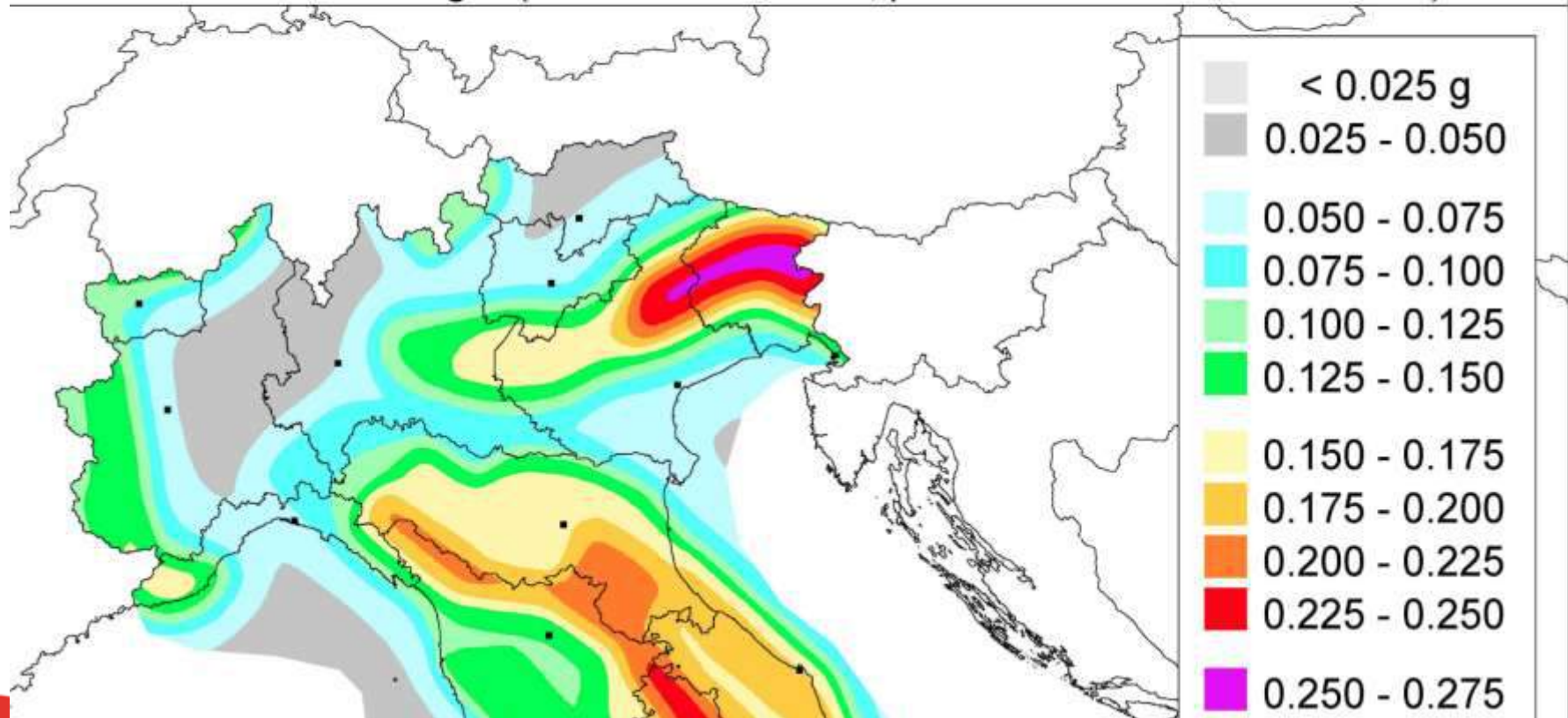
IRES Piemonte - Torino 26/06/2017

## Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

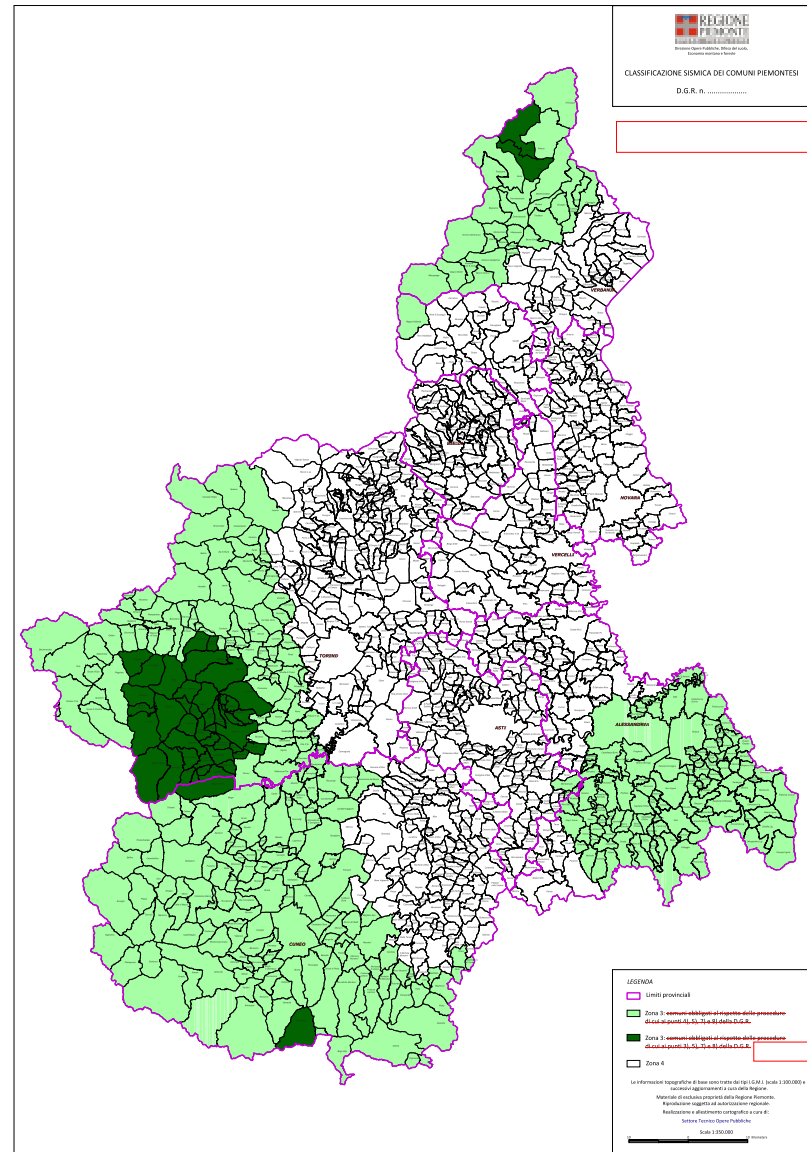
(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo  
con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)

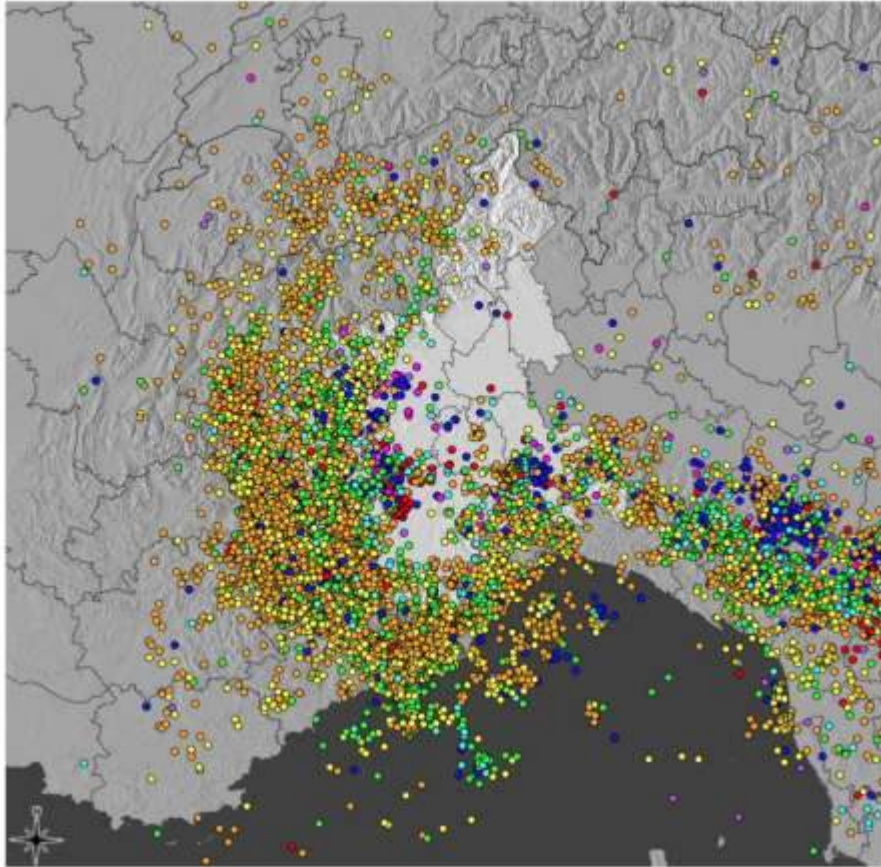


## CLASSIFICAZIONE SISMICA PIEMONTE





## Distribuzione della sismicità in Piemonte e nelle aree limitrofe dal 1982 al 2010.



### Legenda:

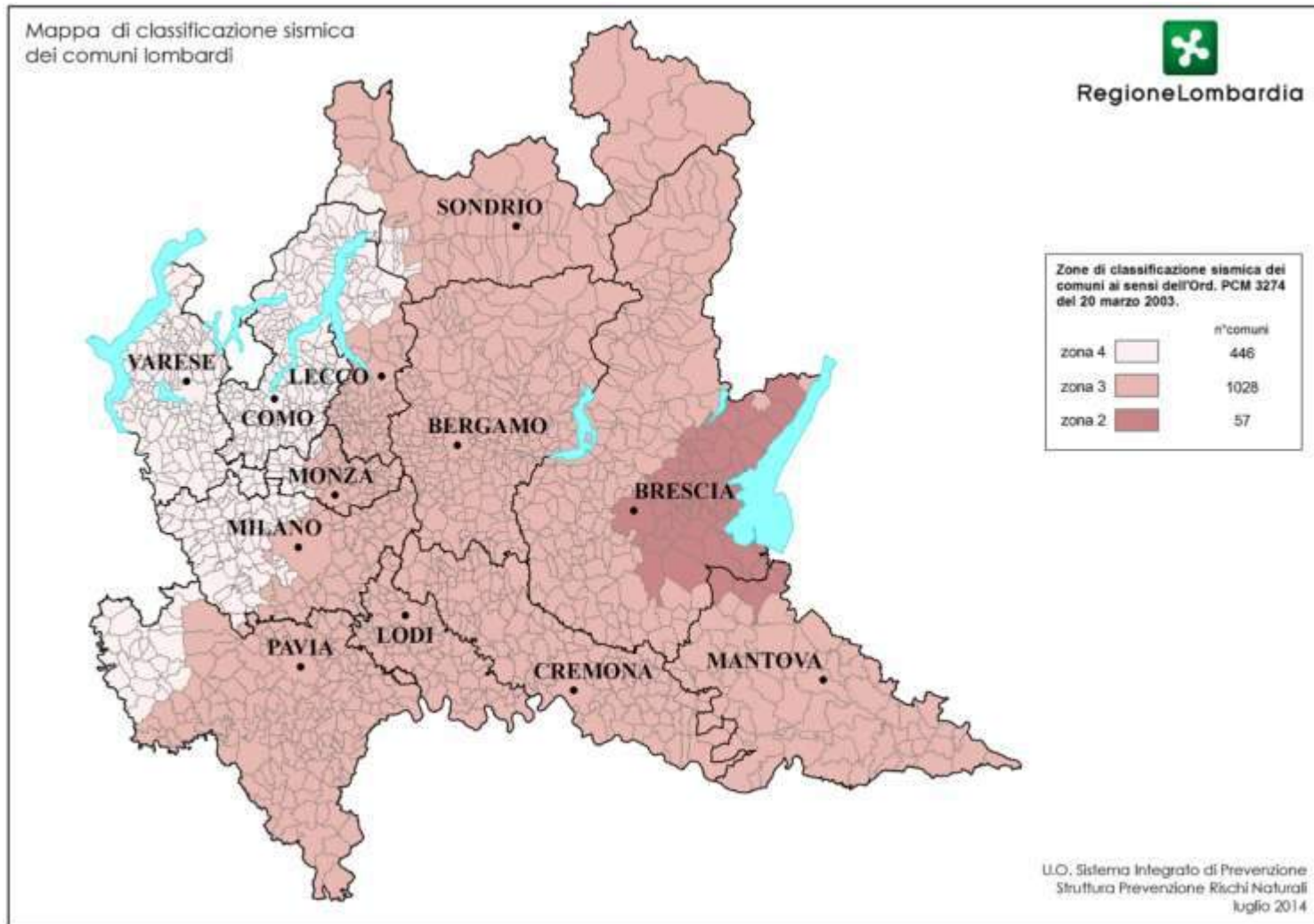
**I colori dei simboli sono rappresentativi della profondità ipocentrale dei terremoti secondo le classi di seguito indicate (km)**

- 0 - 3.9
- 4 - 9.9
- 10 - 15.9
- 16 - 19.9
- 20 - 29.9
- 30 - 35.9
- 36 - 44.9
- 45 - 114.0

**Fonte ARPA Piemonte**

# GLI INTERVENTI PER L'ADEGUAMENTO ANTISIMICO DELLE STRUTTURE OSPEDALIERE

IRES Piemonte - Torino 26/06/2017



## CONSIDERAZIONI GENERALI SUI TERREMOTI

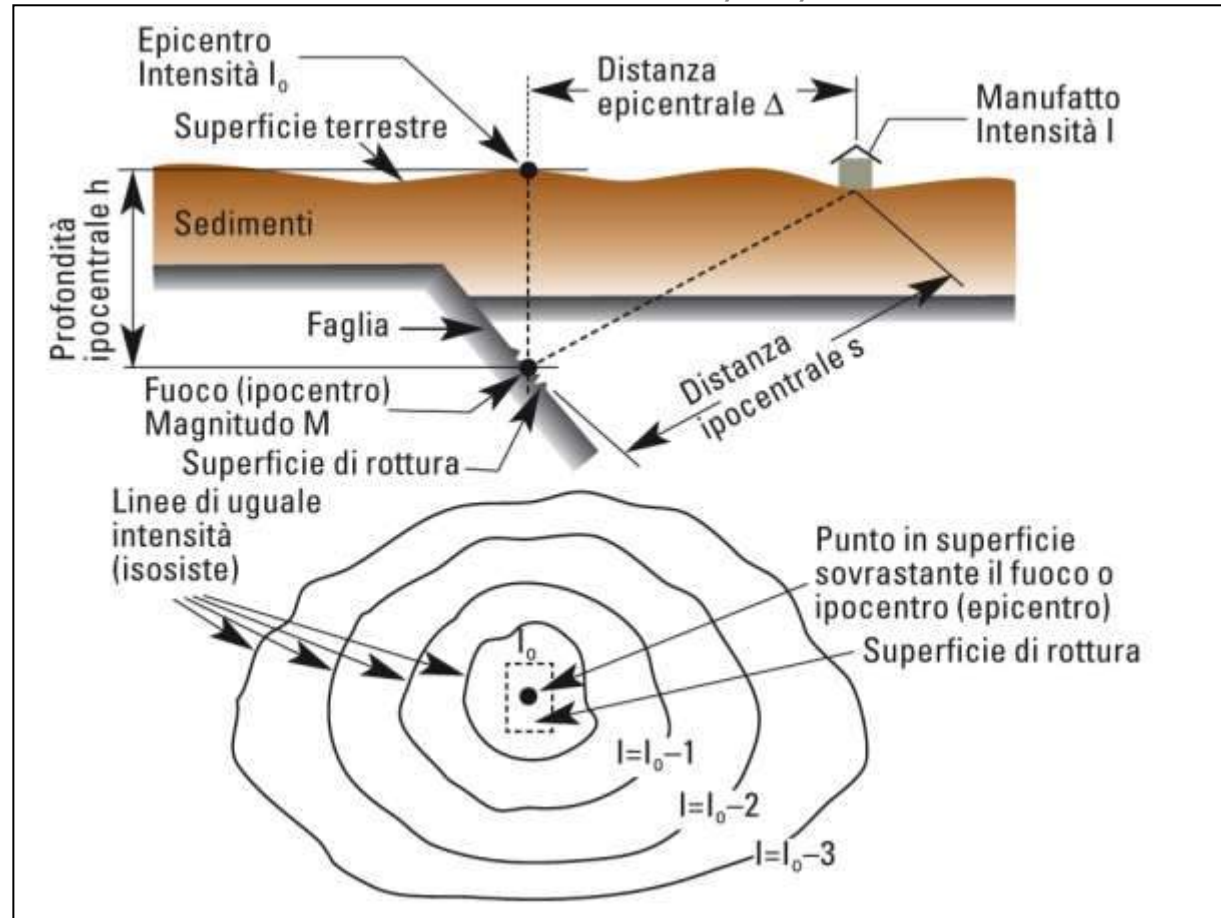
### INTENSITÀ E FREQUENZE

<u>Scala Richter magnitudo</u>	<u>TNT equivalente</u>	<u>Frequenza</u>
0	1 chilogrammo	circa 8.000 al giorno
1	31,6 chilogrammi	
1,5	178 chilogrammi	
2	1 tonnellata	circa 1.000 al giorno
2,5	5,6 tonnellate	
3	31,6 tonnellate	circa 130 al giorno
3,5	178 tonnellate	
4	1000 tonnellate	circa 15 al giorno
4,5	5600 tonnellate	
5	31600 tonnellate	2-3 al giorno
5,5	178000 tonnellate	
6	1 milione di tonnellate	120 all'anno
6,5	5,6 milioni di tonnellate	
7	31,6 milioni di tonnellate	18 all'anno
7,5	178 milioni di tonnellate	
8	1 miliardo di tonnellate	1 all'anno
8,5	5,6 miliardi di tonnellate	
9	31,6 miliardi di tonnellate	1 ogni 20 anni
10	1000 miliardi di tonnellate	sconosciuto



# GLI INTERVENTI PER L'ADEGUAMENTO ANTISIMICO DELLE STRUTTURE OSPEDALIERE

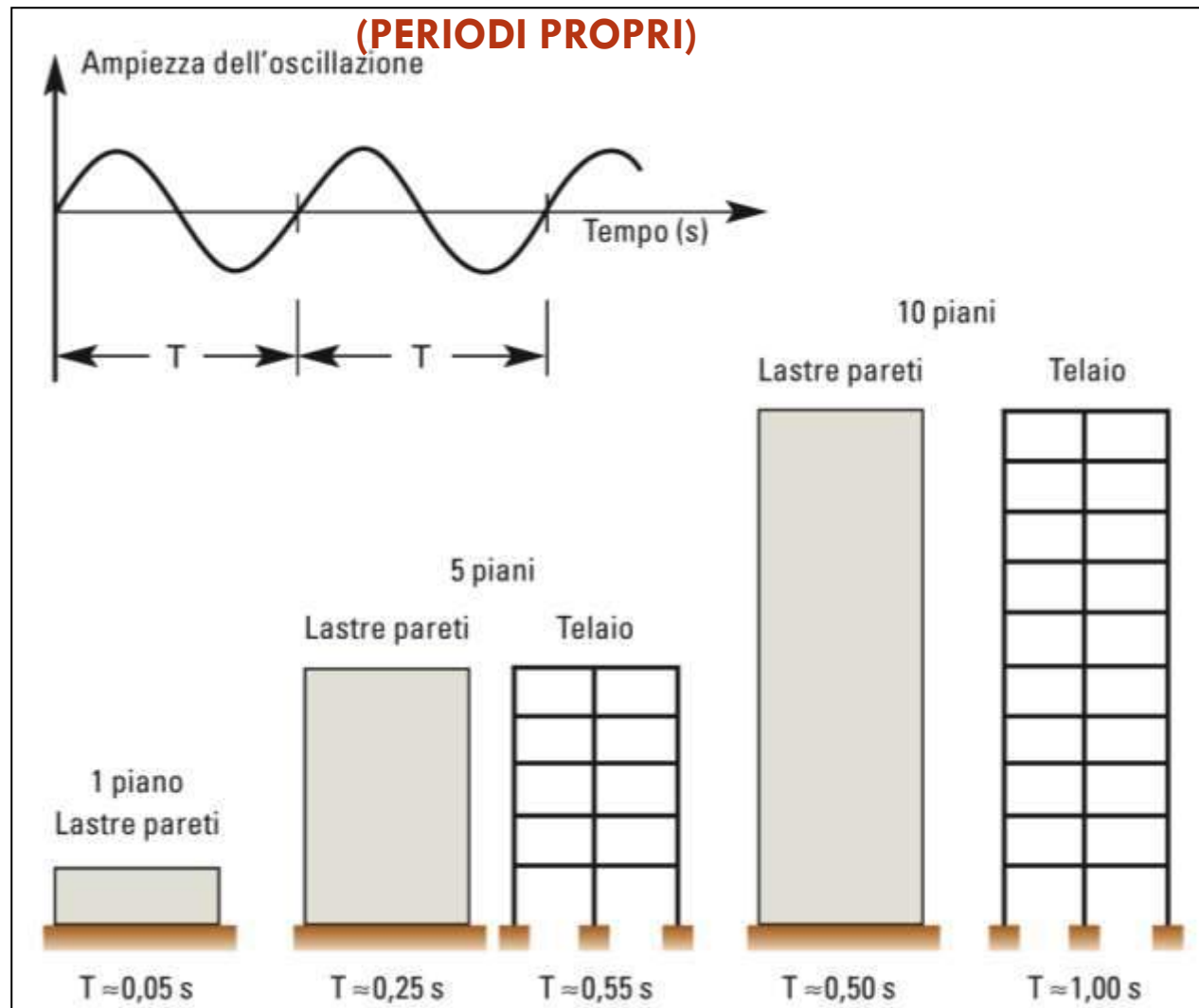
IRES Piemonte - Torino 26/06/2017



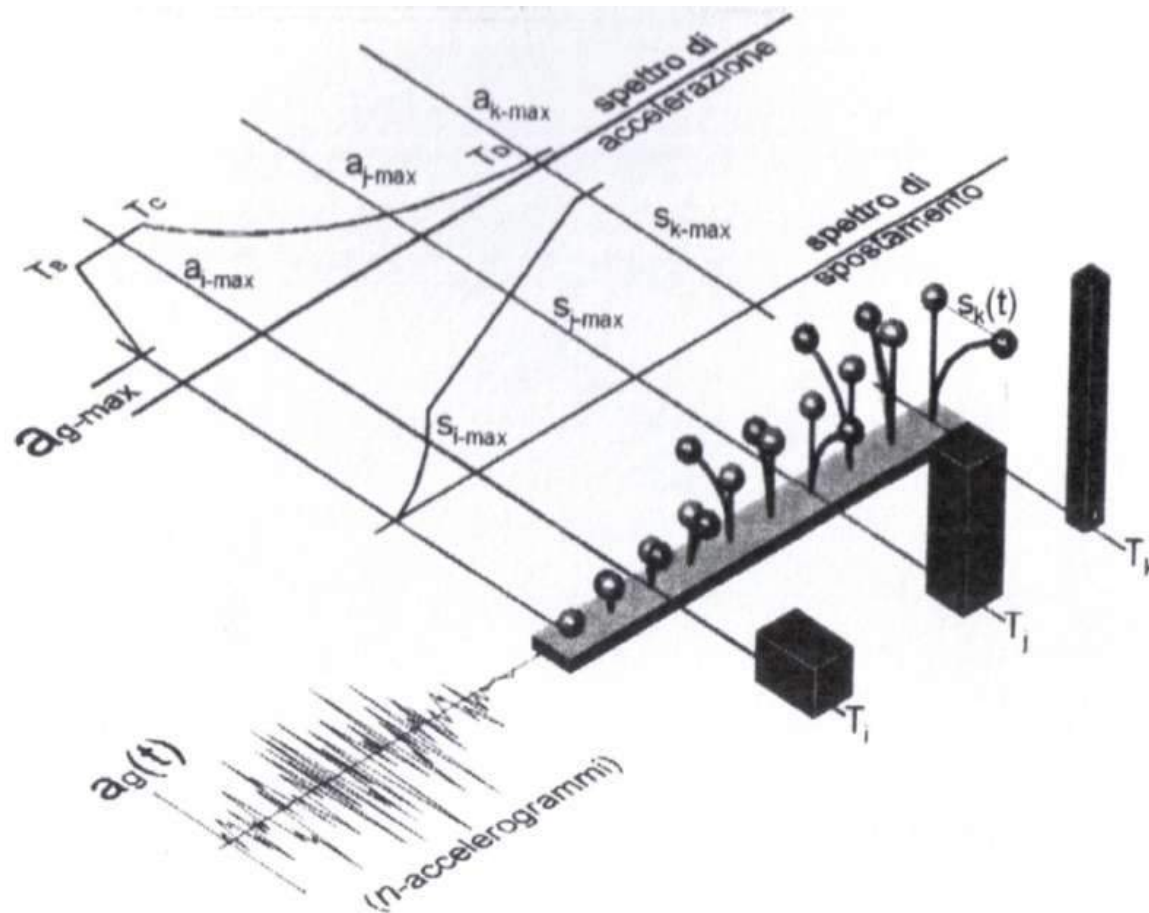
**Fuoco** — **Suolo** — **Manufatto**  
 Il livello di danneggiamento di un manufatto dipende dall'intensità macro-sismica locale. Quest'ultima è legata, a sua volta, alla magnitudo, alla distanza e alla modificazione delle onde lungo gli strati di roccia attraversati.



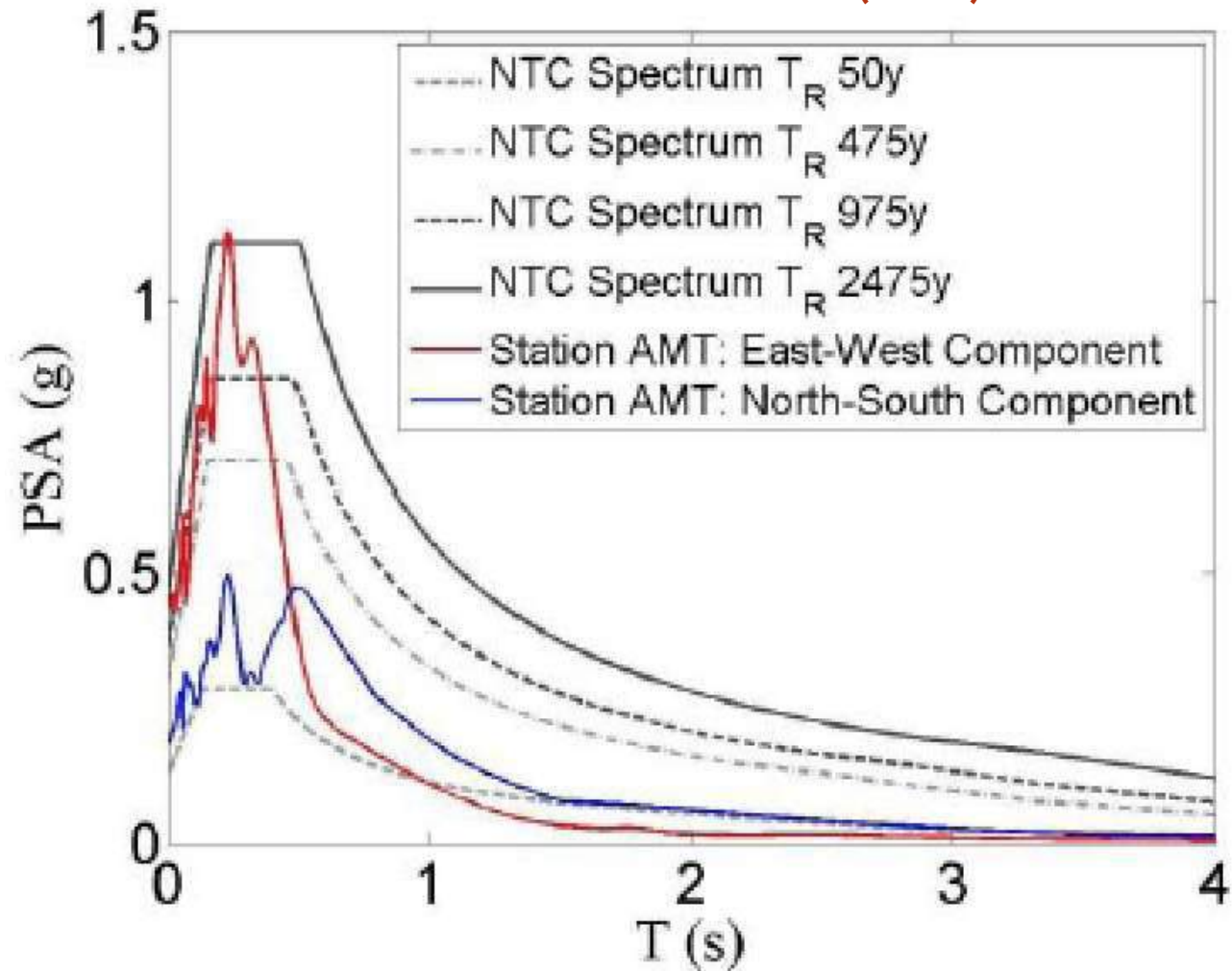
## TEMPI DI OSCILLAZIONE DI EDIFICI CON STRUTTURA E ALTEZZA DIFFERENTI



## SPETTRO DI RISPOSTA – SISTEMI ELEMENTARI



## TERREMOTO DI AMATRICE (2016)





## TERREMOTO DI AMATRICE (2016)





## TERREMOTO DI AMATRICE (2016)



IRES Piemonte - Torino 26/06/2017

## TERREMOTO DI AMATRICE (2016)



## PERDITE ECONOMICHE: dal 1970 al 2016

Costo medio annuale di **3 miliardi di € dal 2002**

Anno	Luogo	Magnitudo	Perdite stimate (miliardi di €)	Vittime
2016	Centro Italia	6.2	4.0	292
2012	Emilia Romagna	6.0 & 5.8	12.787	26
2009	Abruzzo	6.3	2.737	308
2002	Molise	5.9	1.015	30
1997	Umbria	6.1	2.556	12
1980	Irpinia	6.9	25.378	2914
1976	Friuli	6.5 & 6.0	16.377	922

(Swiss Re, Moody's investors Service)

## SCOMPOSIZIONE ECONOMICA DEL DANNO

Uffici → 82 %

Hotel → 87 %

Ospedali → 92 %

Quota parte non legata ai danni alle strutture

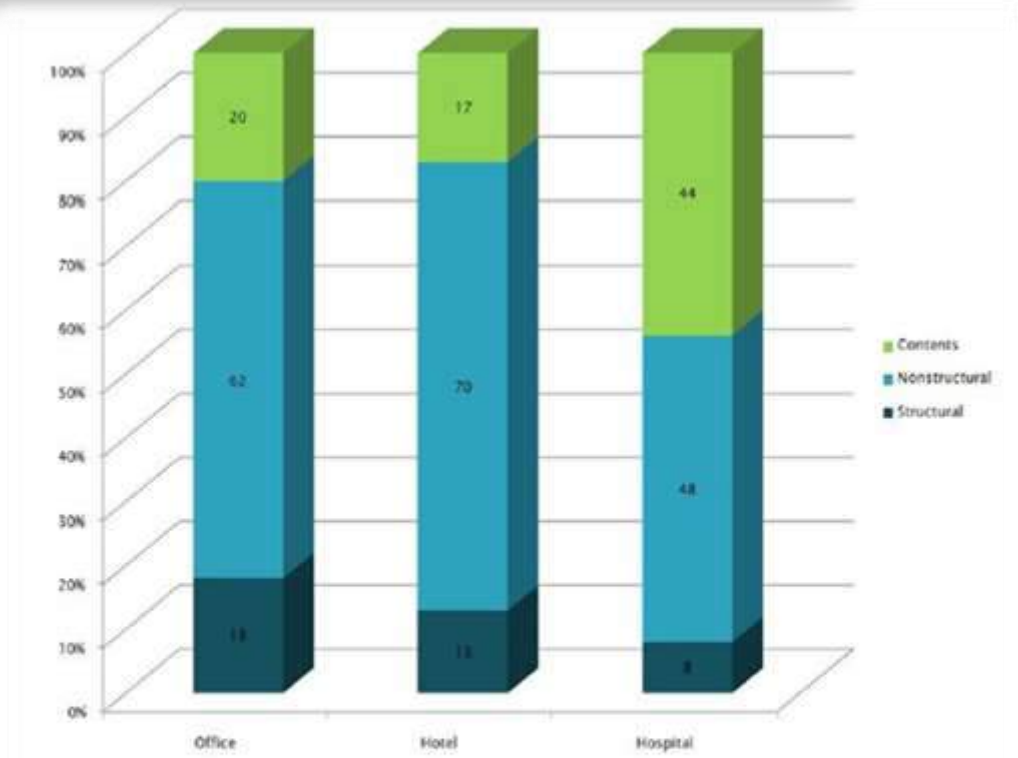


Figura 1: Onere di investimento tipico per edifici del terziario [Fema E-74]



# Vulnerabilità patrimonio edilizio

## Tipologie costruttive

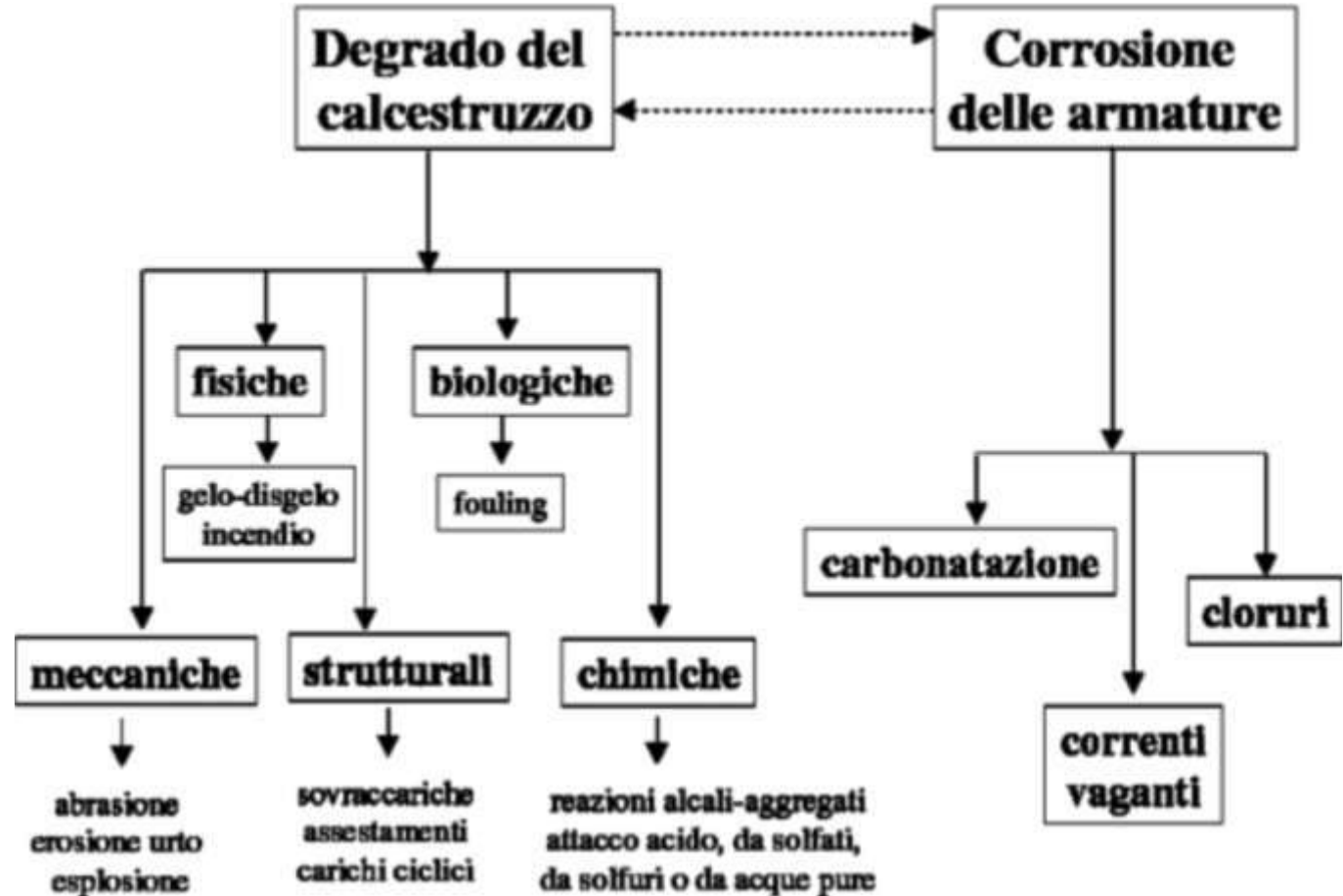
- **Muratura portante**
- **Calcestruzzo armato**
- **Altre tipologie (legno, acciaio)**
  
- **età dell'edificio e stato di adeguamento**
- **numero di piani**
- **edificio isolato oppure aggregato**
- **stato di manutenzione**
- **regolarità in pianta ed in elevato**
- **regolarità tamponature ed impianti**



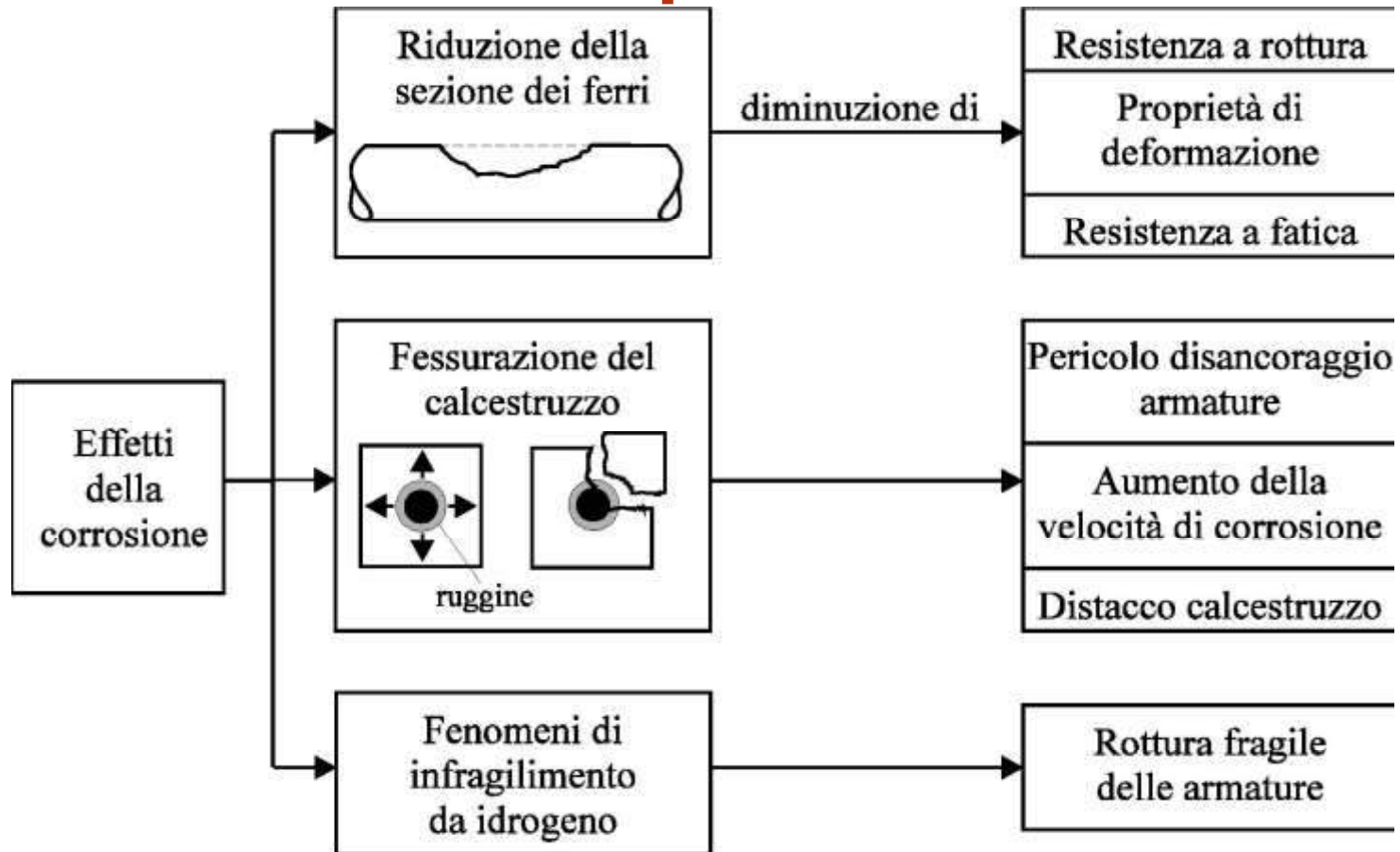
# Vulnerabilità patrimonio edilizio

## Criticità: Calcestruzzo armato

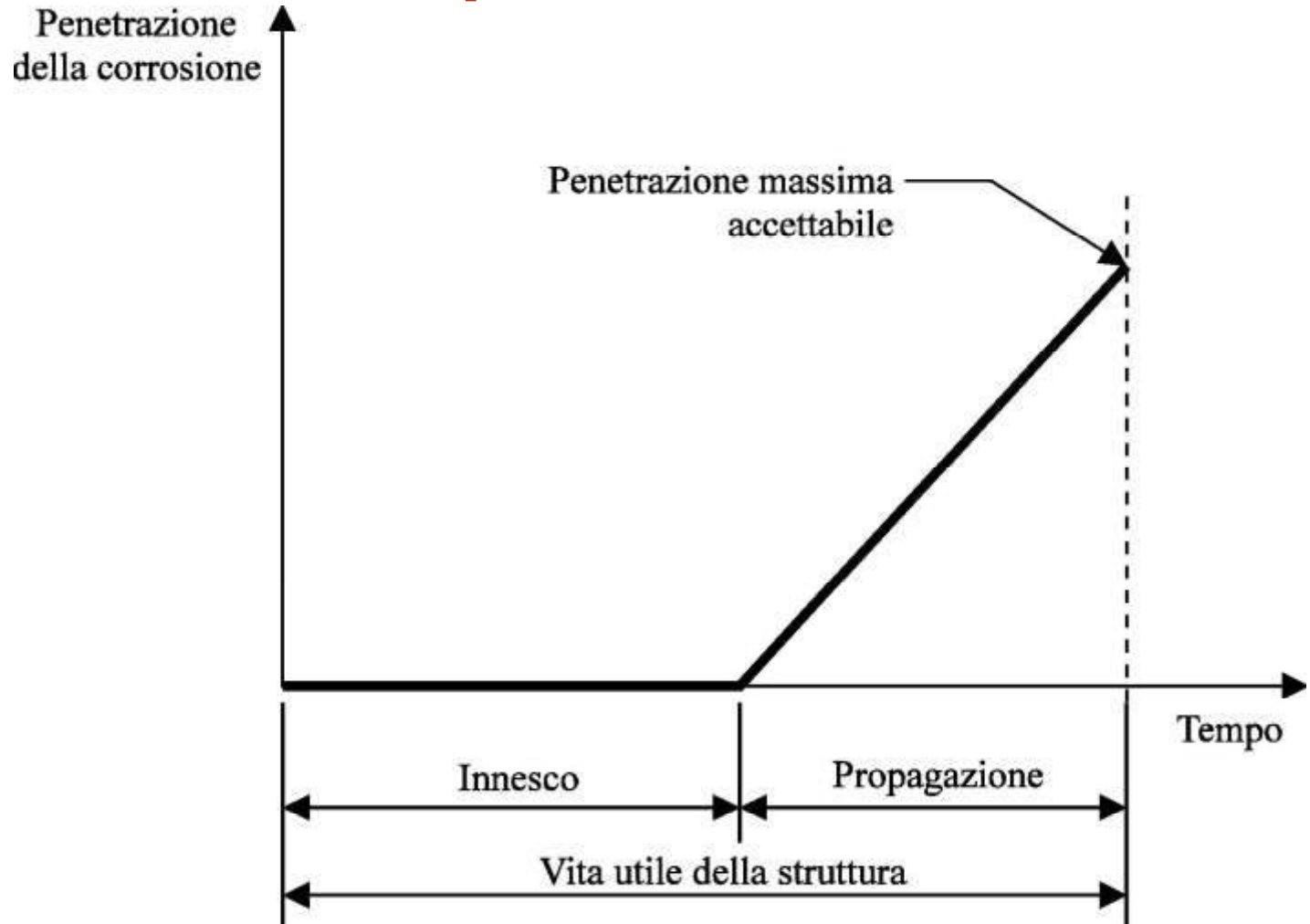
Fonte: Pedefferri (2000)



# Vulnerabilità patrimonio edilizio

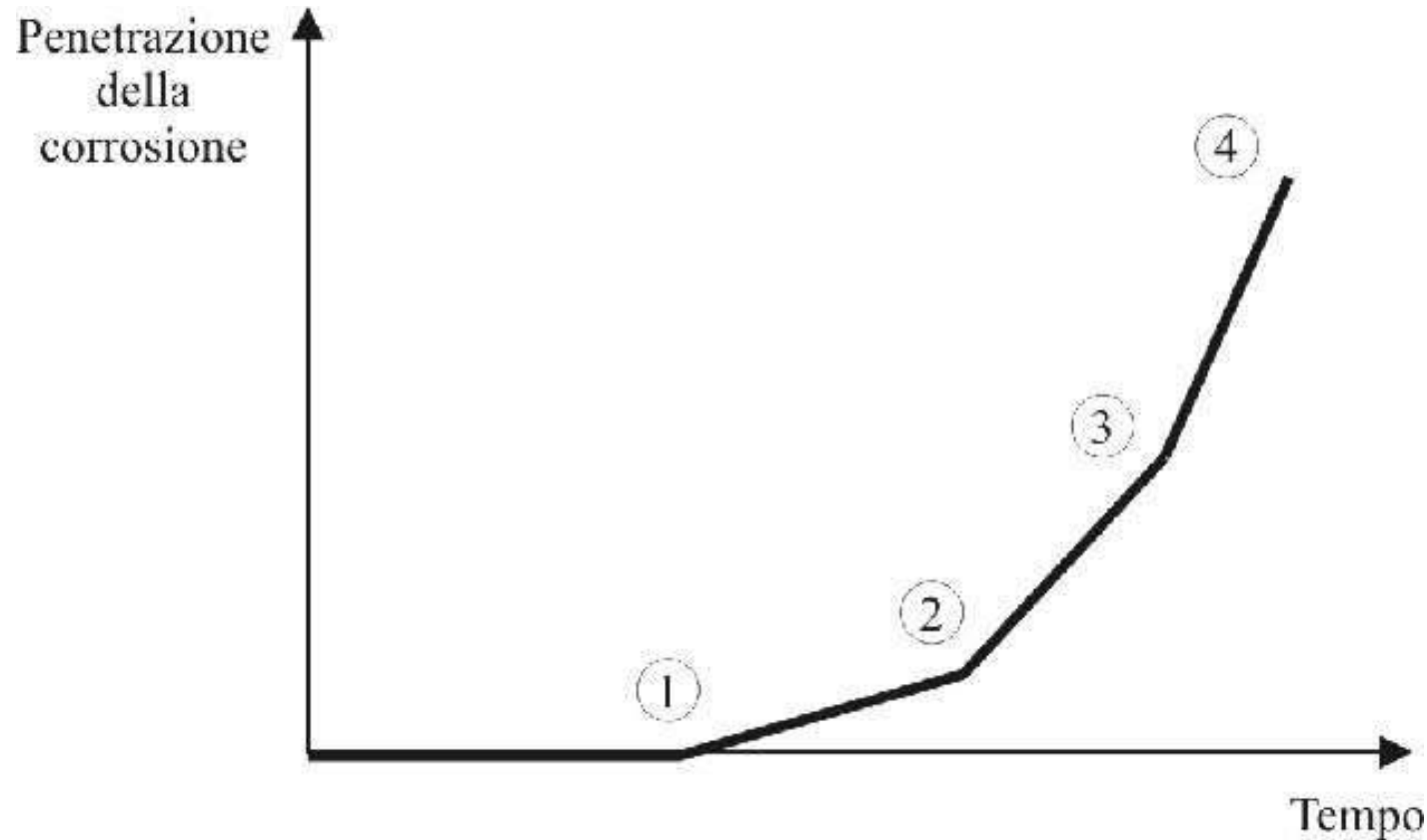


# Vulnerabilità patrimonio edilizio





# Vulnerabilità patrimonio edilizio



# Vulnerabilità patrimonio edilizio

**Criticità: Calcestruzzo armato**

*Fonte: Pedeferra  
(2000)*

Esempi di degrado



IRES Piemonte - Torino 26/06/2017

## DURABILITÀ



Viadotto Petrulla



## DURABILITÀ



Viadotto Morandi (AG)



## DURABILITÀ



## DURABILITÀ

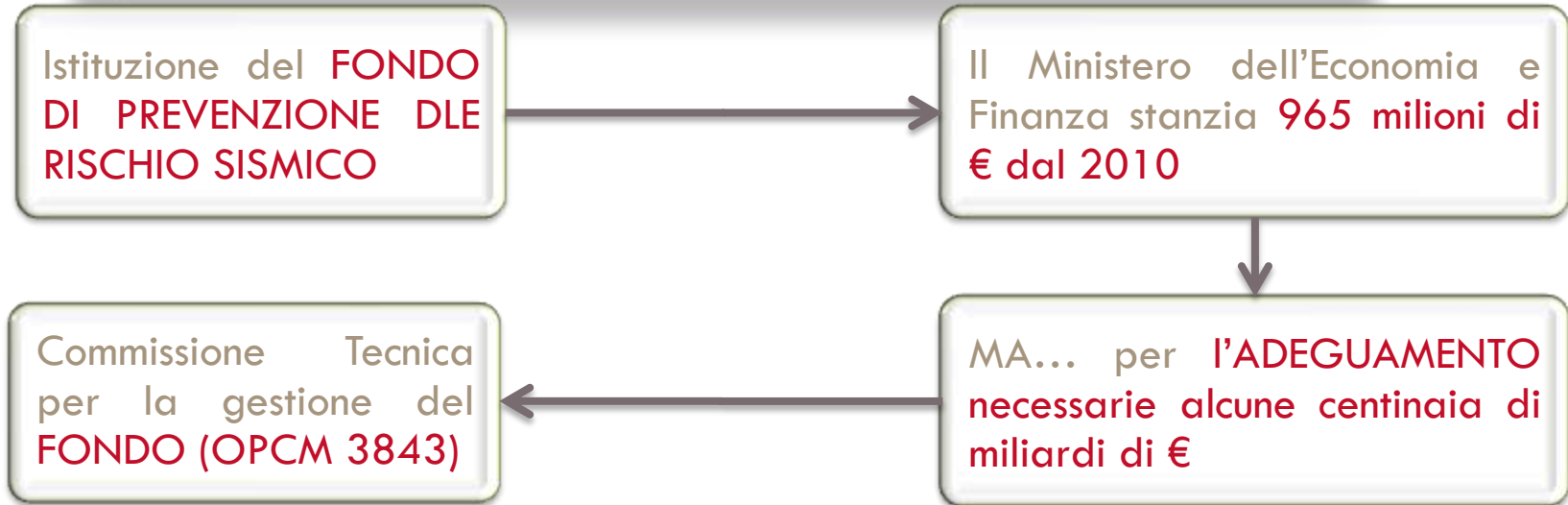


Le conseguenze di un mancato controllo possono comportare ammaloramenti o addirittura il collasso dell'opera.

La vita di servizio di una struttura, in situazioni di sicurezza, è strettamente correlata col numero di interventi di ripristino che, migliorando le condizioni di servizio di una struttura tuttavia non restituiscono mai le prestazioni iniziali.



## VALUTAZIONE E RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO



- In Italia, è necessario gestire RISORSE LIMITATE nella maniera più appropriata
- Gli interventi di PREVENZIONE DEL RISCHIO SISMICO ben si coniugano con il miglioramento dell' ISOLAMENTO TERMOACUSTICO





## INTERVENTI DI RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO

- Le norme tecniche per le costruzioni (NTC) individuano tre tipologie di intervento:

### RIPARAZIONE o RAFFORZAMENTO LOCALE

- Intervento su elementi isolati che comporta un miglioramento delle condizioni

### MIGLIORAMENTO

- Intervento volto a conseguire un LIVELLO DI SICUREZZA GLOBALE superiore a quello attuale

### ADEGUAMENTO

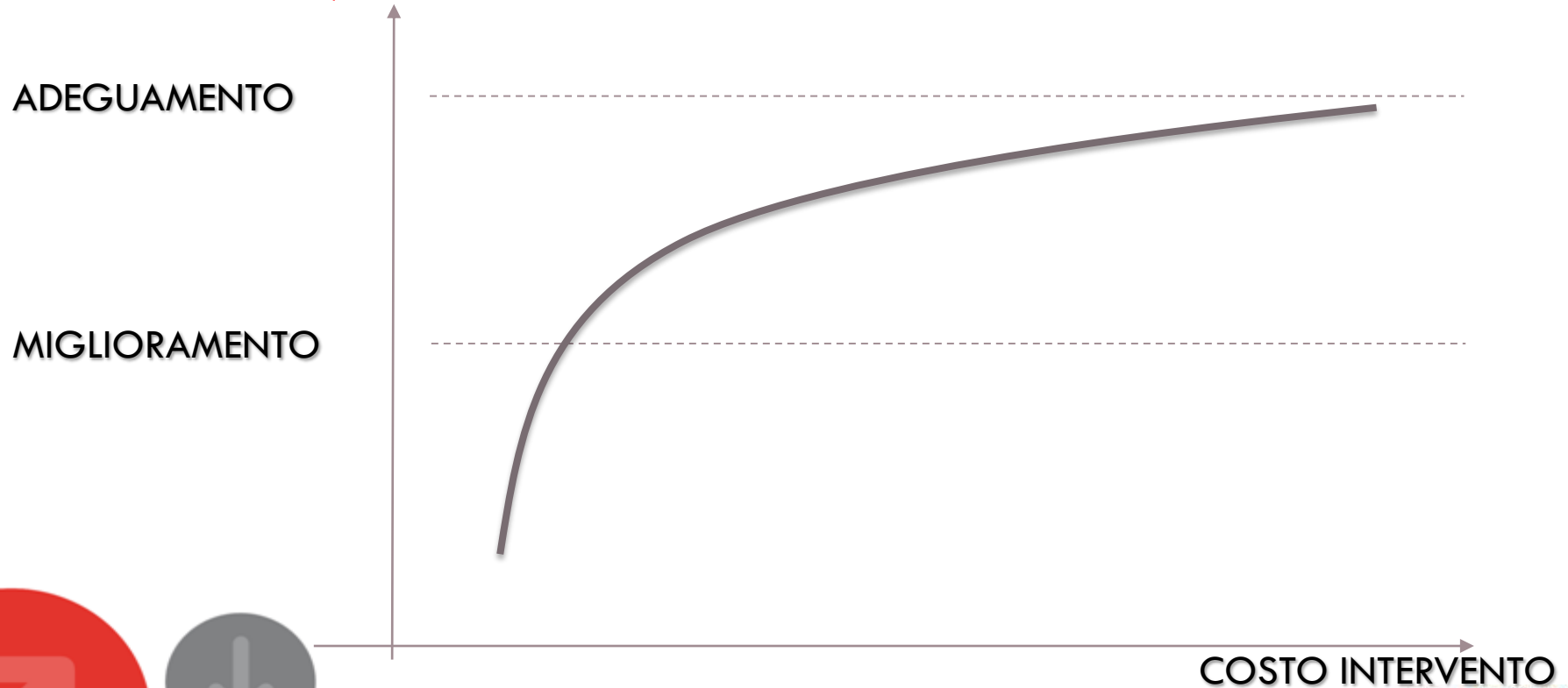
- Intervento volto a conseguire un LIVELLO DI SICUREZZA ANTISISMICA SUPERIORE O UGUALE a quello per le nuove costruzioni

- Il livello MINIMO di sicurezza antisismica da raggiungere con un intervento è però ancora oggetto di dibattito



## INTERVENTI DI RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO

- L'aumento del **LIVELLO DI SICUREZZA ANTISISMICA** presenta una legge a soglie. A parità di **CIFRA INVESTITA** di intervento, al ridursi della **VULNERABILITÀ**, si riduce l'ulteriore **RIDUZIONE CONSEGUIBILE**



## VALUTAZIONE E RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO

RIDUZIONE RISCHIO SISMICO

BENEFICI

principalmente riferiti  
allo Stato

MIGLIORAMENTO ISOLAMENTO  
TERMOACUSTICO

BENEFICI

principalmente riferiti ai  
proprietari



## Parametri del rischio sismico

### PERICOLOSITÀ

- Valutazione della probabilità di eccedenza in un certo periodo di riferimento di un valore prefissato di un PARAMETRO DI INPUT SIGNIFICATIVO

### VULNERABILITÀ

- Danni attesi a seguito di un sisma al raggiungimento di determinati livelli dei parametri di risposta della struttura

### ESPOSIZIONE ECONOMICO SOCIALE

- Stima dei Costi DI RICOSTRUZIONE (RC) somma dei Costi INDIRETTI (fermo macchine,...) e DIRETTI (ricostruzione)
- Perdite SOCIALI (vite umane, beni culturali)



## PERDITA ANNUALE MEDIA ATTESA (PAM)

QUANTIFICAZIONE DEL RISCHIO SISMICO

PER LA SOLA PARTE ECONOMICA

CLASSE DI RISCHIO  $f(PAM)$  e INDICE DI SICUREZZA IS-V  
(grandezze adimensionali, %)

È necessario calcolare, in riferimento al sito in cui sorge la costruzione, le PGA per le quali si raggiungono i vari SL, utilizzando le usuali verifiche di sicurezza agli SL previste dalle NTC



# Valutazione PAM

**METODO CONVENZIONALE:**  
si determina la classe di rischio a  
seguito di un'analisi di  
vulnerabilità sismica ai sensi  
delle NTC

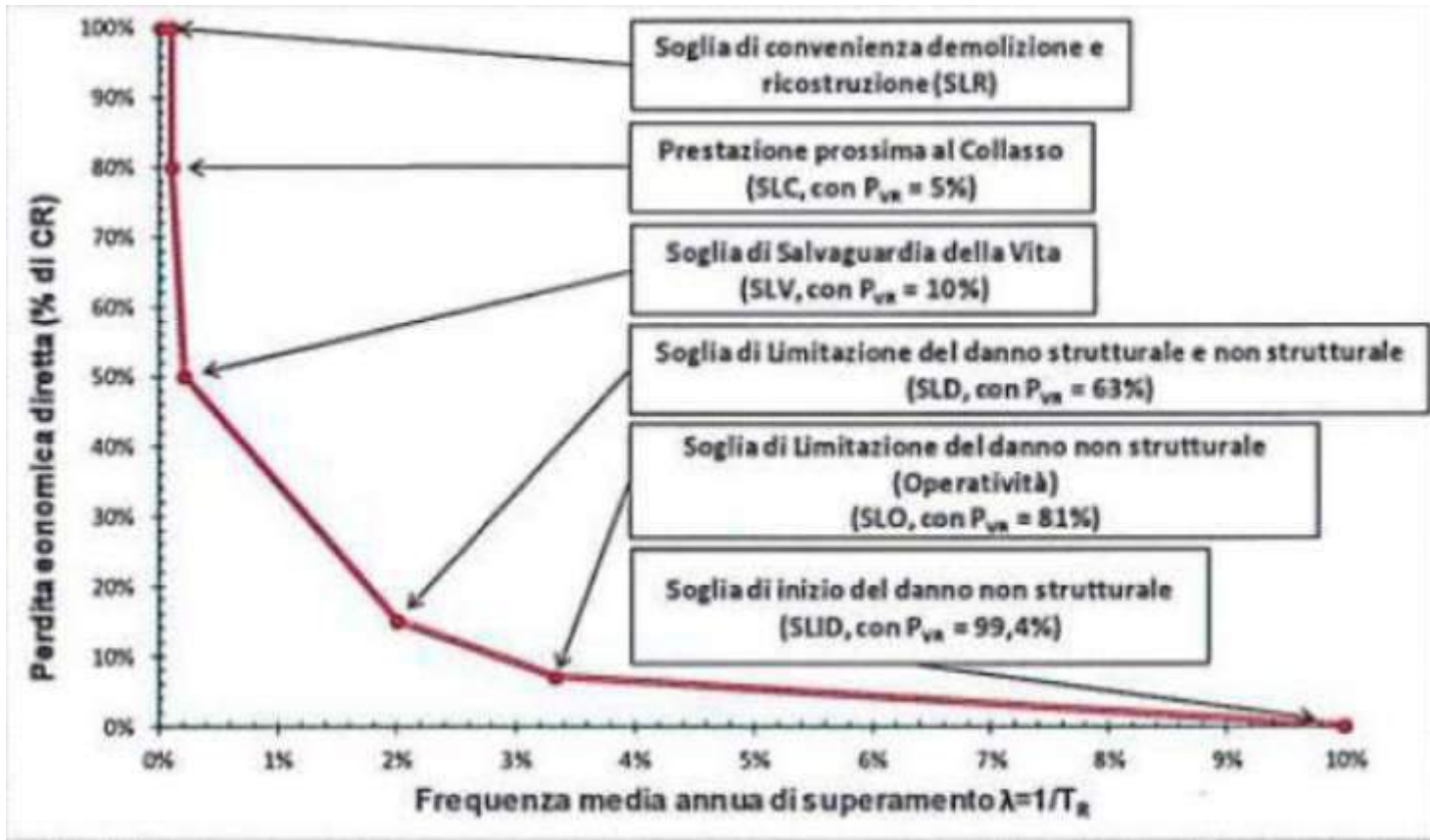
**METODO SEMPLIFICATO:**  
limitatamente alle tipologie in  
muratura l'attribuzione della  
classe di rischio si determina  
sulla base delle caratteristiche  
della costruzione



## ATTRIBUZIONE DELLE CLASSI DI RISCHIO

- PAM calcolato come l'AREA SOTTESA ALLA CURVA RAPPRESENTANTE LE PERDITE ECONOMICHE DIRETTE CONTINUA (in funzione della frequenza media annua di superamento degli eventi che provocano in raggiungimento degli SL)

Minore l'area sottesa dalla curva, minore la PAM



## EXPECTED ANNUAL LOSS (EAL)

TERREMOTI FREQUENTI E DEBOLI (alta probabilità di superamento)

POSSIBILITÀ DI DANNI ELEVATI PER GLI ELEMENTI NON STRUTTURALI → COSTI ELEVATI

TERREMOTI RARI E VIOLENTI (bassa probabilità di superamento)

DANNI ANCHE ALLE STRUTTURE → COSTI ELEVATI





## VULNERABILITÀ E RISCHIO

La scala EMS-98 distingue 15 tipologie di edifici raccolte in 6 classi di VULNERABILITÀ indicate con il pedice EMS (decrescente da  $A_{EMS}$  a  $F_{EMS}$ )

Tipologia di struttura		Classe di vulnerabilità					
		$A_{EMS}$	$B_{EMS}$	$C_{EMS}$	$D_{EMS}$	$E_{EMS}$	$F_{EMS}$
MURATURA	Muratura di pietra senza legante (a secco)	○					
	Muratura di mattoni di terra cruda (adobe)	○—					
	Muratura di pietra sbazzata	—○					
	Muratura di pietra massiccia per costruzioni monumentali	—○—					
	Muratura di mattoni e pietra lavorata	—○—					
	Muratura di mattoni e solai di rigidezza elevata	—○—					
	Muratura rinforzata e/o confinata			—○—			
CALCESTRUZZO ARMATO	Telai con un livello di progettazione antisismica nullo	—		○—			
	Telai con un livello di progettazione antisismica moderato		—	○—			
	Telai con un livello di progettazione antisismica elevato			—	○—		
	Pareti con un livello di progettazione antisismica nullo		—○—				
	Pareti con un livello di progettazione antisismica moderato		—○—				
	Pareti con un livello di progettazione antisismica elevato			—○—			
ACCIAIO	Strutture di acciaio			—	○—		



## INDICATORE DI RISCHIO SISMICO

SI POSSONO OTTENERE IN FUNZIONE DELLA ZONA SISMICA, DI EAL E DELLA CLASSE DI VULNERABILITA' LE CLASSI DI RISCHIO (crescente da A a F trascurando G)

Classe di rischio	EAL (%RC)	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
A+	$<0,50$		$F_{EMS}$	$F_{EMS}, E_{EMS}$	$F_{EMS} \div A_{EMS}$
A	$0,50 < <0,75$	$F_{EMS}$	$E_{EMS}$	$D_{EMS}$	
B	$0,75 < <1,50$	$E_{EMS}$		$C_{EMS}, B_{EMS}$	
C	$1,50 < <2,50$		$C_{EMS}, D_{EMS}$	$A_{EMS}$	
D	$2,50 < <3,50$	$C_{EMS}, D_{EMS}$	$B_{EMS}$		
E	$3,50 < <4,50$	$B_{EMS}$	$A_{EMS}$		
F	$4,50 < <7,50$	$A_{EMS}$			
G	$7,50 <$				



## Interventi di riduzione del rischio sismico

Riduzione della PERICOLOSITÀ

In genere può ottenersi rilocalizzando l'edificio

Opzione raramente considerata

Riduzione della ESPOSIZIONE

Può ottenersi variando la classe d'uso del manufatto

Opzione raramente considerata

Riduzione della VULNERABILITÀ

Consiste in interventi sulla struttura e sugli elementi non strutturali

Opzione più usata



## Interventi di riduzione della vulnerabilità



## RIDUZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA

RIDUZIONE DELL'ENERGIA IN ENTRATA

UTILIZZO DI DISPOSITIVI CHE RIDUCONO LA RIGIDEZZA A TAGLIO ALLA BASE (**isolatori**)

DISSIPAZIONE DELL'ENERGIA IN APPOSITI ELEMENTI

DISPOSITIVI PER LA DISSIPAZIONE INSERITI NELLA STRUTTURA O CREAZIONE DI DISSIPAZIONE CON MASSE INTONATE (**smorzatori e masse intonate**)



## AUMENTO DELLA CAPACITÀ SISMICA

RINFORZO LOCALE O RIPARAZIONE

MIGLIORAMENTO

ADEGUAMENTO

LA SCELTA TRA I TRE E' FUNZIONE DI:

- PRESCRIZIONI DI NORMA
- FINALITÀ (LIVELLO PRESTAZIONALE TARGET)
- ANALISI COSTI-BENEFICI



IRES Piemonte - Torino 26/06/2017

# Seismic vulnerability analysis of HOSPITAL BUILDINGS

**Policlinico "Agostino Gemelli" in Rome, Italy**

"Edifici Biologici": 7 buildings  
(Volume = 103390 m<sup>3</sup>)

"Piastra polifunzionale": Emergency Room - Operating Rooms and  
Surgery Center  
(Volume = 115460 m<sup>3</sup>)

"Edificio Q": 1 building (Volume = 116138 m<sup>3</sup>)



**From study of the project and documents to the knowledge of the “as built”**

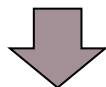
Hystorical, geometrical and structural investigation



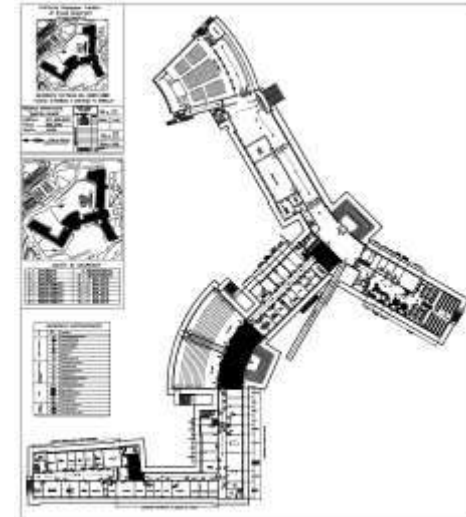
Experimental campaign (in situ tests and laboratory tests) to mechanical characterization of structural materials and soil foundation



FEM model (linear dynamic and non linear static analysis)



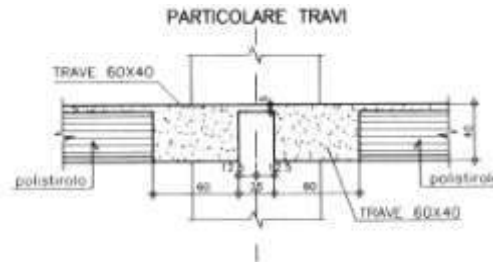
**Safety Assessment of Existing Buildings**



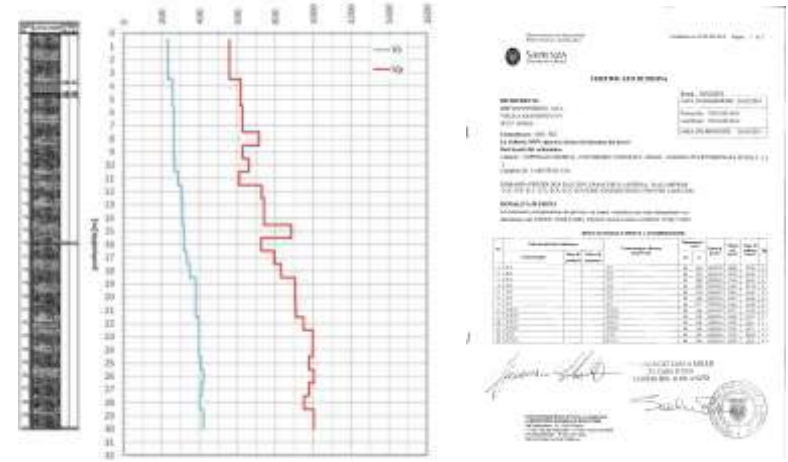


### Policlinico "Agostino Gemelli" in Rome, Italy

Experimental campaign (in situ tests and laboratory tests) to mechanical characterization of structural materials and soil foundation

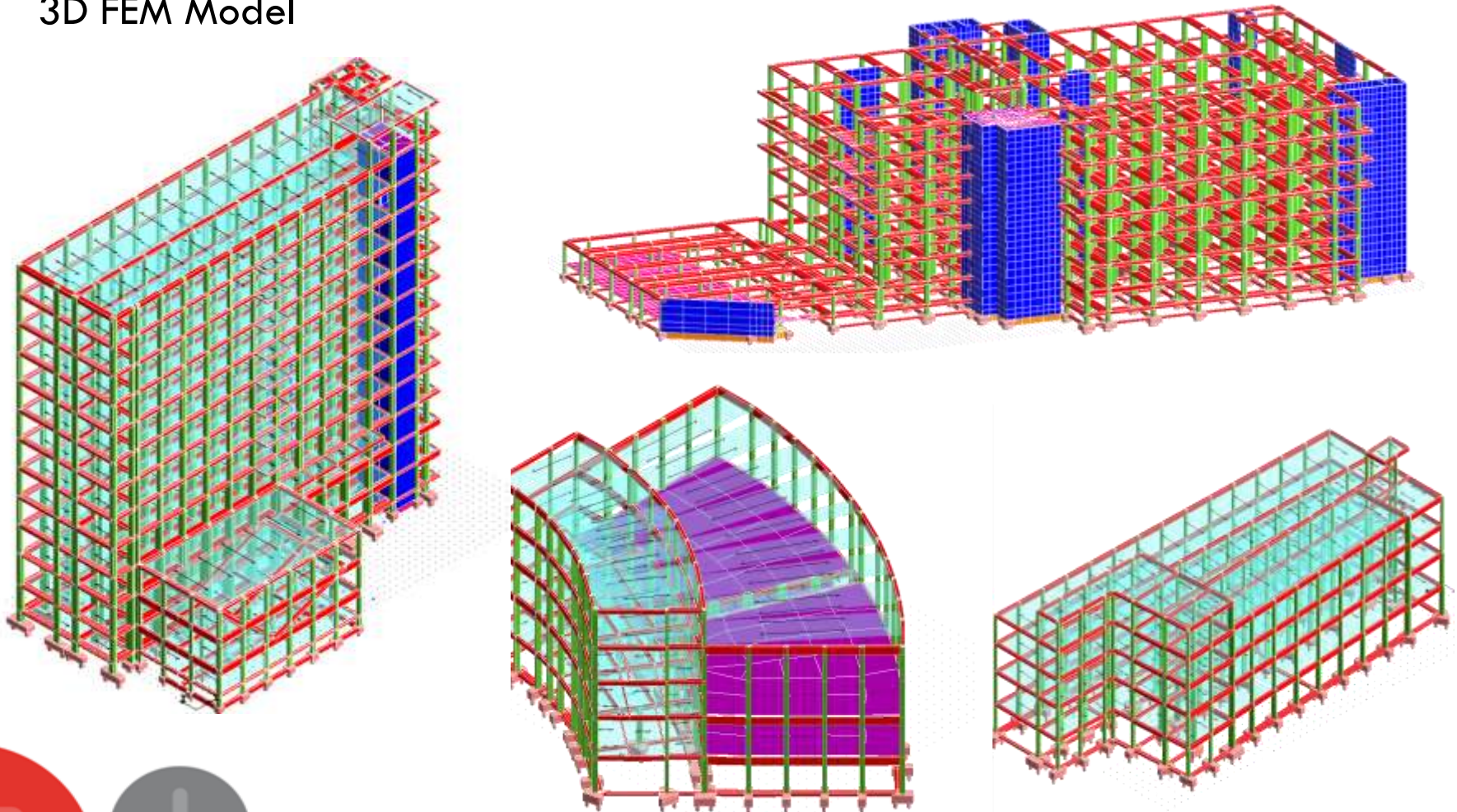


SONREB PIANO 4																						
Sigla	Trasmisione	Indice di rimbalzo										Velocità degli ultrasuoni					Resistenza					
		r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9	r10	Media	sgm	u1	u2	u3		u4	Media	Valore Corretto	sgm	
C1	diretta	38	38	44	40	40	40	41	44	40	42	41	2,11	4138	4138	4138	4124	4134	4134	4127	49	349
1/2	semidiretta	42	46	47	47	48	42	44	50	49	48	46	2,79	4076	4099	4147	4184	4127	4127	49	415	
1/3																						0
C2	semidiretta	41	40	41	42	46	42	46	42	46	42	43	2,30	4330	4282	4228	4337	4294	4294	3443	25	272
2/2	semidiretta	50	48	48	47	48	50	50	46	46	46	48	1,66	3449	3466	3408	3449	3443	3443	50	413	
2/3	semidiretta	50	48	47	44	48	46	47	48	40	48	47	2,80	5023	5055	5121	5105	5076	5076	45	718	
C3	semidiretta	43	46	40	39	42	44	43	40	39	41	42	2,31	2752	2722	2689	2682	2706	2706	39	120	
3/2	semidiretta	40	38	44	41	46	44	42	42	39	40	42	2,50	5248	5219	5056	5160	5171	5171	85	643	
3/3	semidiretta	44	42	44	46	47	46	41	47	39	41	44	2,83	3694	3682	3650	3669	3674	3674	19	283	
C4	semidiretta	38	38	38	40	42	43	40	39	41	42	40	1,85	3937	3940	3796	3796	3856	3856	58	285	
4/2	indiretta	44	44	38	44	40	46	40	40	41	42	42	2,51	4363	4376	4340	4340	4346	6067	30	993	
4/3	semidiretta	40	43	39	40	42	42	39	44	39	46	41	2,41	4240	4278	4289	4376	4291	4291	59	393	
C5	diretta	42	42	44	44	42	44	45	43	44	47	44	1,57	4545	4509	4532	4550	4534	4534	18	489	
5/2	indiretta	43	46	47	38	40	46	45	44	46	46	44	2,96	2576	2570	2585	2616	2587	3622	20	276	
5/3	indiretta	42	43	44	42	46	42	44	43	40	46	43	1,87	3328	3259	3274	3193	3264	4569	56	491	
C6	indiretta	42	39	43	42	44	40	45	44	46	44	43	2,18	2308	2293	2320	2310	2306	3231	11	198	
6/2	semidiretta	46	48	46	48	48	47	48	48	46	49	47	1,07	4743	4640	4767	4720	4717	4717	55	608	
6/3	semidiretta	44	46	45	46	48	46	47	48	46	46	46	1,23	5428	5463	5522	5428	5460	5460	44	858	
C7	indiretta	45	42	44	45	47	46	45	47	46	48	45	1,55	3679	3633	3622	3652	3611	3056	22	681	
7/2	semidiretta	44	44	46	46	48	45	46	44	50	45	46	1,91	4308	4337	4316	4482	4361	4361	81	474	
7/3	semidiretta	44	46	44	45	44	46	46	45	46	48	45	0,92	4027	4098	4314	4314	4198	4188	148	418	
C8	indiretta	46	46	40	44	40	43	44	44	40	46	43	2,50	2796	2806	2801	2740	2796	3900	31	327	
8/2	indiretta	44	40	38	41	44	41	42	41	41	39	41	1,91	2079	2141	2130	2116	2117	2963	27	149	
8/3	indiretta	46	46	48	44	46	48	44	50	45	46	46	1,89	3056	3046	3093	3066	3065	4291	20	460	
media		Indice di rimbalzo										media	sgm	Velocità degli ultrasuoni					Velocità corretta	sgm	resistenza	
generale												44	2,07						4309	44	462	
Punti dove sono state prelevate le carote																						
Velocità corretta = Velocità media x (Vd/Vi)																	dove Vd/Vi > 1,40					
I valori evidenziati in rosso non sono stati presi in considerazione nei calcoli perché inferiori al minimo della velocità pari a 3200.																						



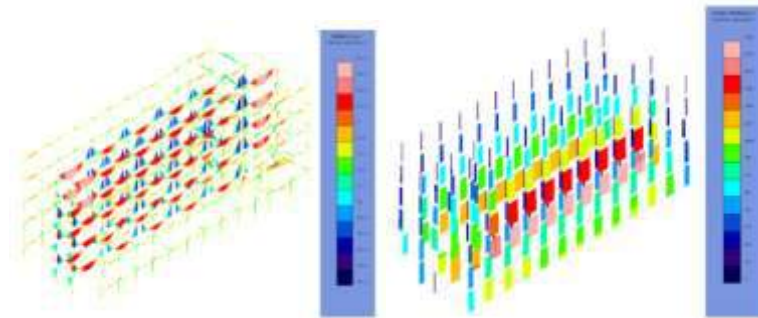
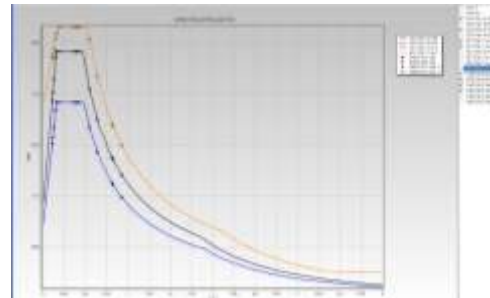
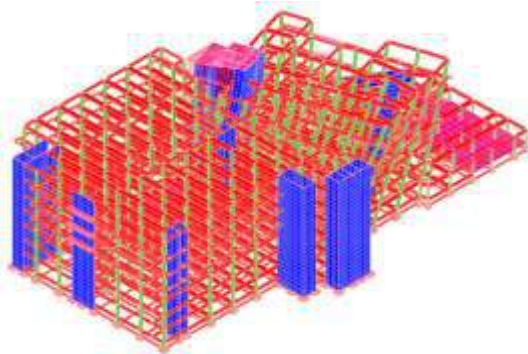
## Policlinico "Agostino Gemelli" in Rome, Italy

3D FEM Model



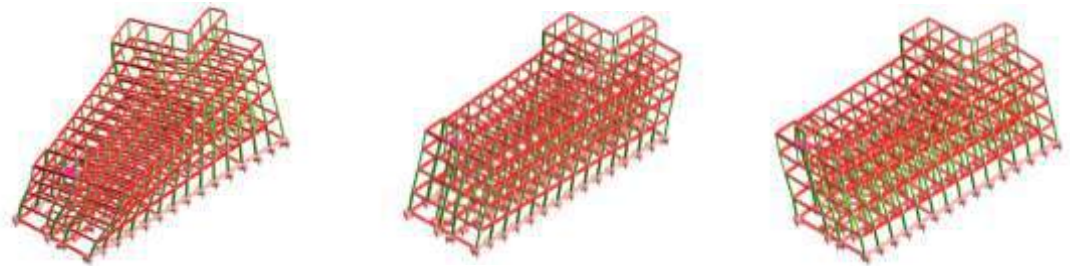
## Dynamic analysis using response spectrum seismic

## Non seismic conditions



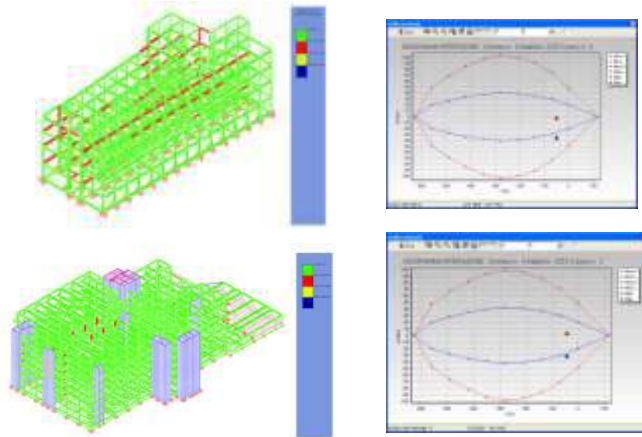
PULSAZIONI E MODI DI VIBRAZIONE							
Modo N.ro	Edificio	Pulsazione (rad/sec)	Periodo (sec)	Smorz Mod(%)	Sd/g SLD	Sd/g SLV X	Sd/g SLV Y
1	B	6,787	0,92575	5	0,099	0,149	0,149
2	A	7,647	0,82167	5	0,111	0,168	0,168
3	A	7,752	0,81054	5	0,113	0,17	0,17
4	B	9,858	0,63734	5	0,143	0,217	0,217
5	A	11,525	0,54517	5	0,167	0,253	0,253
6	B	14,825	0,42382	5	0,191	0,265	0,265
7	C	15,83	0,39691	5	0,191	0,265	0,265
8	C	17,568	0,35765	5	0,191	0,265	0,265
9	B	32,84	0,19133	5	0,191	0,265	0,265
10	A	39,442	0,1593	5	0,191	0,259	0,259
11	A	42,385	0,14824	5	0,184	0,254	0,254
12	B	49,953	0,12578	5	0,167	0,244	0,244

DESCRIZIONE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33		
Floor Slab/col	1,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
Frame Members/col	1,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Wall/Arch/col	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Wall/Frame/col	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Wall/Beam	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Wall/Support	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Col. Slab/col	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Col. Slab/col	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Diaphragm/col	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Diaphragm/col	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

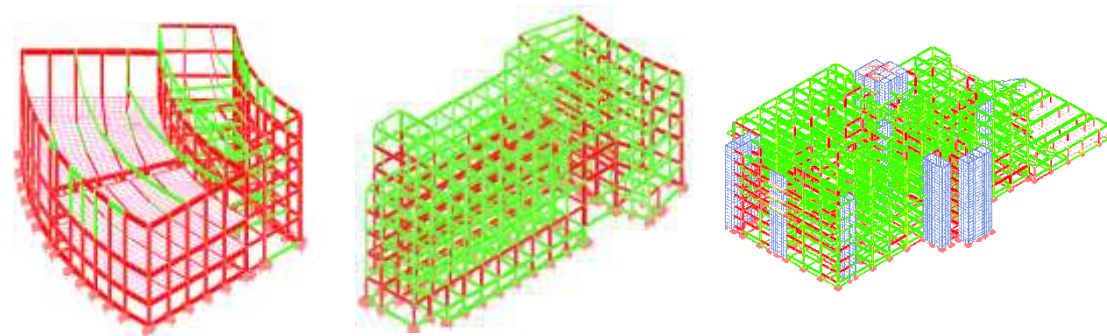


## Policlinico "Agostino Gemelli" in Rome, Italy

### Non seismic conditions

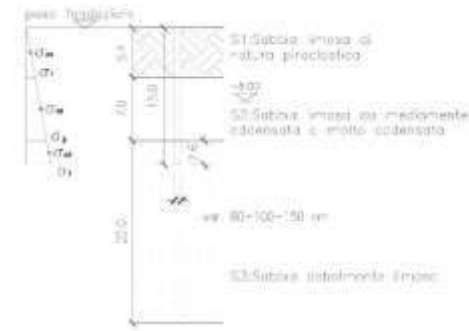
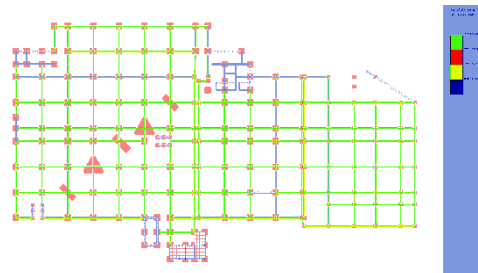


### Evaluation of seismic vulnerability



Q LATERALE	Portata laterale QL		QL= fs AL
	fs		k μ σ'vo
	K pali trivellati		0.50
	ρ <sub>1</sub>		28
	ρ <sub>2</sub>		33
	ρ <sub>3</sub>		36
	μ = tg α <sub>1</sub>		0.53
	μ = tg α <sub>2</sub>		0.65
	μ = tg α <sub>3</sub>		0.73
	σ'vo m1 [kN/m <sup>2</sup> ]		46.7
	σ'vo m2 [kN/m <sup>2</sup> ]		136.2
	σ'vo m3 [kN/m <sup>2</sup> ]		190.6
	QL1= k μ σ'vo AL1		210.6
	QL2= k μ σ'vo AL2		971.8
QL3= k μ σ'vo AL3		565.3	
QL totale [kN]		1748	
numero di verticali indagate		4	
ξ <sub>d</sub>		1.42	
QL <sub>d</sub> caratteristica Rck=Rc/ξ <sub>d</sub> [kN]		1231	
Approccio 2 (A1+M1+R3) (GEO) Pali trivellati			
γ <sub>b</sub>		1.15	
QL <sub>laterale di calcolo</sub> [kN]		1070	

### Evaluation of seismic vulnerability



RELAZIONE DEI CALCOLI SULLA S.A.L.L.							
Strada	Età	ρ <sub>1</sub>	ρ <sub>2</sub>	ρ <sub>3</sub>	μ <sub>1</sub>	μ <sub>2</sub>	μ <sub>3</sub>
1	20247	0.28	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
2	27227	0.15	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
3	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
4	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
5	27227	0.15	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
6	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
7	27227	0.15	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
8	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
9	27227	0.15	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
10	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
11	27227	0.15	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
12	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
13	27227	0.15	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
14	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
15	27227	0.15	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
16	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
17	27227	0.15	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
18	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
19	27227	0.15	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
20	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
21	27227	0.15	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
22	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
23	27227	0.15	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
24	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
25	27227	0.15	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
26	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
27	27227	0.15	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
28	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
29	27227	0.15	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
30	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
31	27227	0.15	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
32	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
33	27227	0.15	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
34	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
35	27227	0.15	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
36	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
37	27227	0.15	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
38	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
39	27227	0.15	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73
40	28222	0.25	0.0000	0.0000	0.53	0.65	0.73



## D.E.A. – San Martino Hospital, in Genova, Italy

The 38000m<sup>3</sup> three-floor building is composed of a series of building in armed concrete, built from 60's

**From study of the project and documents to the knowledge of the "as built"**

Historical, geometric and structural investigation

Experimental campaign (in situ tests and laboratory tests) to mechanical characterization of structural materials and soil foundation

FEM model (linear dynamic and non linear static analysis)

**Safety Assessment of Existing Buildings**

Technical details



Structural and material investigations



## D.E.A. – San Martino Hospital, in Genova, Italy

From study of the project and documents to the knowledge of the “as built”



Historical, geometric and structural investigation



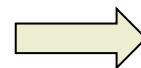
Experimental campaign (in situ tests and laboratory tests) to mechanical characterization of structural materials and soil foundation



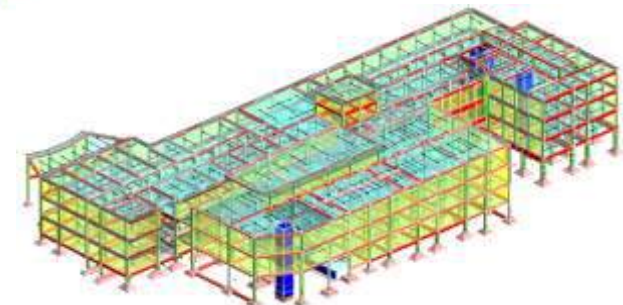
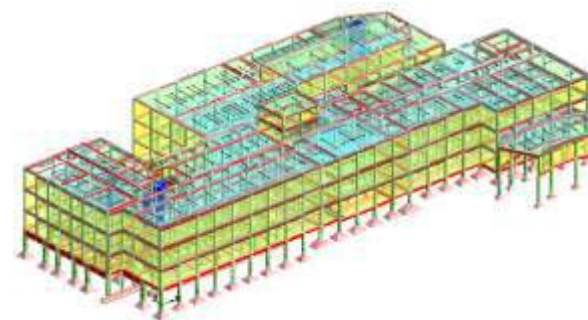
FEM model (linear dynamic and non linear static analysis)



**Safety Assessment of Existing Buildings**

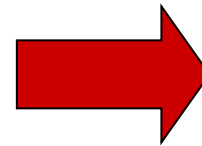
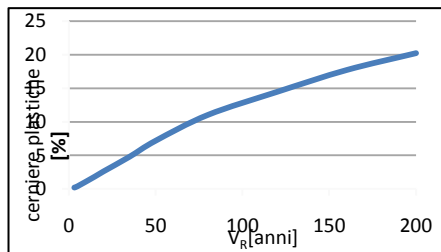
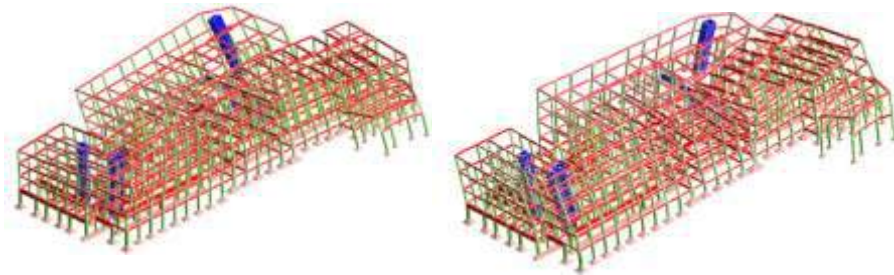


3D FEM Model

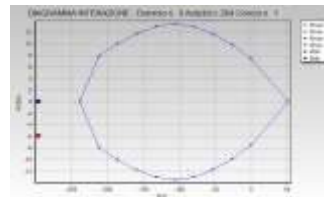


## D.E.A. - San Martino Hospital, in Genova, Italy

### Dynamic analysis using response spectrum seismic



**STRUCTURAL DEFICIENCY AND INTERVENTION RETROFITTING MEASURES**



Structural elements having problems in non seismic conditions!



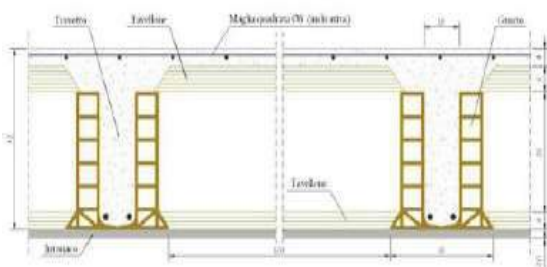
## Padiglione 9 – San Martino Hospital, in Genova, Italy

The 25000m<sup>3</sup> three-floor building is built in the early 1900s, in masonry

### Structural and material investigations



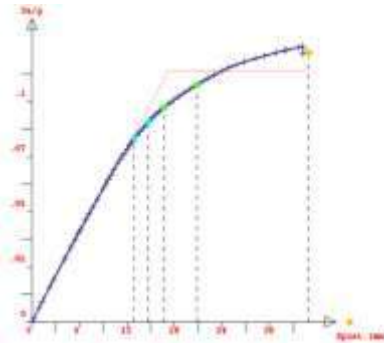
### Hystorical and geometric investigations



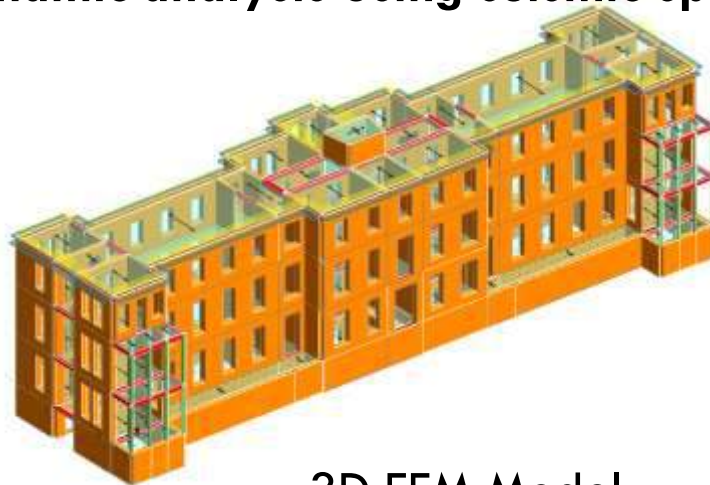


## Padiglione 9 – San Martino Hospital, in Genova, Italy

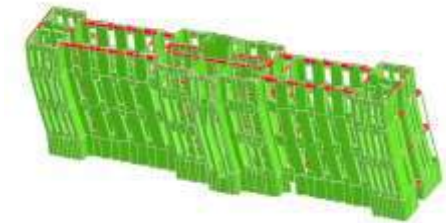
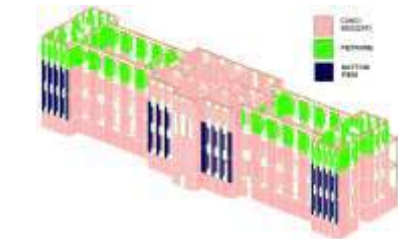
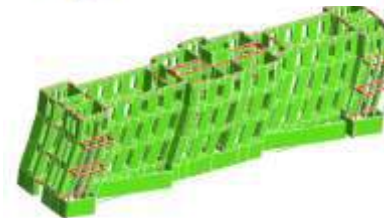
### Dynamic non linear analysis – Push Over



### Dynamic analysis using seismic spectra response

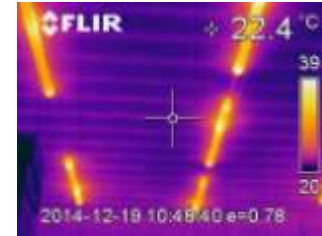


3D FEM Model

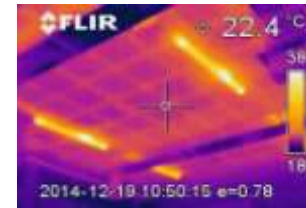


## Maragliano – San Martino Hospital, in Genova, Italy

The complex is composed of a series of building in both armed concrete and masonry, built from 30's ("corpo" A, B and C). Building have 4 floor minimum and 7 floor maximum, for a total volume equals to 83700 m<sup>3</sup>.



Historical, structural, material and geometric investigations



## Maragliano – San Martino Hospital, in Genova, Italy

3D FEM Model



Hystorical investigations



**Dynamic non linear analysis – Push Over**

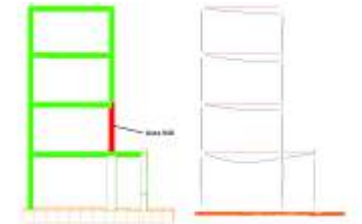
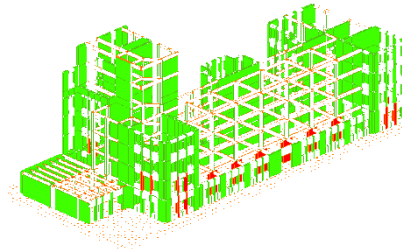
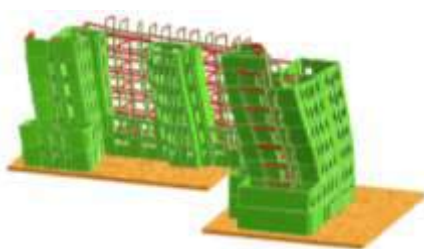
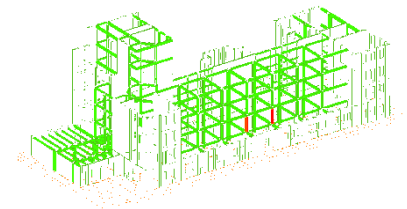
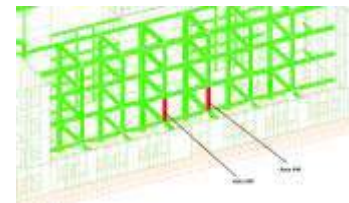
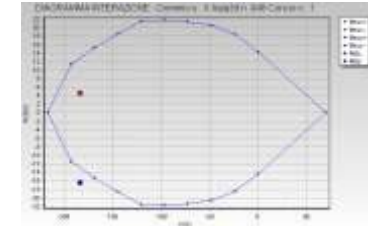
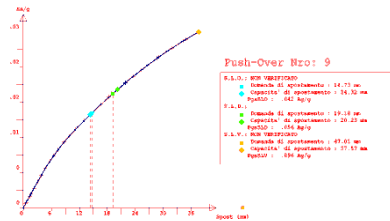
**Dynamic analysis using response spectrum seismic**



## Maragliano – San Martino Hospital, in Genova, Italy

### non linear Dynamic analysis – Push Over

### Critical elements



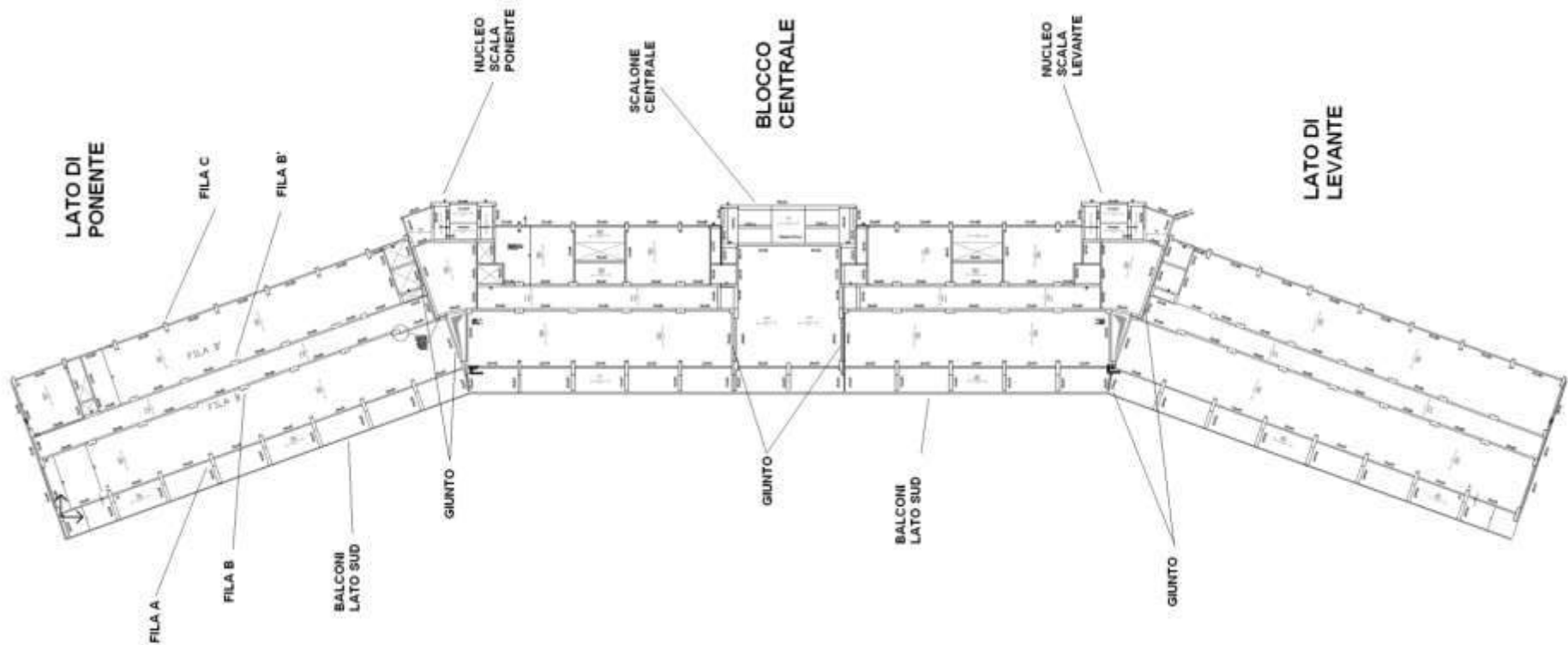
## Monoblocco – San Martino Hospital, in Genova, Italy

The complex is composed of a series of building in RC, built from 60's.  
 Building have 16 floors, for a total volume equals to 220.000 m<sup>3</sup>.



## Monoblocco – San Martino Hospital, in Genova, Italy

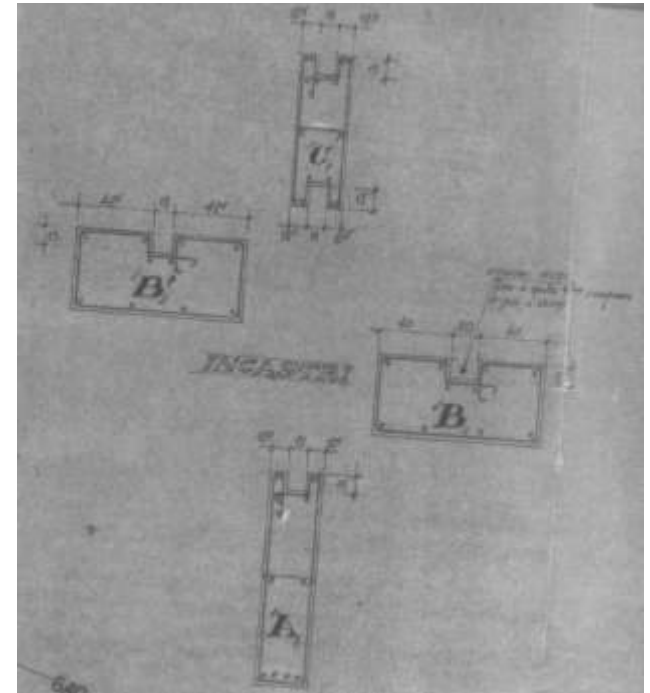
The complex is composed of a series of building in RC, built from 60's.  
 Building have 16 floors, for a total volume equals to 220.000 m<sup>3</sup>.



## Monoblocco - San Martino Hospital, in Genova, Italy



Dettaglio del solaio



carpenteria delle sezioni tipologiche dei pilastri con disposizione dei ferri di armatura



## Monoblocco – San Martino Hospital, in Genova, Italy

### RILIEVO STRUTTURALE E CAMPAGNA DI INDAGINI

Sono state eseguite:

- 27 prove di compressione distruttive su provini di calcestruzzo
- 120 prove eseguite con il metodo Sonreb
- 27 rilievi dei ferri di armatura



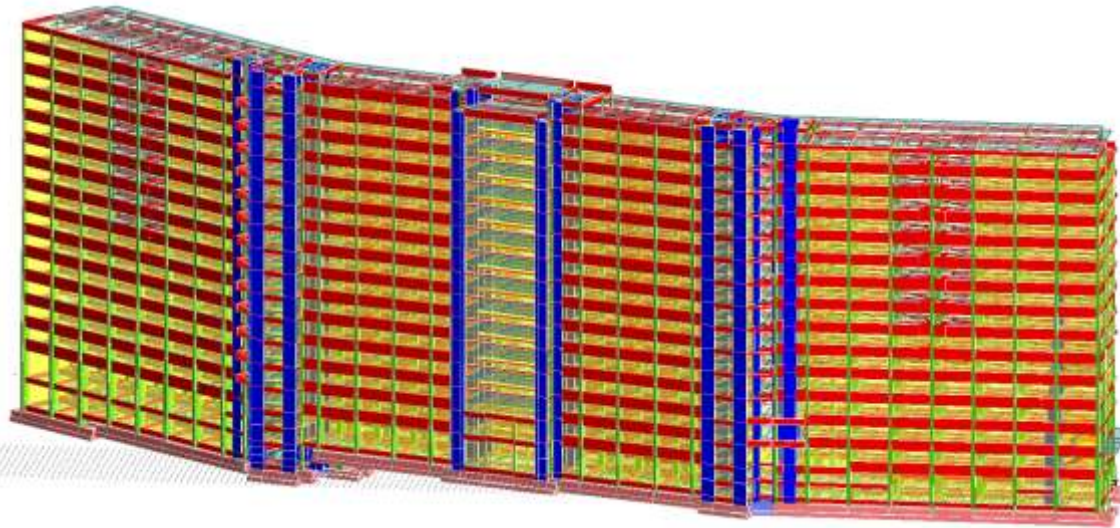
Elem.	Q.ta Tavola[m]	Tipologia	Dimensioni [cm]	Ferri rilevati	Commenti
P1	79.80	Pilastro fila C	/	3F16 (angolo); staffe F6/20	Elevata ossidazione
P2	84.80	Pilastro fila C	/	2F20 (angolo); staffe F6/20	Elevata ossidazione
P3	103.00	Pilastro fila C	/	1F20+1F20 (angolo); staffe F6/20	Elevata ossidazione
P4	103.00	Pilastro fila B'	96x50	4F20 (angolo); staffe F6/20	1 ferro messo a nudo, 3 rilevati con pacometro
P5	103.00	Pilastro fila C	Copr.=2.5cm	2F16 (angolo); staffe F6/20	
P6	103.00	Pilastro fila B'	100x50	2F20 (laterali); staffe F6/20	Rilevati con pacometro
P7	103.00	Pilastro fila A	/	1F22+1F16 (angolo); staffe F6/20	
P8	103.00	Pilastro fila A	40x140		
P9	103.00	Pilastro fila A	40x140	1F22 (angolo); staffe F6/20	
P10	121.00	Pilastro fila C	40x50	2F22 (angolo); 1F16+1F16 (di ripresa); staffe F6/20	Elevata ossidazione
P11	121.00	Pilastro fila A	40x70	1F16 (angolo); staffe F6/20	Elevata ossidazione



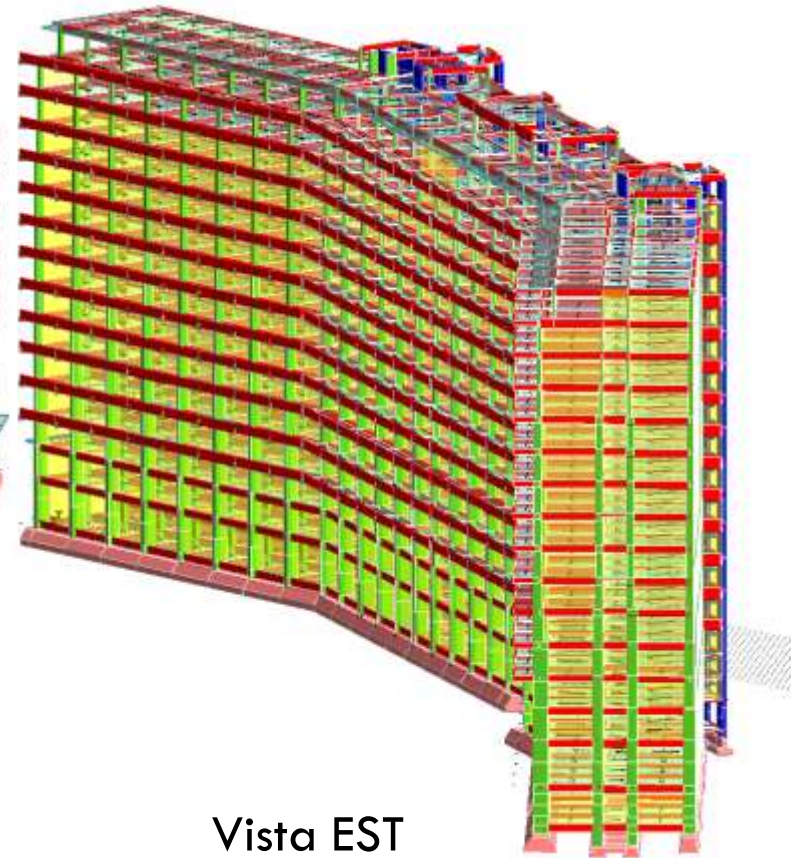


## Monoblocco – San Martino Hospital, in Genova, Italy

### IL MODELLO DI CALCOLO



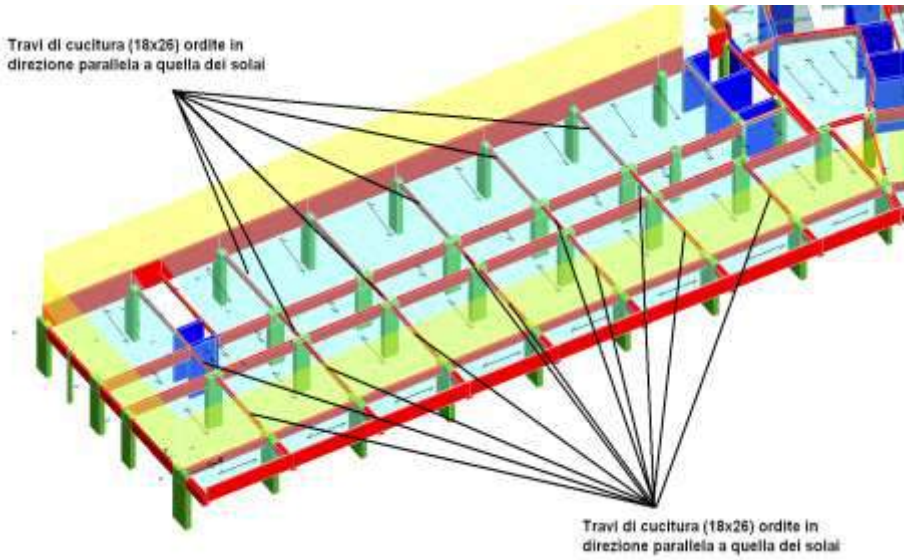
Vista NORD



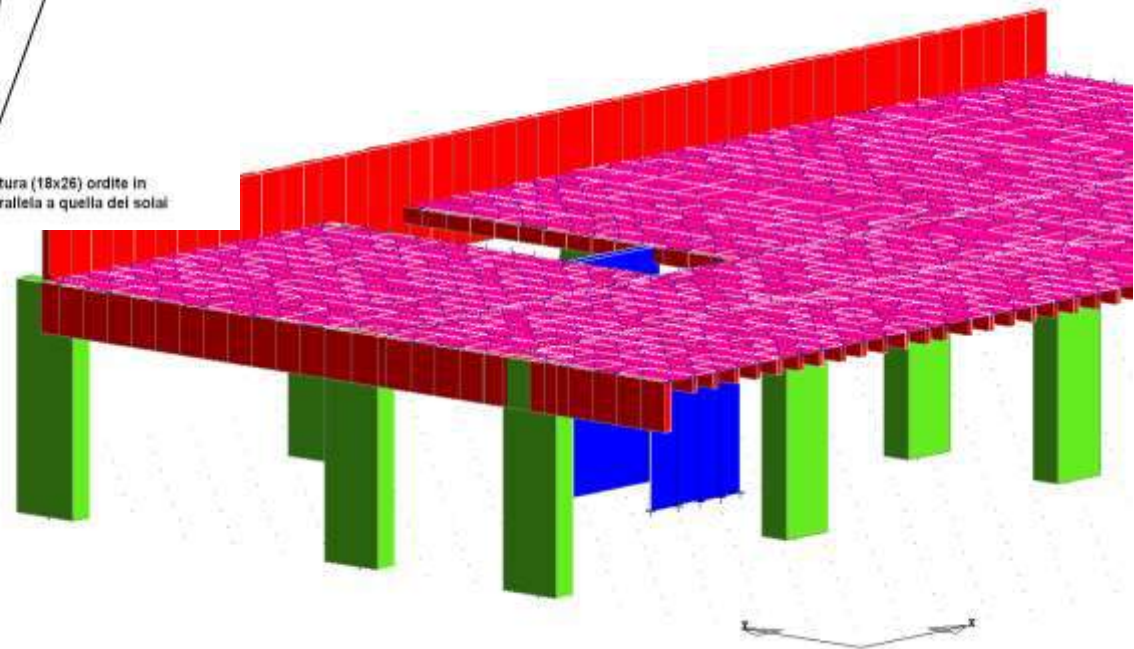
Vista EST



## Monoblocco – San Martino Hospital, in Genova, Italy

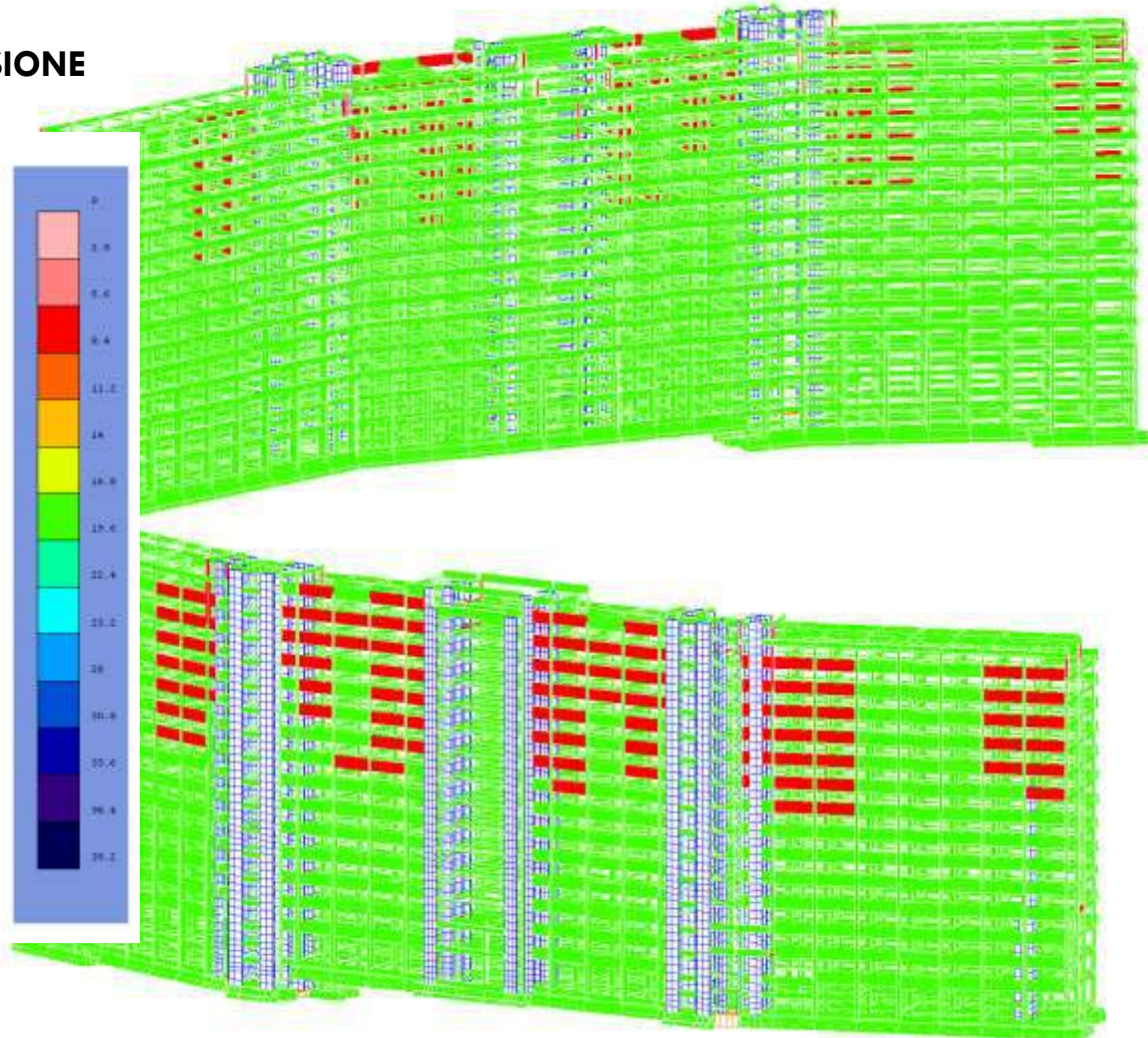
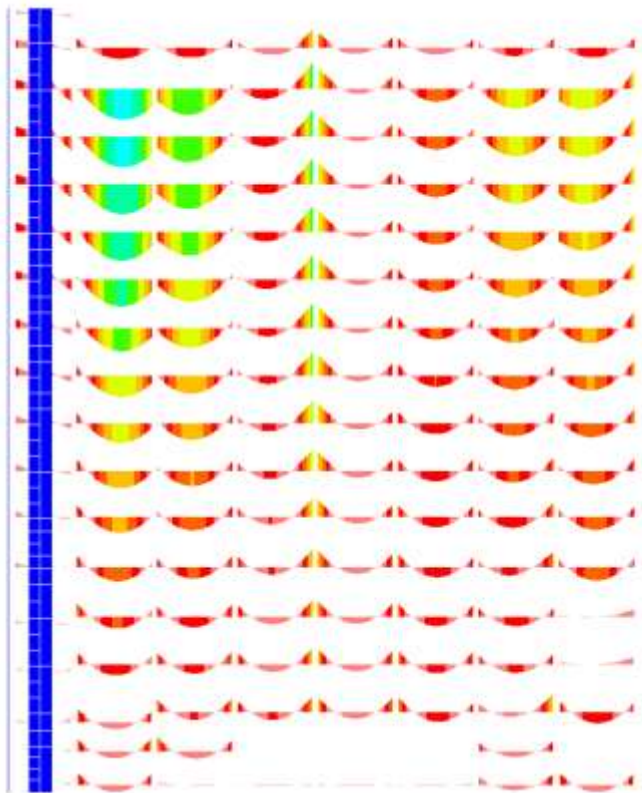


Modellazione ad impalcati deformabili con travi fittizie di cucitura



## Monoblocco – San Martino Hospital, in Genova, Italy

### VERIFICHE STATICHE DI PRESSO-FLESSIONE

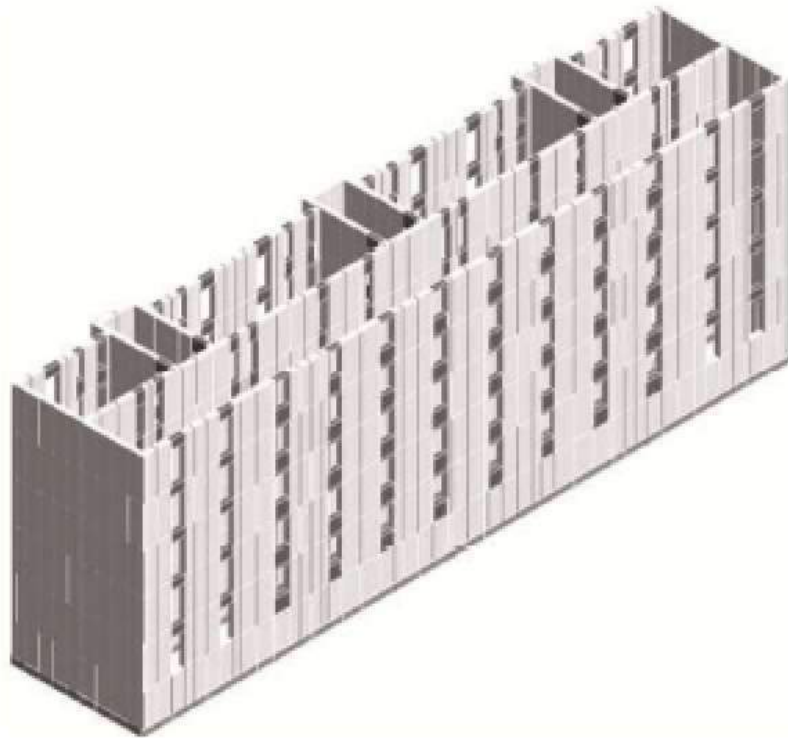


## Innovative strategies for seismic risk reduction

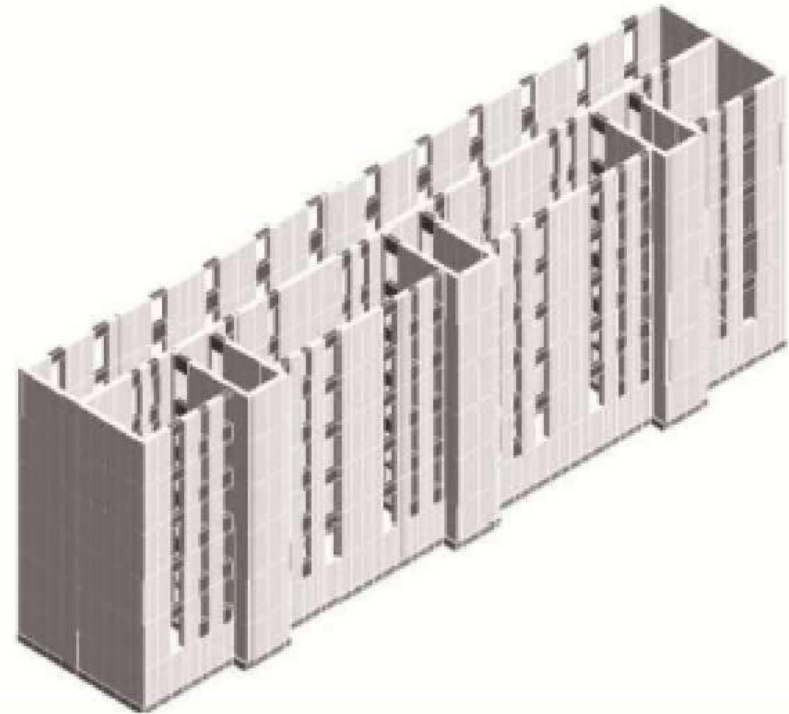
- **Exoskeleton**



## VISTA ASSONOMETRICA DELL'EDIFICIO: geometria costruttiva

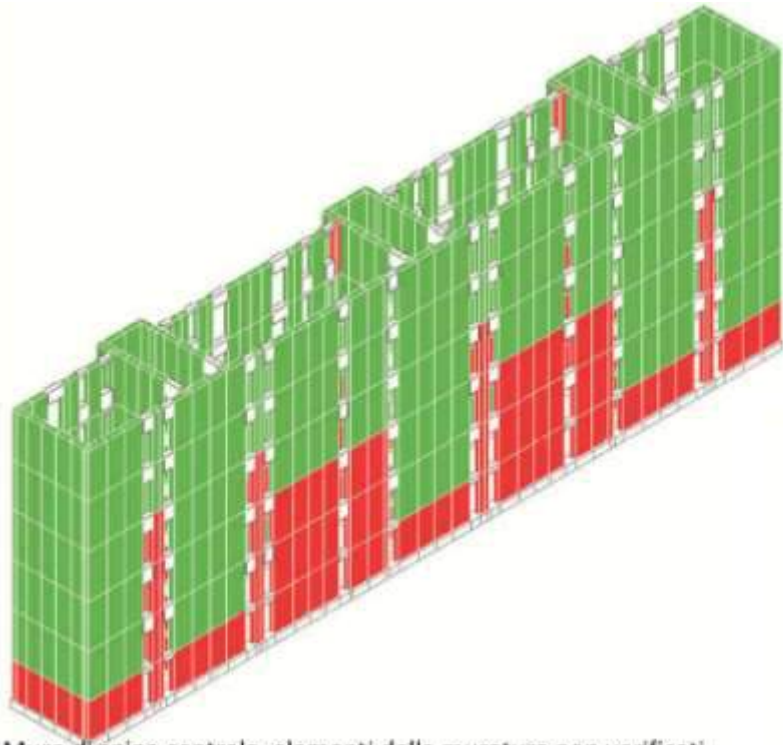


Prospetto est

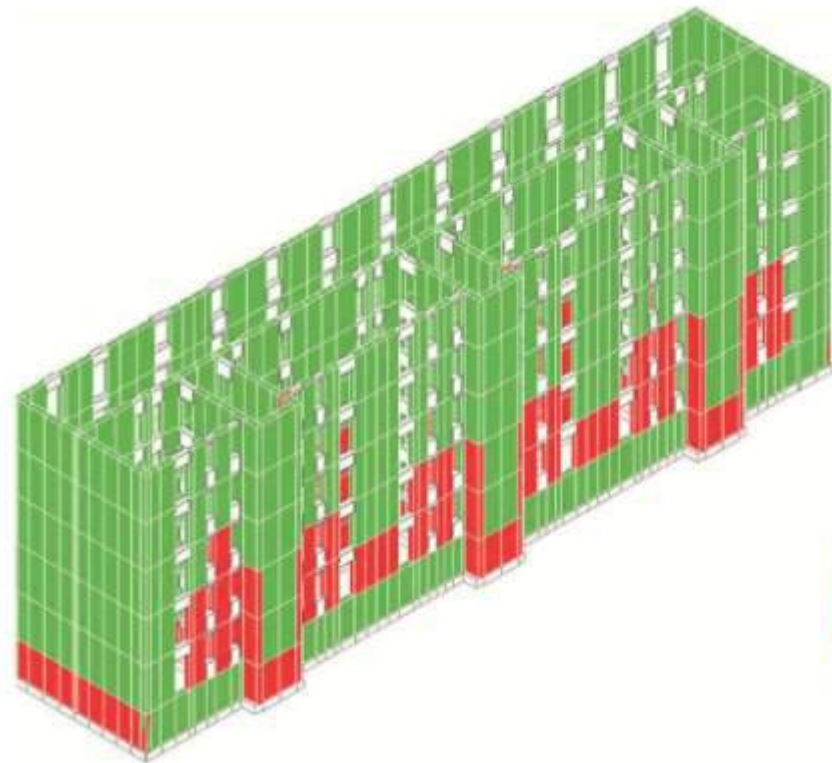


Prospetto ovest

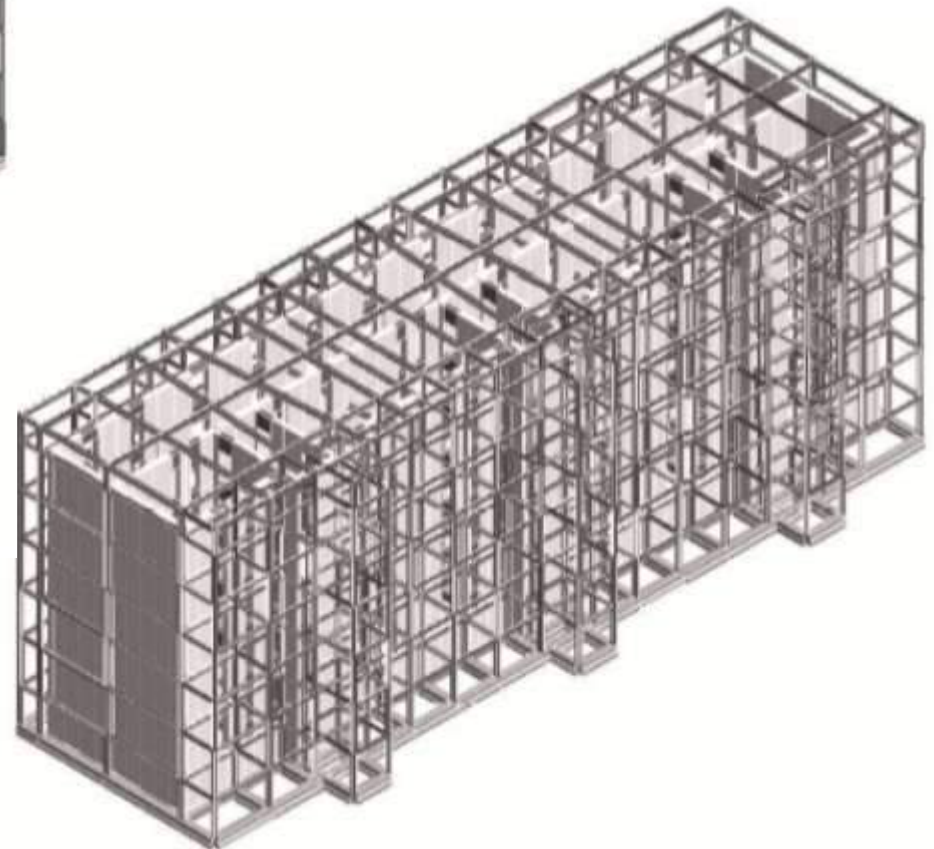
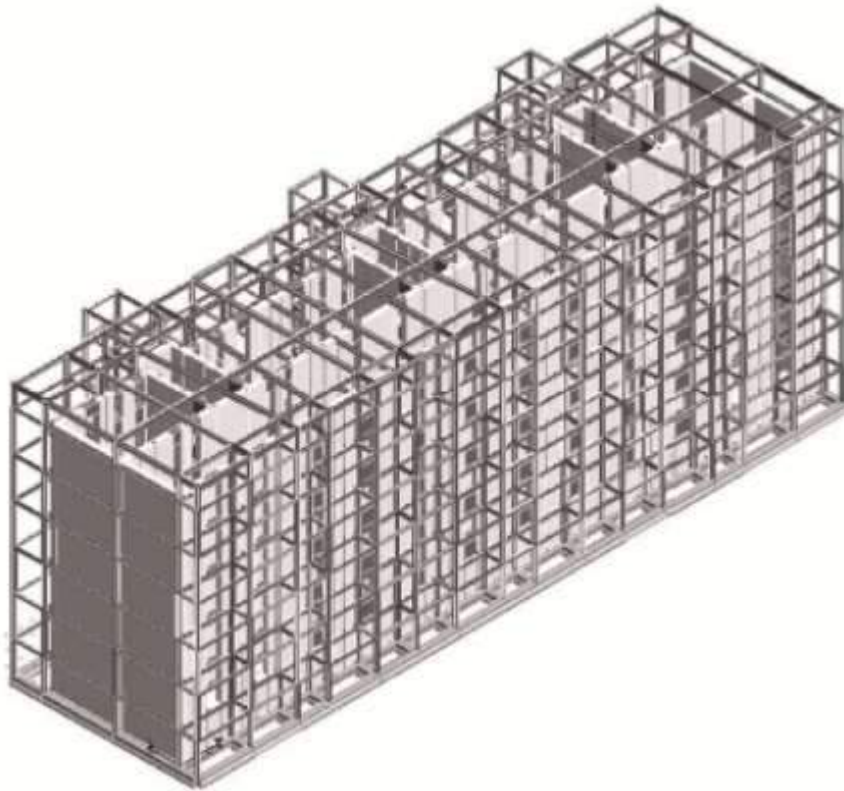


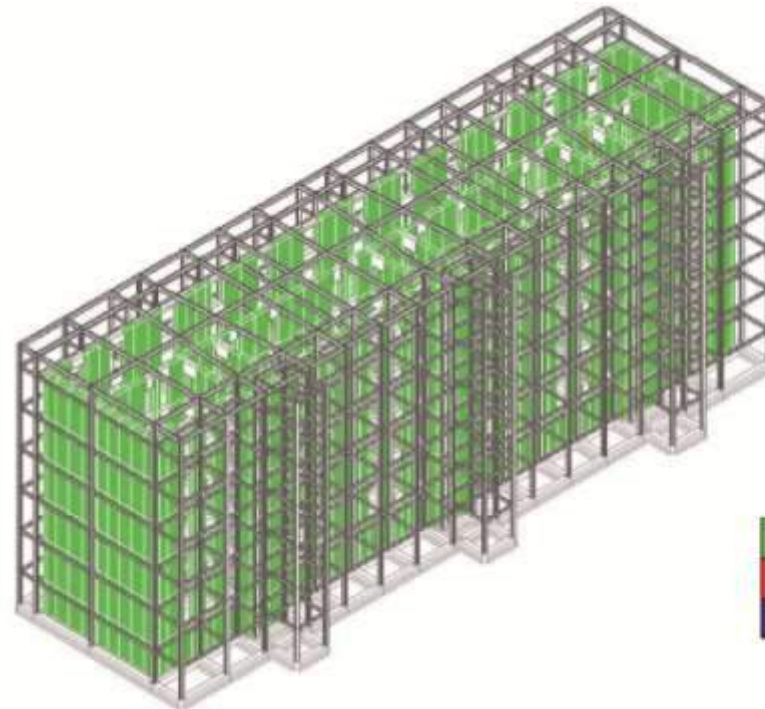
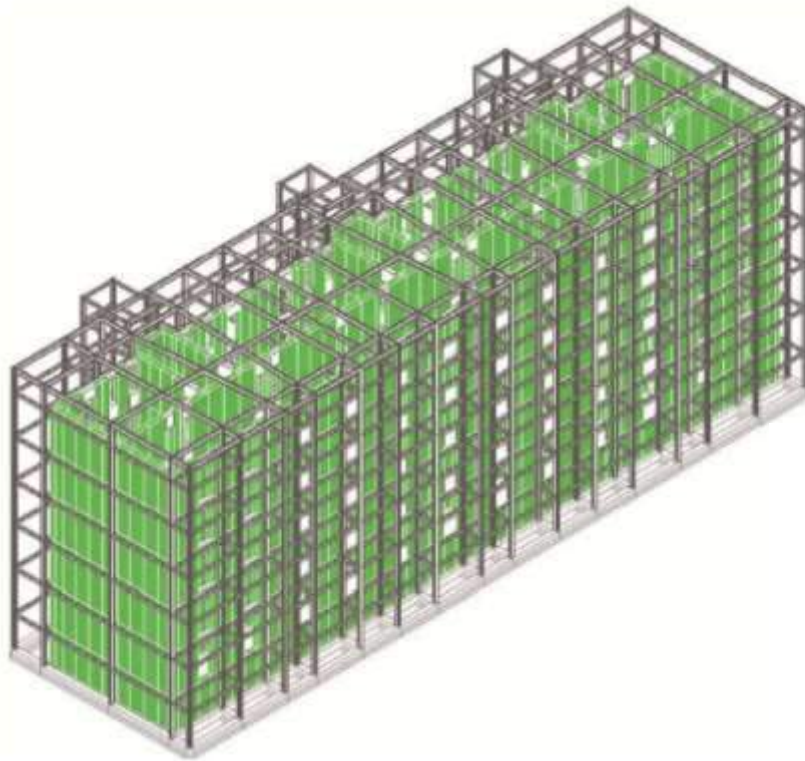


Muro di spina centrale, elementi della muratura non verificati



IRES Piemonte - Torino 26/06/2017

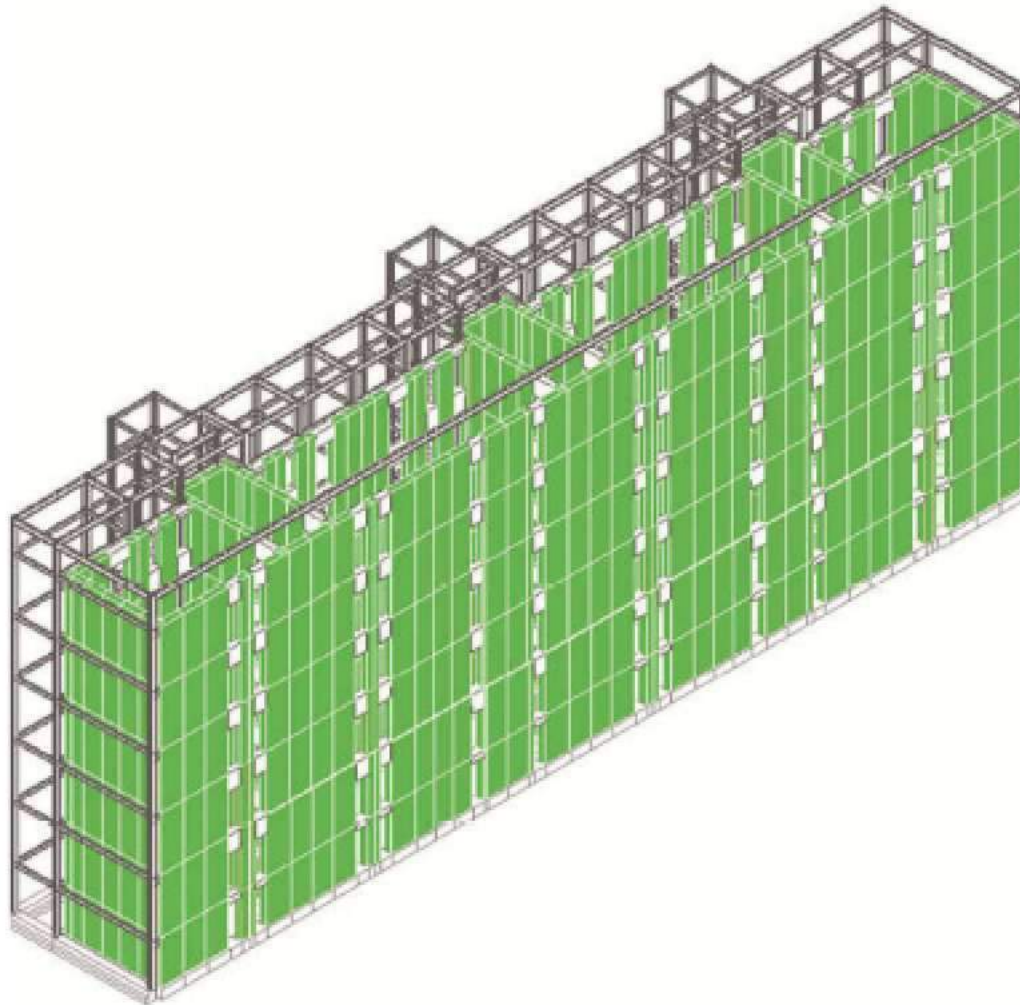


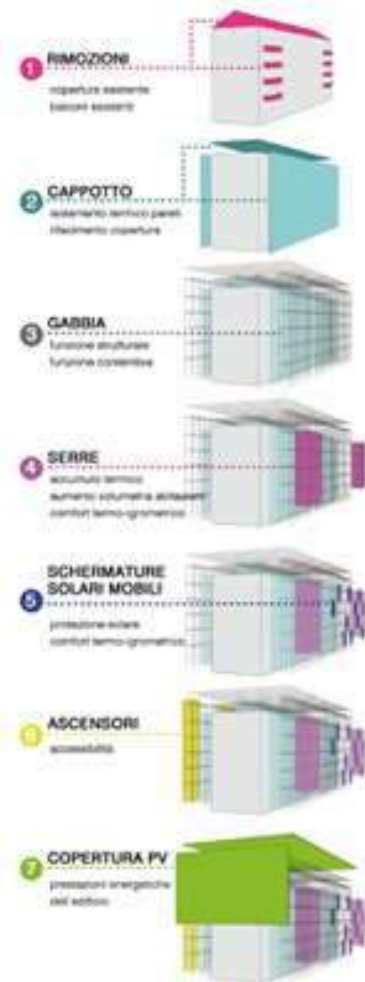




# GLI INTERVENTI PER L'ADEGUAMENTO ANTISIMICO DELLE STRUTTURE OSPEDALIERE

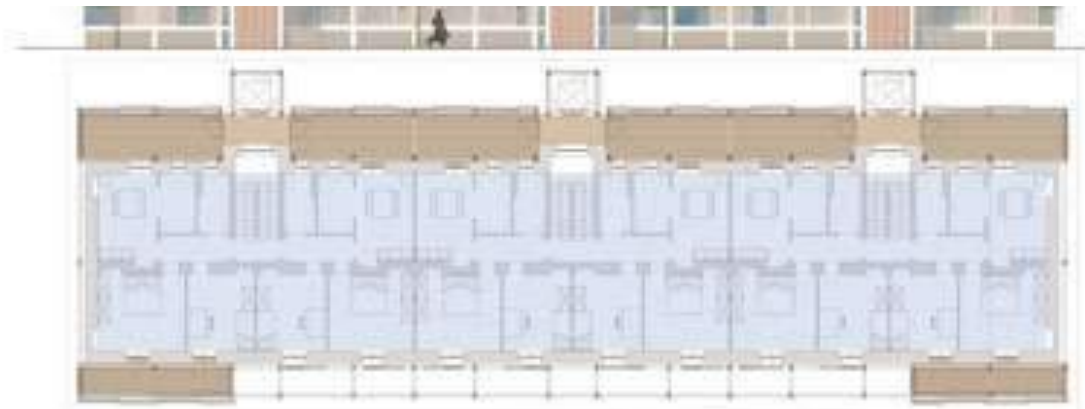
IRES Piemonte - Torino 26/06/2017





# GLI INTERVENTI PER L'ADEGUAMENTO ANTISIMICO DELLE STRUTTURE OSPEDALIERE

IRES Piemonte - Torino 26/06/2017



# GLI INTERVENTI PER L'ADEGUAMENTO ANTISIMICO DELLE STRUTTURE OSPEDALIERE

IRES Piemonte - Torino 26/06/2017



# GLI INTERVENTI PER L'ADEGUAMENTO ANTISIMICO DELLE STRUTTURE OSPEDALIERE

IRES Piemonte - Torino 26/06/2017



# GLI INTERVENTI PER L'ADEGUAMENTO ANTISIMICO DELLE STRUTTURE OSPEDALIERE

IRES Piemonte - Torino 26/06/2017



# GLI INTERVENTI PER L'ADEGUAMENTO ANTISIMICO DELLE STRUTTURE OSPEDALIERE

IRES Piemonte - Torino 26/06/2017

