

Vulnerabilità reale e vulnerabilità numerica.

Considerazioni dall'esperienza sulla rete stradale



Alessio Lupoi

Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Giorgio Lupoi

Studio Speri Società di Ingegneria - Roma



Descrizione del servizio

Verifica sicurezza sismica di ponti e viadotti sulla rete stradale italiana

-Cliente: ANAS



-254 opere: 130 nord - 124 sud



- 250 opere circa (area centro) verificate da Geotec SpA
- 42 opere in corso di svolgimento in Umbria



Panoramica opere



TIPOLOGIA
LARGAMENTE
PREVALENTE

**Ponti C.A./C.A.P.
travi appoggiate**



Panoramica opere



Demolire e ricostruire. Riprogettiamo le nostre città: più sicurezza sismica, minori consumi energetici -- *Milano, 17 ottobre 2012*

Panoramica opere



Demolire e ricostruire. Riprogettiamo le nostre città: più sicurezza sismica, minori consumi energetici -- *Milano, 17 ottobre 2012*

Descrizione del servizio

Verifiche eseguite ai sensi dell'OPCM3274/2003 e NTC2008

La procedura prevista nelle Norme (sostanzialmente) prevede:

- Fase 1: recupero materiale, sopralluoghi → Livelli di conoscenza e Piani di Indagine
- Fase 2: esecuzione campagna di indagine – strutture e terreni
- Fase 3: modellazione e verifica numerica
- Fase 4: rapporti finali (e progetto preliminare di adeguamento)

- Modello numerico di ogni opera
- Verifiche di tutti gli elementi

- Oltre 200 sondaggi terreni
- Oltre 250 prove geofisiche
- Oltre 700 prove su cls e acciaio
- Oltre 1200 prove pacometriche

Attività comunque complessa **ma** ripetitiva
È vero che ogni opera ha una sua storia, però.....

Considerazioni

Premesso che:

-OPCM3274/2003 (poi NTC2008) → balzo in avanti per il Paese (dove ancora si progettava con le Tensioni Ammissibili)

-Aggiornamento di professionisti

-Centri di Ricerca: Rete Laboratori Universitari Reluis – EUCENTRE Pavia

-Credito: Protezione Civile & Università Pavia-Napoli-Roma

**TALE MODO DI PROCEDERE SEMBRA POCO PRATICABILE.
ESISTONO SOLUZIONI ALTERNATIVE ????**

CONS

•**Tempi relativamente lunghi**

•**Costi ELEVATI**

- ✓ *verifiche per opera circa 30.000€ (→ SOGLIA MINIMA!)*
- ✓ *Patrimonio di ponti/viadotti in Italia: ≈ 10.000 opere*
- ✓ *Stima di opere in ex-zone sismiche 1-2: circa 6.000??*
- ✓ *Ipotesi di spesa: 6.000 x 30.000 = 180m€!! SOLO PER LE VERIFICHE DEI PONTI*

Verifiche Numeriche

- *È sempre indispensabile eseguire indagini (prove) di dettaglio e verifiche numeriche?*
- *I risultati ottenuti dall'analisi numerica riflettono sempre la reale vulnerabilità dell'opera??*

CRITICITA'

- LIMITI NELLA MODELLAZIONE NUMERICA (ELEMENTI FINITI)
- LIMITI NEI MODELLI DI CAPACITA'
- SCARSA CONOSCENZA
- SCELTA DEL LIVELLO DI INTENSITA' DELL'AZIONE SISMICA

Criticità: modellazione appoggi



**A. Non esistono modelli numerici
in grado di rappresentare tale
elementi**

B. Quale resistenza residua??



Criticità: giunti – pile tozze - ammaloramenti



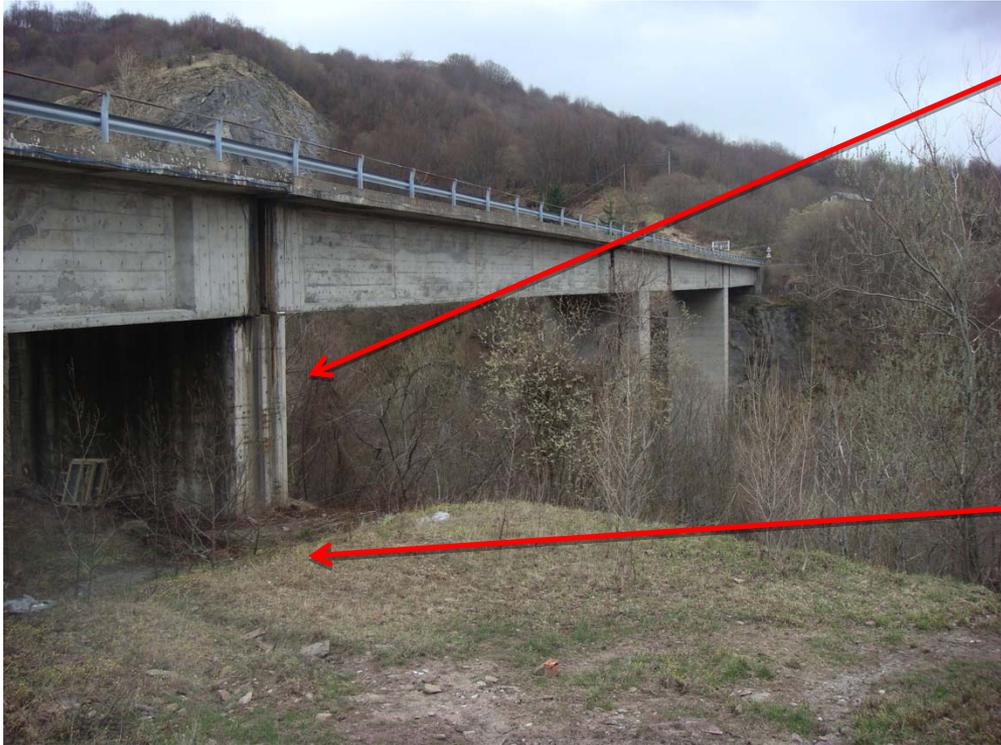
A. Quale è il comportamento dei giunti in caso di terremoto??

B. Come lo modello??

C. Ammaloramenti... contano ai fini della risposta sismica?

I modelli numerici HANNO (ben noti) limiti di rappresentazione....
...ed in alcune situazioni potrebbero essere superflui

Criticità: pile tozze - fondazioni



- A. NON esistono modelli di capacità affidabili per le pile tozze
- B. Ma sappiamo a priori che sono elementi particolarmente vulnerabili

C. FONDAZIONI... spesso ignote ed non conoscibili !

Criticità: edifici contigui



Blocco A2



Limiti tipici dei modelli numerici

A. Giunti

B. Scale

C. Tamponature

D. Aperture

E. Elasticità lineare

F. etc. etc.

Criticità: intensità azione sismica di verifica

- Periodo di Riferimento dell'opera V_R

$$V_R = V_N \times C_U$$

$$V_R = 50 \div 200 \text{ anni}$$

- V_N vita nominale: > 50 oppure > 100
- C_U coefficiente d'uso: 1.0 (II) – 1.5 (III) – 2.0 (IV)

- Intensità definita in funzione del Periodo di Ritorno T_R

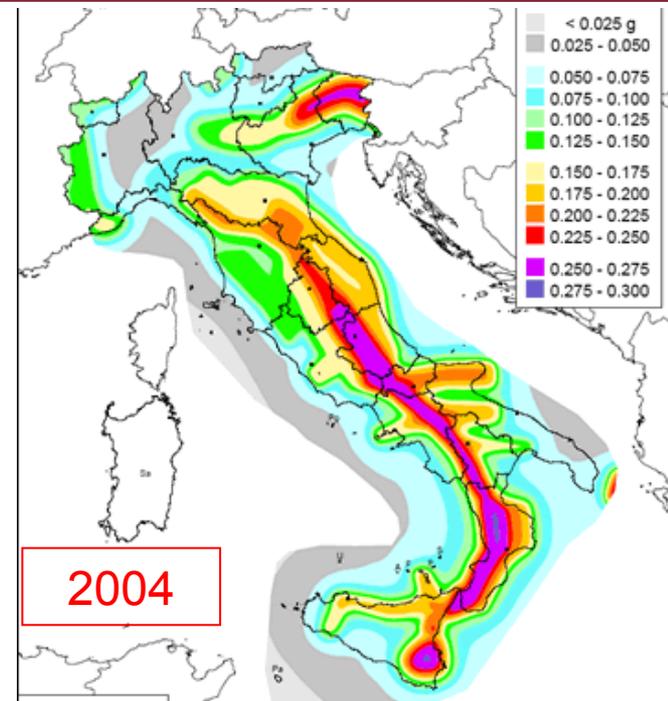
SLV: terremoto con probabilità di superamento 10% in V_R

- 10% in 50 anni $\rightarrow T_R = 475$ anni
- 10% in 200 anni $\rightarrow T_R = 1900$ anni

$$T_{R\ 1900} / T_{R\ 475} \approx 2 !!$$

È ragionevole utilizzare i medesimi criteri per la definizione dell'azione sismica di nuove costruzioni e di costruzioni esistenti???

Verifiche sismiche in Italia (al 2012)



- *Estensione della pericolosità (hazard) s*
 - *Larga parte patrimonio edilizio NON re*
 - *Negli ultimi 10 anni eseguite moltissime verifiche di vulnerabilità → esiti SPESSE negativi*
 - *La verifica di tutto il costruito con queste procedure non è “sostenibile” (tempi/costi)*
 - **ANCOR MENO LO SAREBBERO I COSTI DEGLI INTERVENTI RISULTANTI DALLE VERIFICHE CONDOTTE COME SOPRA**
- territorio nazionale*
condo moderni criteri progettazione sismica

Strategia alternativa o complementare

1. Piano di priorità delle verifiche: tipologie maggiormente vulnerabili

Tipologia	Condizioni	Zona sismica 1	Zona sismica 2	Zona sismica 3
C.A.	PreL. 64/ 74	Red	Red	Orange
	Post L. 64/ 74	Red	Orange	Green
	Post 1996	Orange	Orange	Green
Muratura	Buona conservazione Limitati interventi	Red	Orange	Green
	Cattiva conservazione Pesanti interventi	Red		Orange

*Esempio di larga
massima (da
approfondire)*

Classificazione non solo per tipologia edilizia ma anche per destinazione d'uso

2. PRE-VALUTAZIONE qualitativa sulla vulnerabilità della costruzione, preventiva alla valutazione quantitativa (modifica Normativa)

*Sopralluoghi da parte di ingegneri **esperti in progettazione sismica***

- Manomissioni e/o modifiche strutturali*
- Difetti di concezione*
- Elementi critici altamente vulnerabili*

Strategia alternativa o complementare

3. Tipiche vulnerabilità strutturali possono essere individuate senza analisi numeriche e/o prove sperimentali

Tipologia costr.	Destinazione d'uso	Vulnerabilità
Edifici C.A.	Tutte	Progettazione solo per carichi verticali Soluzioni progettuali "particolarmente" critiche e/o in deviazioni piano pilastri, pilastri tozzi, ...
	Edificio residenziali	Stato di conservazione Carenze nei dettagli costruttivi per garantire la resistenza Varianti occorse negli anni che hanno compromesso lo schema strutturale sovrapposizioni, scavi
Edifici Muratura	Tutte	Invecchiamento e degrado delle malte Astrazione degli orizzontamenti (sdai) con l'entusiasmo
	Edificio residenziali	Stato di conservazione Varianti occorse negli anni che hanno compromesso lo schema strutturale riduzione delle murature interne sovrapposizioni, realizzazione di porte e/o finestre Murature perimetrali non collegate tra loro
Tipologia costr.	-	Vulnerabilità
Ponti	C.A. e C.A.P.	Appoggi usurati Rottura a taglio delle pile tozze Carenza in duttilità delle pile alte Assenza di ritegni sismici
	Muratura	Insufficiente resistenza delle pile alle azioni orizzontali Meccanismi locali (timpani)

3 STEPS

- sopralluoghi

- Documentaz. Progettuale

- Storia sismica

→ VALUTAZIONE PRELIMINARE

Interventi di adeguamento più comuni

<i>Tipologia costr.</i>	<i>Tipo Intervento</i>	<i>Intervento</i>
Edifici C.A.	<i>Locali</i>	<i>Ringrosso e/o fasciatura di elementi strutturali</i>
	<i>Globali</i>	<i>Nuovi setti in ca. attraverso la chiusura di telai esistenti</i> <i>Nuove strutture ausiliarie esterne</i>
Edifici Muratura	<i>Locali</i>	<i>Collegamento orizzontamenti-strutture verticali</i> <i>Riquadratura aperture</i>
	<i>Globali</i>	<i>Cucitura attiva della muratura con fasciatura esterna</i>

<i>Tipologia costr.</i>	<i>Tipo Intervento</i>	<i>Intervento</i>
Ponti C.A. e C.A.P.	<i>Locali</i>	<i>Sostituzione Appoggi</i> <i>"Fasciature" Piletozze</i> <i>"Fasciature" alla base pile alte</i>
	<i>Globali</i>	<i>Isolamento</i>
Ponti Muratura	<i>Locali</i>	-
	<i>Globali</i>	<i>Rinforzo delle pile</i>

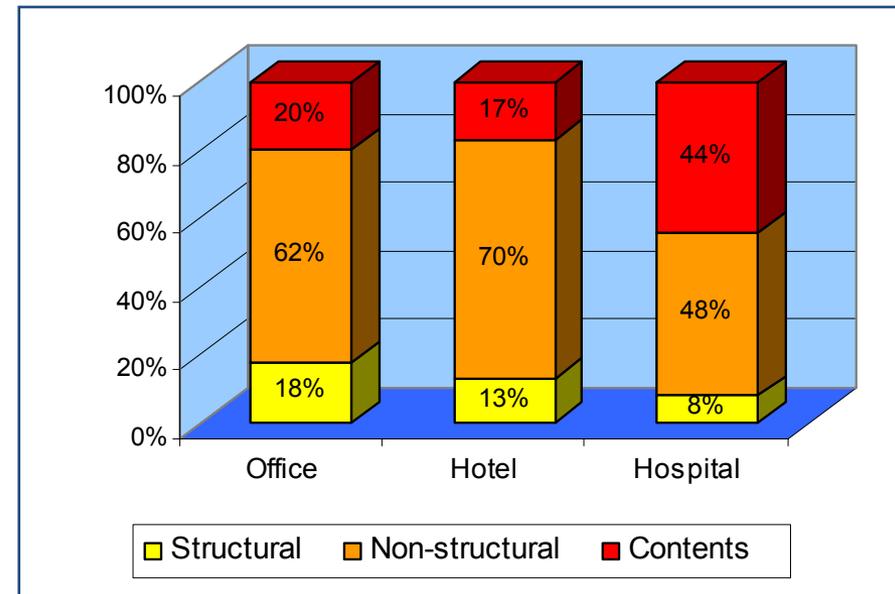
Semplici interventi basati sull'esperienza possono "adeguare" sismicamente l'opera a costi contenuti → STRADA DA PERSEGUIRE

Vulnerabilità: elementi non-strutturali



Elementi non-strutturali cruciali:

- **Operatività:** danneggiamento causa la perdita di funzionalità dell'opera
- **Costi:** parte % più costosa dell'opera



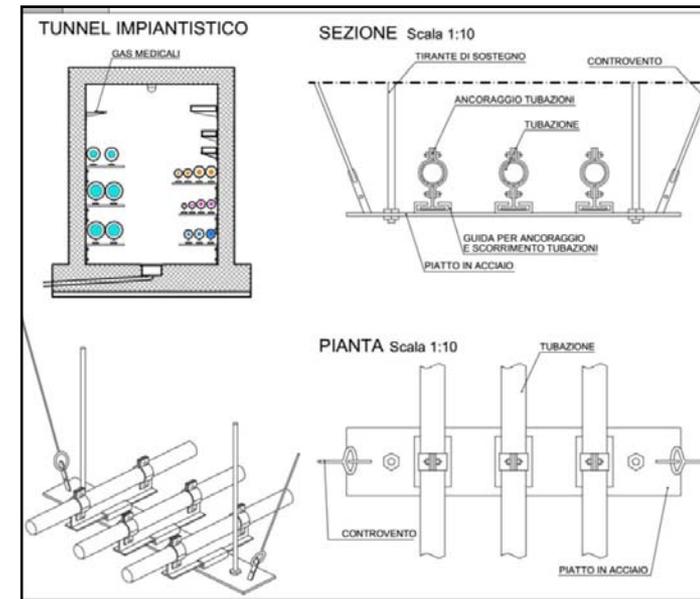
Vulnerabilità: elementi non-strutturali



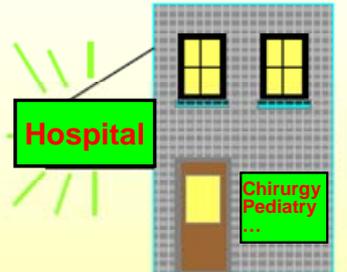
Elevata vulnerabilità

il danneggiamento ha inizio per livelli di deformazione minori rispetto a quelli che provocano danni alle strutture!

- VULNERABILITA' DEGLI ELEMENTI NON STRUTTURALI CRITICA PER LE OPERE DI IMPORTANZA STRATEGICA
- RIMEDI SPESSO BASATI SULL'ESPERIENZA

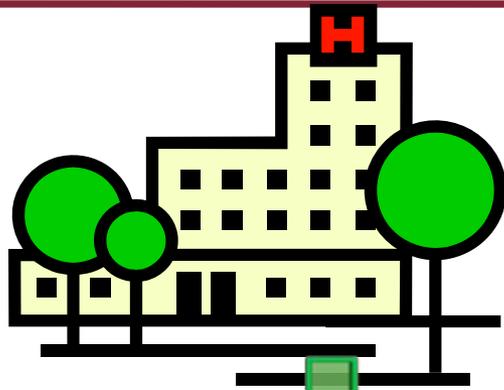


Definizione del livello di prestazione

<i>Livello prestazionale</i>	Operativo	Agibile	Stabile	Collasso
<i>Danni strutturali</i>	assenti	lievi	moderati	estesi
<i>D. non-strutturali</i>	assenti	lievi	moderati	estesi
<i>D. contenuti</i>	lievi	moderati	estesi	-
<i>Sicurezza</i>	Sì	Sì	Sì	No
<i>Economici</i>	0-10%	10-30%	30-60%	60-100%
<i>Funzionali</i>	Operativo con minimi disagi	Operativo con lievi disagi (giorni)	Non operativo necessariamente riparazioni (settimane)	Non operativo
<i>Stato</i>				

..... per un determinata intensità dell'azione sismica →
OBIETTIVI di SICUREZZA SPECIFICI per gli OSPEDALI

Definizione della strategia di intervento



Definizione Obiettivi di sicurezza (operatività)

Analisi di Vulnerabilità e Mitigazione

Indicatori prestazione: € , PL, etc.

Nessun costo
Rischio elevato

Nessun Intervento

Intervento unico

Elevati disagi
Elevati costi

Approccio incrementale

Disagi ridotti
Costi contenuti

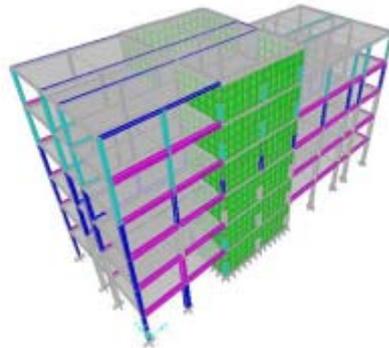
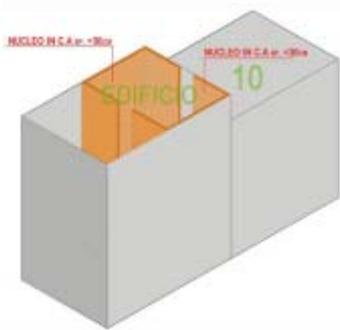
Recupero

Massima
riduzione rischio

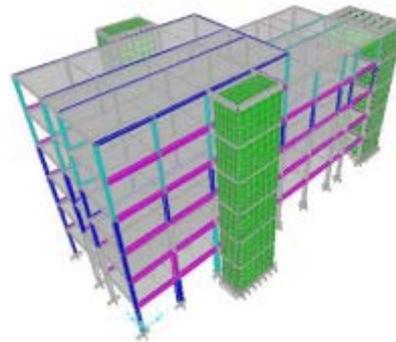
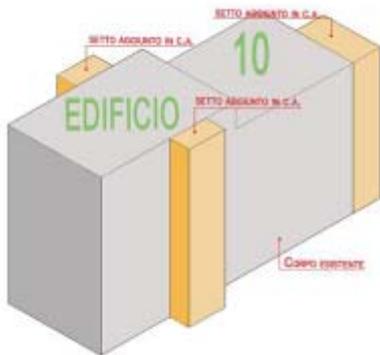
**Riedificazione/
cambio di destinazione**

Intervento tecniche tradizionali: setti in c.a.

Tipologia di intervento: Riduzione della domanda agente sugli elementi esistenti



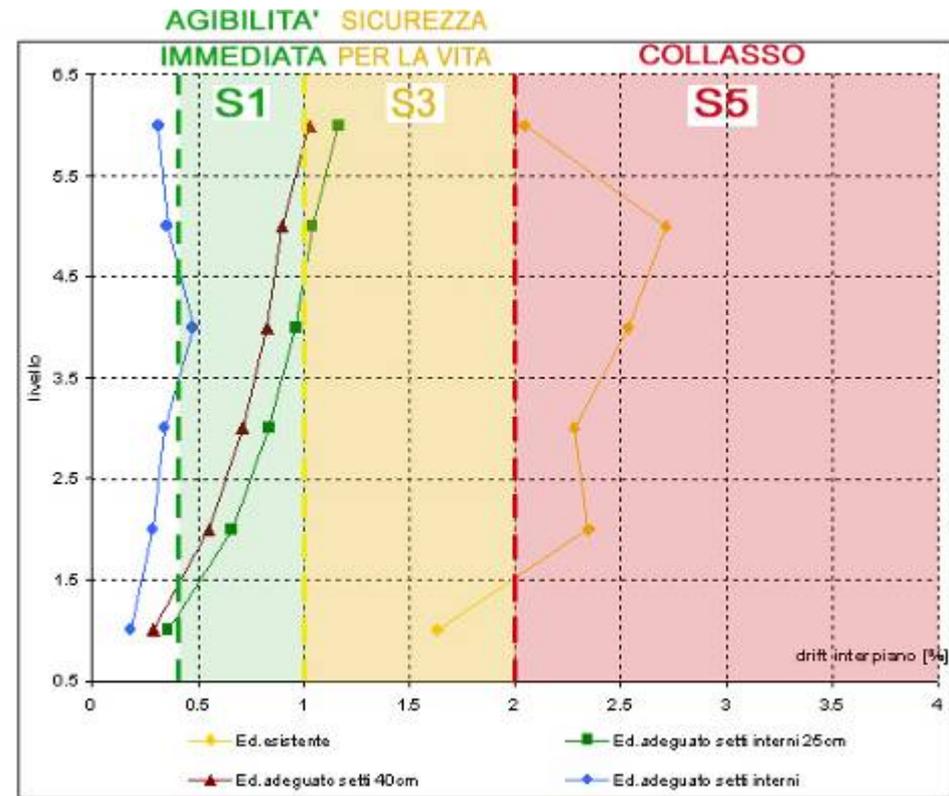
Setti interni



Setti esterni

Vantaggi: minore interferenza, adeguamento antincendio

Svantaggi: aumento volumetria



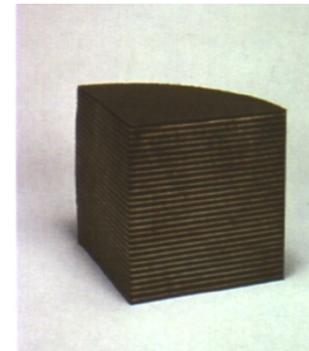
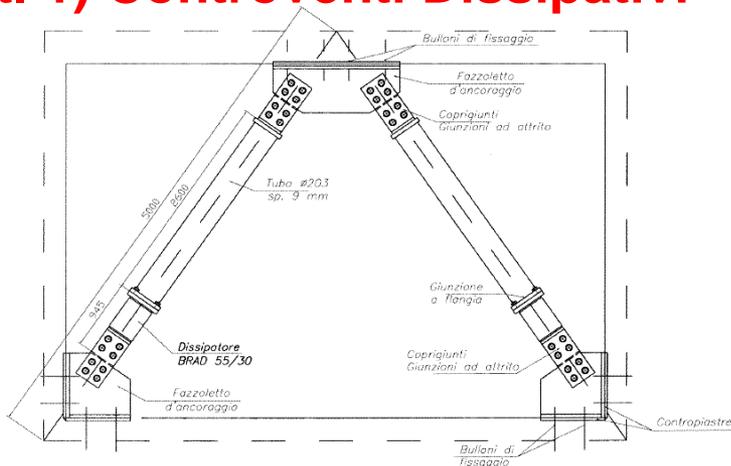
Drift interpiano per lo SL CO
riduzioni maggiori di 2.5

Intervento: tecniche "avanzate"



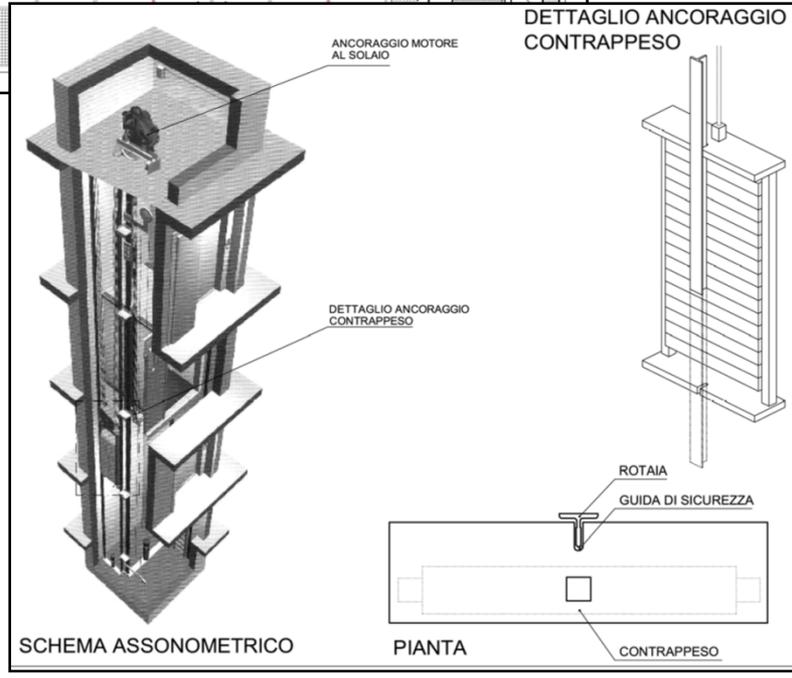
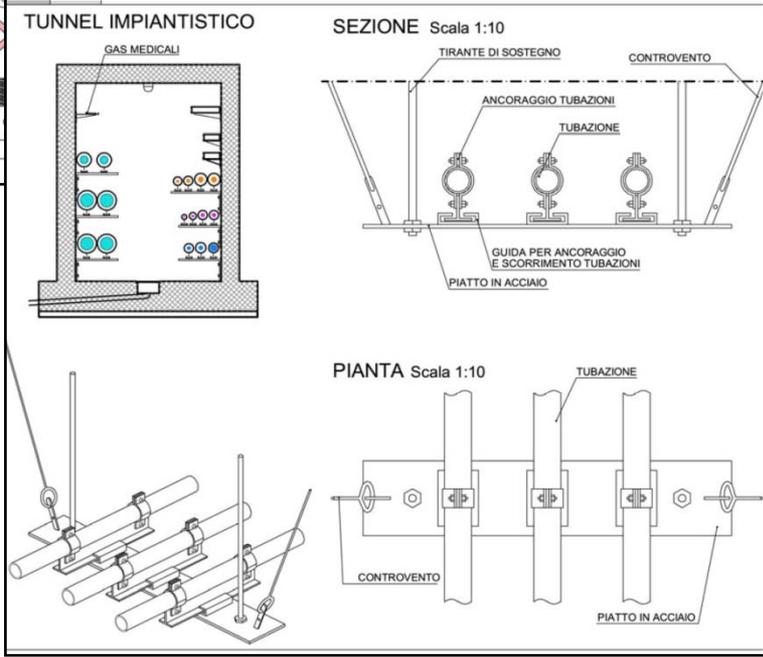
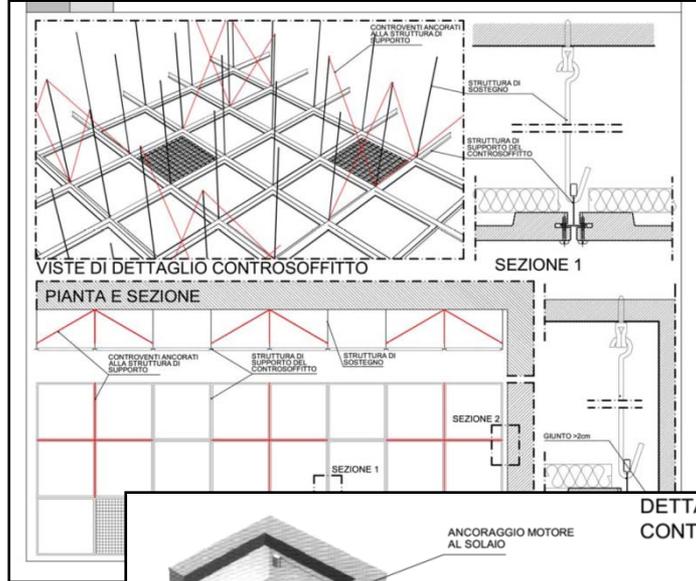
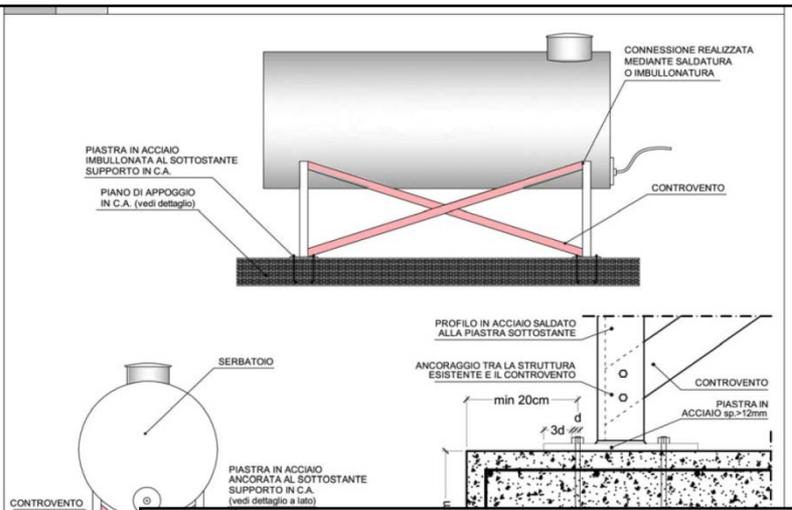
Opt. 1) Controventi Dissipativi

Opt. 2) Isolamento sismico alla base



Demolire e ricostruire. Riprogettiamo le nostre città: più sicurezza sismica, minori consumi energetici -- Milano, 17 ottobre 2012

Intervento: elementi non-strutturali e contenuto



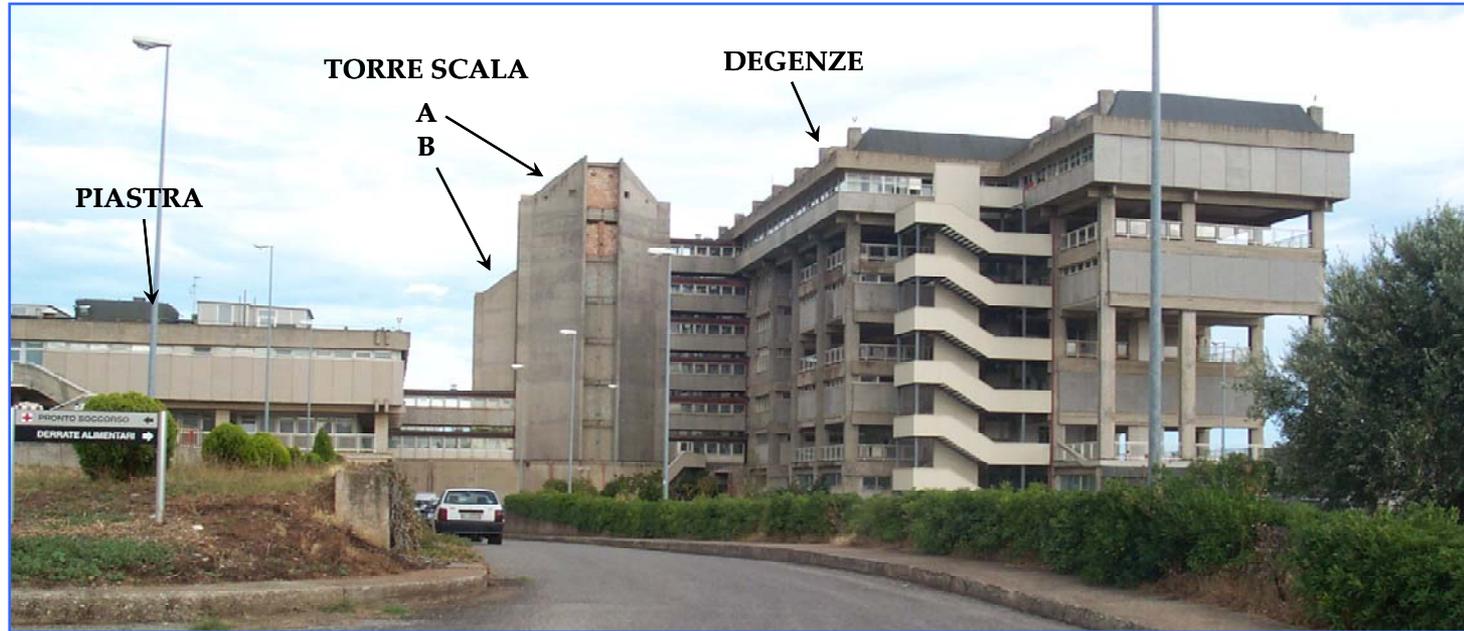
Demolire e ricostruire. Riprogettiamo le nostre città: più sicurezza sismica, minori consumi energetici -- Milano, 17 ottobre 2012



Vulnerabilità: Esempio Applicativo

Edificio in c.a.
Costruzione: '70
50.000mq
350 posti letto
8 camere operat.

Degenze: 6 piani
Piastra: 2 piani



Servizi medici “essenziali”
ubicati nella Piastra

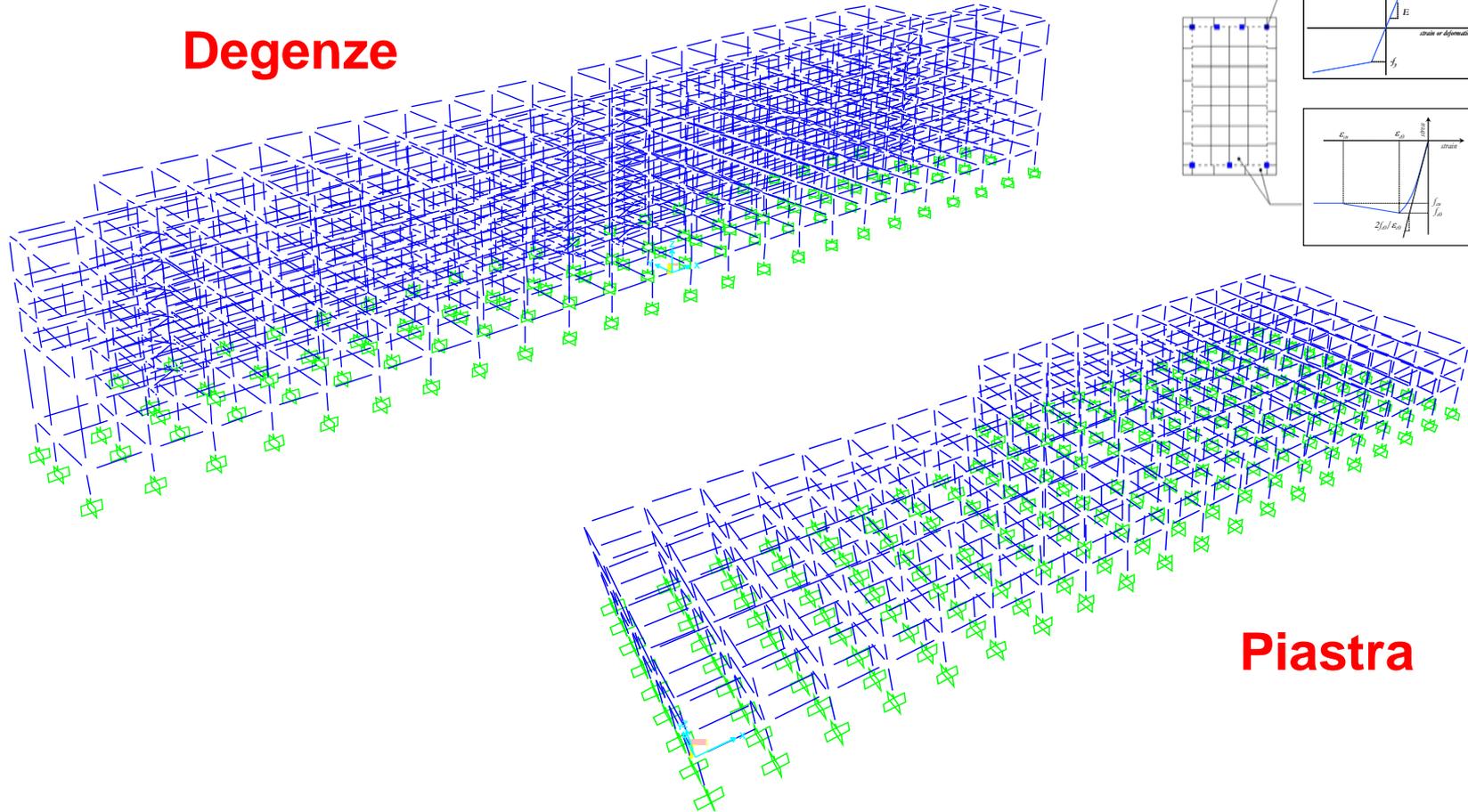
Componente Organizzativa
 $\alpha=1$

Componente Umana
 $\beta=0.8$

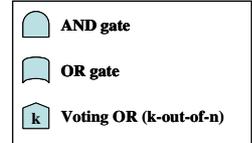
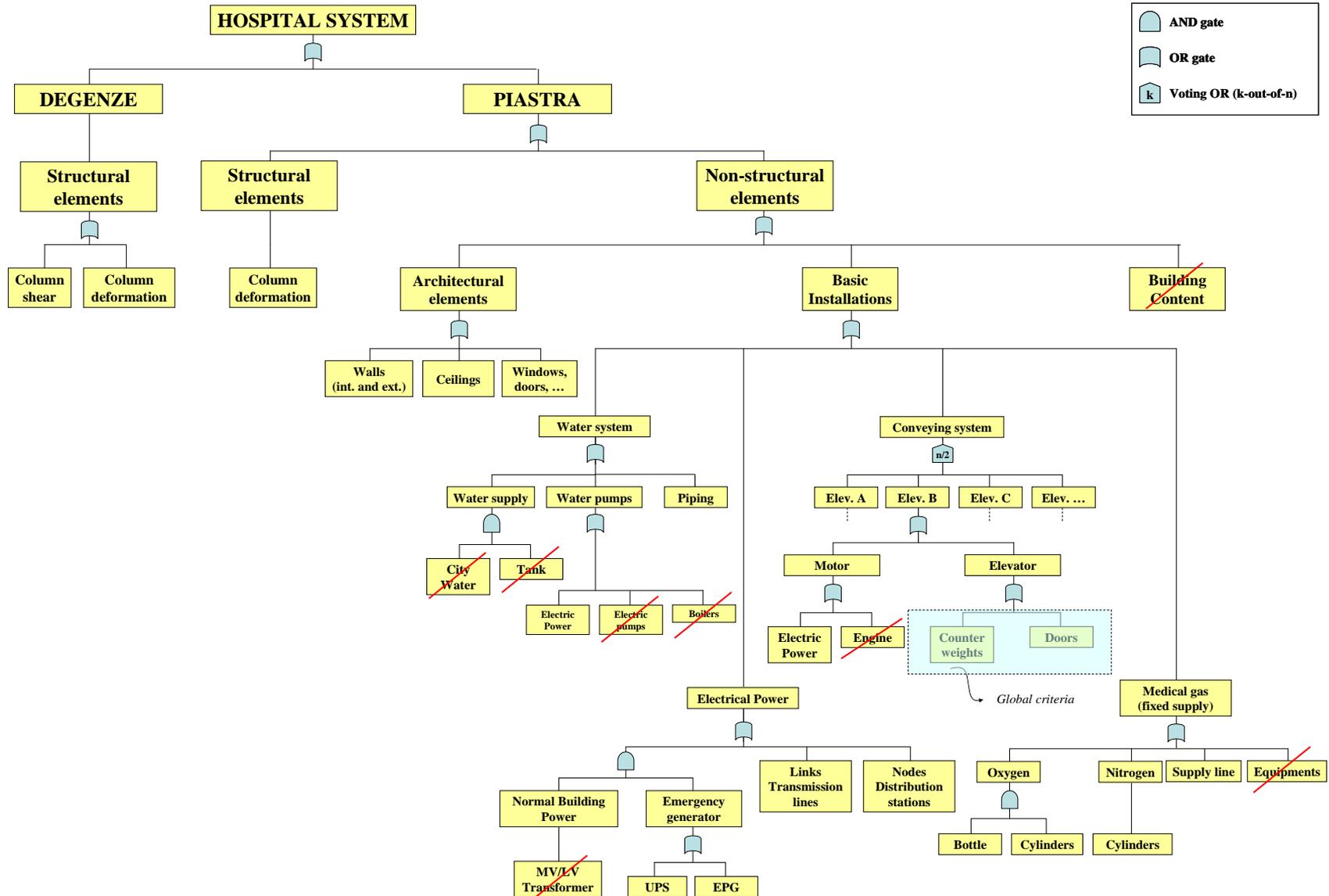
Demolire e ricostruire. Riprogettiamo le nostre città: più sicurezza
sismica, minori consumi energetici -- Milano, 17 ottobre 2012

Esempio Applicativo: Analisi numerica

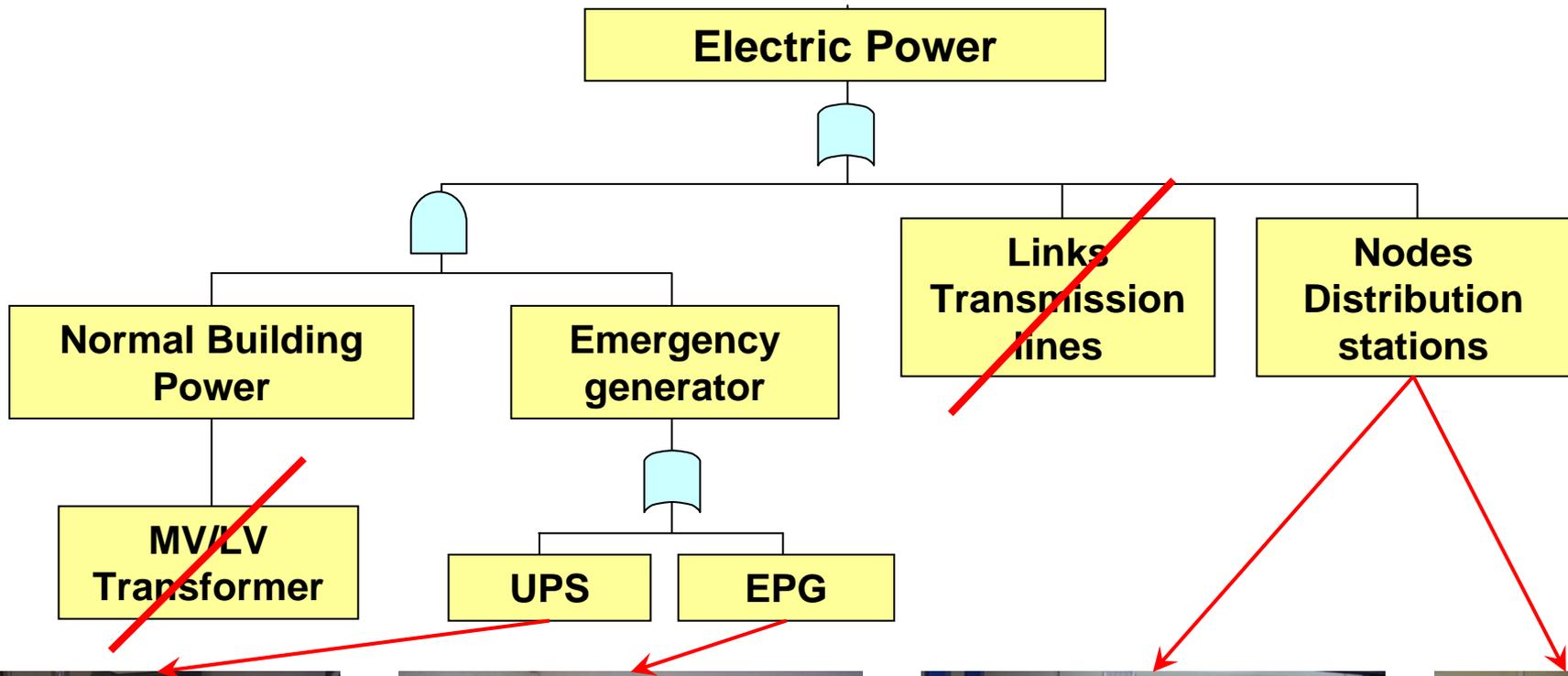
Modello degli edifici agli elementi finiti: aste a comportamento lineare e non lineare



Esempio applicativo: Fault-Tree del "sistema" ospedale



Esempio applicativo: *Fault-tree* elem. non-strutturali



I modelli di capacità sono derivati da specifici studi disponibili in letteratura