

MADE Expo – Milano, 17 ottobre 2012

Vulnerabilità sismica e innovazione delle costruzioni esistenti



Prof. Ing. Bernardino CHIAIA



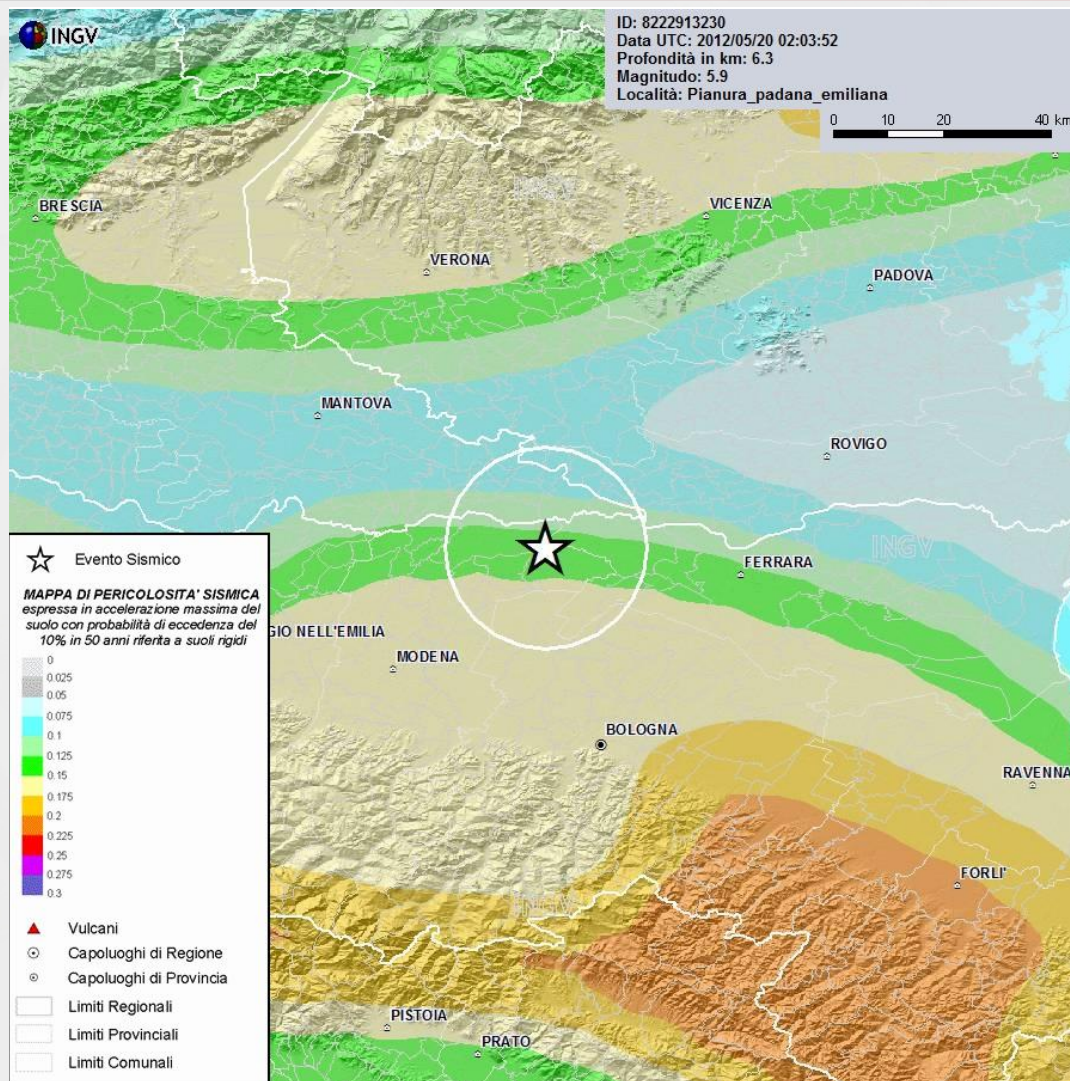
L'EVENTO SISMICO IN EMILIA - 2012

- **20 Maggio 2012 (h 4.03):** scossa $M=5,9$, profondità ipocentrica $\sim 6,3$ km, epicentro presso Finale Emilia (accelerometro di Mirandola a circa 20 km west misura valori anche maggiori di 200 cm/s^2) - primi crolli e fenomeni di liquefazione; - 7 vittime
- **29 Maggio 2012 (h 9.00):** scossa $M=5,8$, profondità ipocentrica ~ 10 km, epicentro presso Mirandola; - 15 vittime
- la componente verticale ha un contenuto in alte frequenze molto più forte delle componenti orizzontali; nonostante ciò la PGA delle componenti orizzontali e verticale è stata simile (e a volte superiore a $0,15g$...)
- i forti contenuti in basse frequenze delle componenti orizzontali sono dovuti alla presenza dei depositi sedimentari. Uniti ai grandi spostamenti (20-30cm) in zona epicentrale, si spiegano gli effetti sulle costruzioni

ADVANCED RESEARCH, CONSULTING AND SOLUTIONS IN ENGINEERING



L'EVENTO SISMICO IN EMILIA - 2012



Carta di pericolosità sismica nazionale

(Ordinanza PCM del 28/4/2005 n. 3519)

Zona 1: sismicità alta, $PGA > 0,25g$

Zona 2: sismicità media, PGA fra 0,15 e 0,25g

Zona 3: sismicità bassa, PGA fra 0,05 e 0,15g

Zona 4: sismicità molto bassa, $PGA < 0,05g$

PGA : accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi

L'EVENTO SISMICO IN EMILIA - 2012

- Il meccanismo è stato di tipo compressivo in direzione nord/sud e piani di faglia inclinati est/ovest (pieghe ferraresi)
- la zona era considerata a bassa pericolosità sismica, al confine settentrionale della zona in compressione della catena Appenninica; eppure Ferrara era stata colpita già nel XVI secolo da una sequenza sismica durata quasi 4 anni; Verona era stata distrutta nel 1117 ($M = 6,5$)...
- la sismicità del territorio era stata aggiornata nel 2003 (ed in vigore dal 2005) (es. Mirandola, Medolla, Finale e Ferrara da NC a zona 3)
- (O.P.C.M. 3274 del 20 marzo 2003): *".. è fatto obbligo di procedere a verifica, da effettuarsi a cura dei rispettivi proprietari ... sia degli edifici di interesse strategico e delle opere infrastrutturali la cui funzionalità assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile, sia degli edifici e delle opere infrastrutturali che possono assumere **rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso**. Le verifiche dovranno essere effettuate entro cinque anni... "*

ADVANCED RESEARCH, CONSULTING AND SOLUTIONS IN ENGINEERING



Definizione:

RISCHIO =

PERICOLOSITA' x VULNERABILITA' x ESPOSIZIONE



caratteristiche
sismogenetiche del
territorio;
amplificazioni locali;



caratteristiche
strutturali;
elementi non
strutturali;



vite umane;
danno ambientale;
costi economici/
sociali;

ADVANCED RESEARCH, CONSULTING AND SOLUTIONS IN ENGINEERING



MAPPE: UN ARCHETIPO DI ITALIANITA'

- Per ben quattro volte negli ultimi quattrocento anni (1672, 1786, 1875 e 1916) - Rimini (oggi in zona 2) è risultata in area epicentrale di forti terremoti (con valori di magnitudo stimati tra 5.6 e 5.9) ed è stata interessata da danni gravi e diffusi all'edilizia in muratura
- l'ultimo forte terremoto (1916) successo durante la Prima guerra mondiale, fu anche per un po' camuffato da bombardamento aereo
- 4 successivi decreti inserirono Rimini e i comuni della Riviera nell'elenco di I e II categoria sismica:
 - **RD L. 13 marzo 1927 n. 431**, Norme tecniche ed igieniche di edilizia per le località colpite dai terremoti
 - **RD L. 3 aprile 1930 n. 682**, Nuove norme tecniche ed igieniche di edilizia per le località sismiche
 - **RD L. 25 marzo 1935 n. 640**, Nuovo testo delle norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti.
 - **RD L. 22 novembre 1937 n. 2105**, Norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dai terremoti.



MAPPE: UN ARCHETIPO DI ITALIANITA'

DM 18 novembre 1938: Cancellazione di alcuni Comuni dall'elenco nei quali è obbligatoria l'osservanza delle speciali norme sismiche:

"... sono cancellati dall'elenco dei Comuni, allegato al Regio decreto - legge 22/11/1937, n. 2105, nei quali è obbligatoria l'osservanza delle speciali norme tecniche di edilizia per le località sismiche di prima e seconda categoria approvate con Regio decreto-legge medesimo, i Comuni di Rimini, Cattolica, Misano in Villa Vittoria, Riccione...."

DM 7 agosto 1941: Cancellazione dall'elenco dei Comuni per i quali è obbligatoria l'osservanza di speciali norme tecniche sismiche di seconda categoria di Comuni in provincia di Pesaro-Urbino:

"... d'altra parte, l'assoggettamento delle norme del decreto citato costituisce un notevole intralcio allo sviluppo edilizio di quella zona, di cui vari centri sono importanti stazioni balneari ..."

ADVANCED RESEARCH, CONSULTING AND SOLUTIONS IN ENGINEERING



VULNERABILITA' DEI CAPANNONI

Dal D.L. 74/2012 art.3, comma 8:

- mancanza di collegamenti anti-sismici tra elementi strutturali verticali ed elementi strutturali orizzontali e tra questi ultimi
- presenza di elementi di tamponatura prefabbricati non adeguatamente ancorati alle strutture principali
- presenza di scaffalature non controventate portanti materiali pesanti che possano, nel loro collasso, coinvolgere la struttura principale causandone il danneggiamento e il collasso



VULNERABILITA' DEI CAPANNONI



VULNERABILITA' DEI CAPANNONI



ESPOSIZIONE: IL PATRIMONIO INDUSTRIALE

In Italia ci sono circa **1100 stabilimenti a Rischio di Incidente Rilevante** (R.I.R., coperti dalle Direttive 501/Seveso e 82/Seveso II).

La Commissione Grandi Rischi il 02/7/2012 ha verbalizzato:

- gli stabilimenti industriali tipo R.I.R. comprendono sia fabbricati di tipo civile (capannoni, uffici), sia tipologie di "elementi di processo" quali serbatoi, torce, forni a cattedrale, colonne di reattori e raffinazione, ciminiere, compressori ecc..., tradizionalmente **NON assoggettati a verifiche sismiche**
- nella pratica comune l'analisi degli eventi NA-TECH è inserita nei Rapporti di Sicurezza (CTR) in modo qualitativo (soprattutto per sversamenti e incendi) ed è praticamente assente l'evento sismico
- chi attualmente effettua verifiche (es. serbatoi idrocarburi) adotta normativa internazionale (es. API, ASTM, EC...)
- si sollecita la Protezione Civile ad adottare provvedimenti a medio termine...



ESPOSIZIONE: IL PATRIMONIO INDUSTRIALE



Kobe earthquake, 1995



Tohoku earthquake, 2011

IMPREVEDIBILITA' DEGLI EVENTI

Nel campo degli incidenti originatisi da eventi naturali come i terremoti sorge la necessità di valutare la presunta **"eccezionalità"** degli eventi medesimi intesi come causa di un danno, ossia la loro **imprevedibilità**.

- **EVENTI "BIANCHI"**

Sono i fenomeni conosciuti e prevedibili, ove il nesso causale è diretto e deterministico. Es.: incidente d'auto, crollo indotto da esplosione ecc...

- **EVENTI "GRIGI"**

Sono le incognite "conosciute", ossia quelle che sappiamo trattare ingegneristicamente mediante la statistica, le analisi semiprobabilistiche di vario livello e le analisi di rischio. Es.: terremoti, alluvioni...

- **EVENTI "NERI"**

Sono le cosiddette incognite incognite, ossia quelle delle quali non si conosce nemmeno l'esistenza prima del loro manifestarsi. Es.: attentati alle torri gemelle, tsunami in Giappone - Fukushima.



IMPREVEDIBILITA' DEGLI EVENTI

EVENTI "GRIGI"

Il periodo di ritorno rappresenta l'intervallo di tempo di riferimento entro il quale intercorrono due eventi di pari entità. Questo dato, riferito a qualsiasi evento naturale come il sisma, le alluvioni, le valanghe, viene comunemente utilizzato e valutato in campo ingegneristico per il dimensionamento delle opere in ottica semiprobabilistica.

Statisticamente gli eventi di entità più intensa sono quelli con un periodo di ritorno maggiore e cioè che si verificano più di rado. Essi vanno correlati al "tempo di vita" del bene.

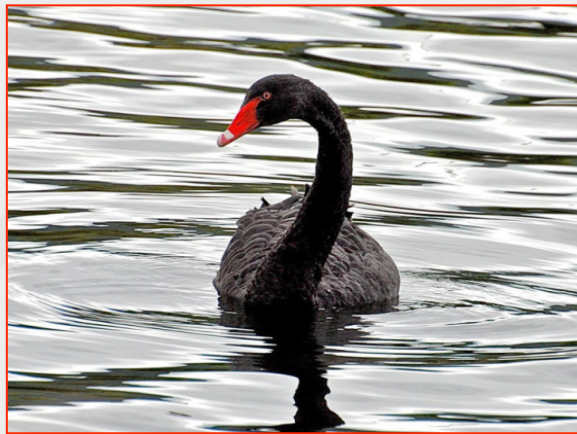
Per il dimensionamento di edifici di civile abitazione si fa generalmente riferimento ad un periodo di ritorno pari ad 50 o 100 anni ossia pari ad almeno la vita utile media del fabbricato. In altre parole l'edificio viene progettato per resistere a tutti gli eventi che si verificano con periodicità di circa 100 anni (edifici strategici anche 200-500 anni).



IMPREVEDIBILITA' - I CIGNI NERI

EVENTI NERI: Ci si riferisce al «*tail problem*», ossia al problema delle code delle distribuzioni di probabilità e all'incontrollabile aleatorietà di eventi al di fuori della massima variazione della campana gaussiana.

Eventi di coda fuori dai modelli previsionali: prima guerra mondiale, attentati dell' 11/9/2001, crisi finanziaria del 2008, spegnimento reattore Fukushima...



Il cigno nero. Aver incontrato soltanto cigni bianchi non esclude che esistano cigni neri (K. Popper).

L'economista Nassim Taleb (N.N. Taleb, *Black Swan*, Random Press, 2007) ha definito «cigno nero» un evento imprevedibile non conosciuto (l'incognita incognita) ed ha strutturato una teoria epistemologica sull'argomento.

IMPREVEDIBILITA' - I CIGNI NERI

I cigni neri appaiono in situazioni distinte dai contesti regolari dove invece i forti meccanismi di contro-reazione del sistema ne impediscono la nascita

Essi sono eventi singolari, ove l'assenza di informazioni a disposizione su eventi precedenti e quindi sulla loro probabilità (e persino sulla loro intrinseca esistenza) rende praticamente inutili i classici metodi di analisi del rischio

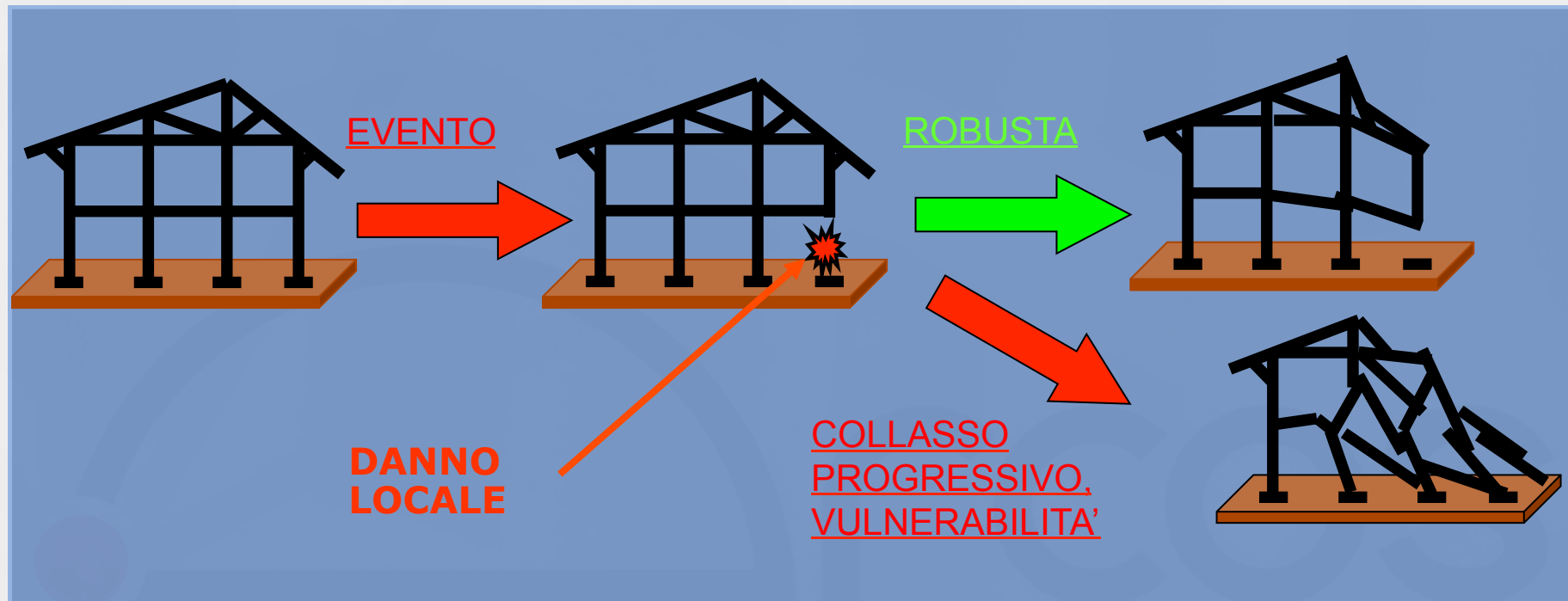
I cigni neri sono le «*incognite incognite*», nel senso che si tratta di eventi dei quali non sappiamo di non sapere, a differenza degli eventi stocastici o pseudo-deterministici (*cigni grigi*) la cui natura è nota e la cui probabilità è deducibile dall'esperienza precedente o da una modellistica adeguata

Il concetto di cigno nero è in ogni caso riferito ad un determinato osservatore: il medesimo evento può essere al contempo "nero" per il grande pubblico e "grigio" (evento noto, ma di probabilità incognita) per alcuni esperti. Gli eventi "neri" dovrebbero diventare grigi, una volta accaduti....



ROBUSTEZZA DELLA STRUTTURA

Nei confronti degli eventi imprevisti è fondamentale la robustezza della struttura, intesa come la capacità di non propagare a grande scala un evento di danno locale non prevedibile (analogia con la tenacità dei materiali...)



ADVANCED RESEARCH, CONSULTING AND SOLUTIONS IN ENGINEERING DISPROPORTIONATE COLLAPSE

PROGETTAZIONE *CONSEQUENCE-BASED*

La tradizionale progettazione delle strutture civili non è adeguata nei confronti degli eventi imprevisti. Anche il moderno approccio "*performance-based*" del "*capacity design*" è basato sulla verifica prestazionale (resistenza, duttilità, spostamenti, crack opening ecc...) delle membrature della struttura integra

L'eventualità di collasso/rimozione di alcuni elementi, conseguenza di eventi NON previsti tra gli input di sollecitazione progettuali non è presa in conto nel calcolo strutturale corrente

Al fine di evitare danni sproporzionati alle cause (fino al collasso globale della struttura) è invece **fondamentale valutare a priori le CONSEQUENZE** di eventi locali anche imprevedibili

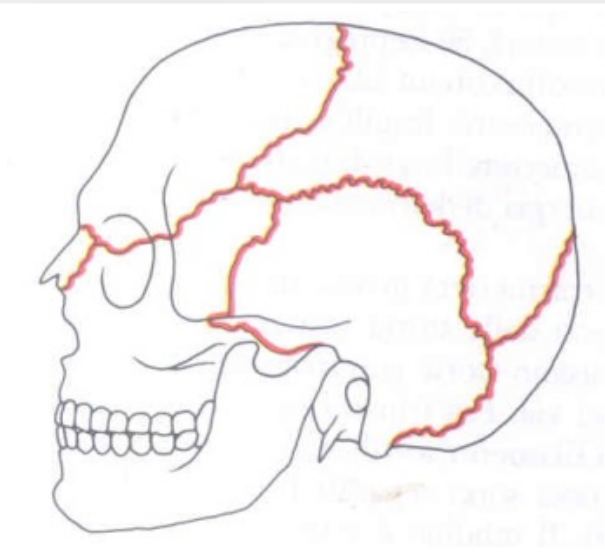
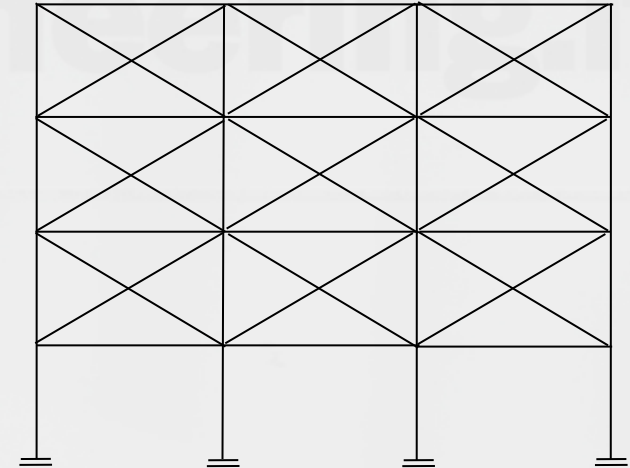
In tal modo si verifica se esistono percorsi di carico alternativi (ALP) o se un'efficace compartimentazione riesce a circoscrivere il danno alla zona di innesco...

ADVANCED RESEARCH, CONSULTING AND SOLUTIONS IN ENGINEERING

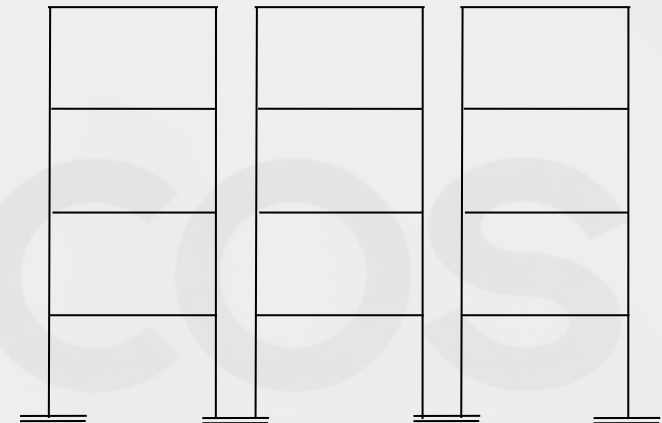


RIDONDANZA O COMPARTIMENTAZIONE

Ridondanza (alternate load path...)



Compartimentazione
(non sempre efficace
per azioni globali
inerziali - sisma)



NECESSITA' DI AGGIORNAMENTO DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

- i valori di PGA hanno superato il limite massimo;
- i contenuti in basse frequenze delle componenti orizzontali (depositi sedimentari) vanno presi in conto nella mappatura di pericolosità;

VULNERABILITA' ED ESPOSIZIONE DEL PATRIMONIO INDUSTRIALE

- i capannoni pre-2005 hanno connessioni puramente attrittive tra gli elementi;
- non si è proceduto alle verifiche di vulnerabilità (da OPCM 3274/2003...);
- gli impianti R.I.R. non sono stati verificati;

NUOVO APPROCCIO ALLA SICUREZZA STRUTTURALE

- il grado di rischio accettato con i metodi semi-probabilistici è basato quasi esclusivamente sulla resistenza;
- non vengono presi in conto gli effetti domino e la robustezza strutturale;
- non si valutano gli scenari delle conseguenze;



LE PECULIARITA' DEL PATRIMONIO ITALIANO

- **Peculiarità assoluta del costruito** (stratificazione storica, artigianalità e industria, frammentazione e valore intangibile del patrimonio...)
- **Patrimonio storico e monumentale:** stimato in Italia il 63% del patrimonio mondiale...
- **Fragilità e varietà del territorio:** (sismicità, rischio idrogeologico, distribuzione uniforme della popolazione...)

da cui:

- **Forti potenzialità di riduzione dell'impatto ambientale ed energetico del settore** (riciclo, nuovi materiali)
- **Enormi spazi di riqualificazione del patrimonio esistente:** efficienza energetica, fruibilità e accessibilità, sicurezza...
- **Quarta dimensione:** il sottosuolo...



SMART CONSTRUCTIONS ?

I recenti bandi europei (*Future Cities*) e nazionali (*Smart Cities*) indicano alcune strade:

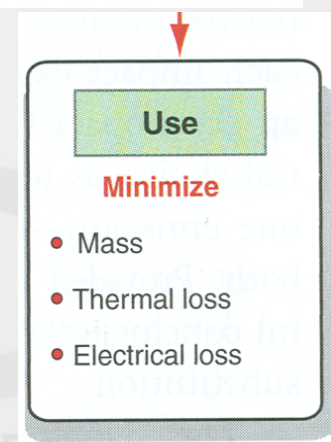
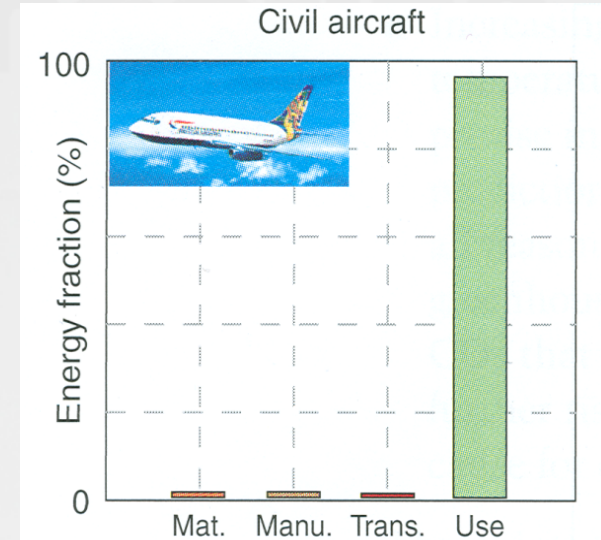
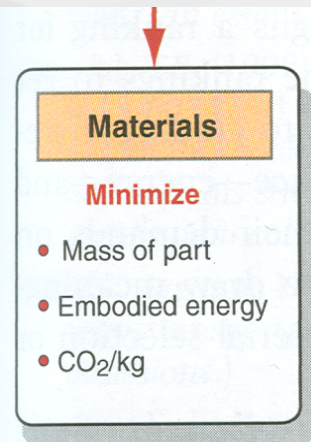
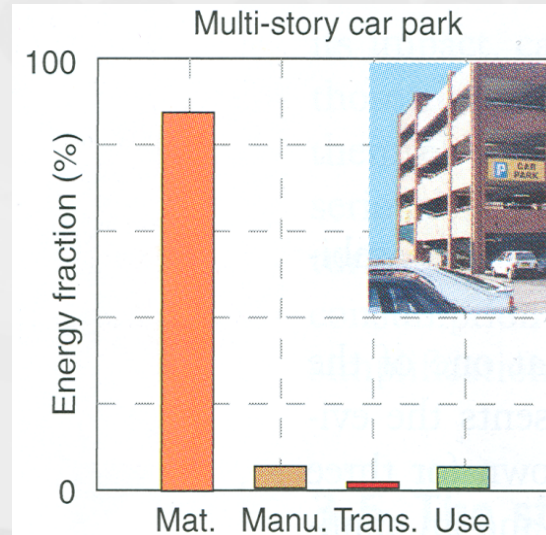
- **Risparmio energetico:** isolamento, riduzione del carbon footprint e dell'embodied energy, smart grids, riduzione dei pesi...
- **Reperimento e immagazzinamento di energia:** fonti alternative, efficienza...
- **Multifunzionalità dei materiali:** miglioramento delle performance, sensoristica, pluralità di proprietà (strutturali, termiche, acustiche, conduttività ecc...), self-healing...
- **Sostenibilità:** LCA, riuso, riciclabilità...
- **Durabilità**
- **Prefabbricazione / Industrializzazione**



IMPATTO ENERGETICO DELLE COSTRUZIONI

% di consumo di energia

Strutture in c.a. -
il 90% dell'energia
totale è spesa per i
materiali (produzione
e costruzione), come
embodied energy /
emissione di CO₂



approccio razionale
alla progettazione
eco-sostenibile

INDICE ECO-MECCANICO DELLE COSTRUZIONI

- Rilem TC 172-EDM (*Environmental Design Methods in Materials and Structural Engineering*, 1999):
- Un approccio è il Life Cycle Assessment (LCA), richiamato anche nelle prossime Norme Tecniche sulle Costruzioni (in termini di vita utile...);
- Un altro è la definizione di indici "olistici" che tengano conto sia delle prestazioni meccaniche (resistenza, duttilità, durabilità) che di quelle eco-energetiche (embodied energy, CO₂), come l'*Eco-mechanical Index* (Chiaia & Fantilli, 2011):

$$EMI = \frac{\text{Energia embodied} + CO_2 \text{ emessa in } 1 m^3}{\text{resistenza} / \text{duttilità} / \text{durabilità}}$$



IMPATTO DEI MATERIALI AVANZATI

% di crescita nei vari settori attribuibile alla tecnologia dei materiali avanzati

	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2030
ICT	15	25	40	55	65	75	85
Energy	10	15	30	45	55	65	70
Biotechnology	5	10	20	30	45	55	65

fonte: Moskowitz, « The Advanced Materials Revolution », John Wiley & Sons Inc, 2009

e nelle costruzioni ??

ADVANCED RESEARCH, CONSULTING AND SOLUTIONS IN ENGINEERING



Accezione ampia della “**smartness**” nelle costruzioni:

- **Sicurezza:** peculiarità e fragilità del patrimonio italiano; nuovi approcci di calcolo e scenari consequence-based;
- **Ambiente/energia:** indici eco-meccanici; LCA;
- **Progettazione e produzione:** ridefinire una capacità “artigianale” pur con l'uso corretto delle nuove tecnologie;



Design olistico: coniugare i tre aspetti suddetti, attraverso un patto tra committenti/proprietari, progettisti e imprese, ad alto valore aggiunto economico e sociale