

# smart village *in tour*

NAPOLI, 10 aprile 2013

**SOSTENIBILITÀ E VULNERABILITÀ SISMICA**

**prof. Giulio ZUCCARO**



***Università degli Studi di Napoli Federico II***

• ***Centro Studi PLINIVS***

(Centro Studi Per L'Ingegneria Idrogeologica, Vulcanica e Sismica)

• **Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura**



# Life Cycle Assessment (LCA)

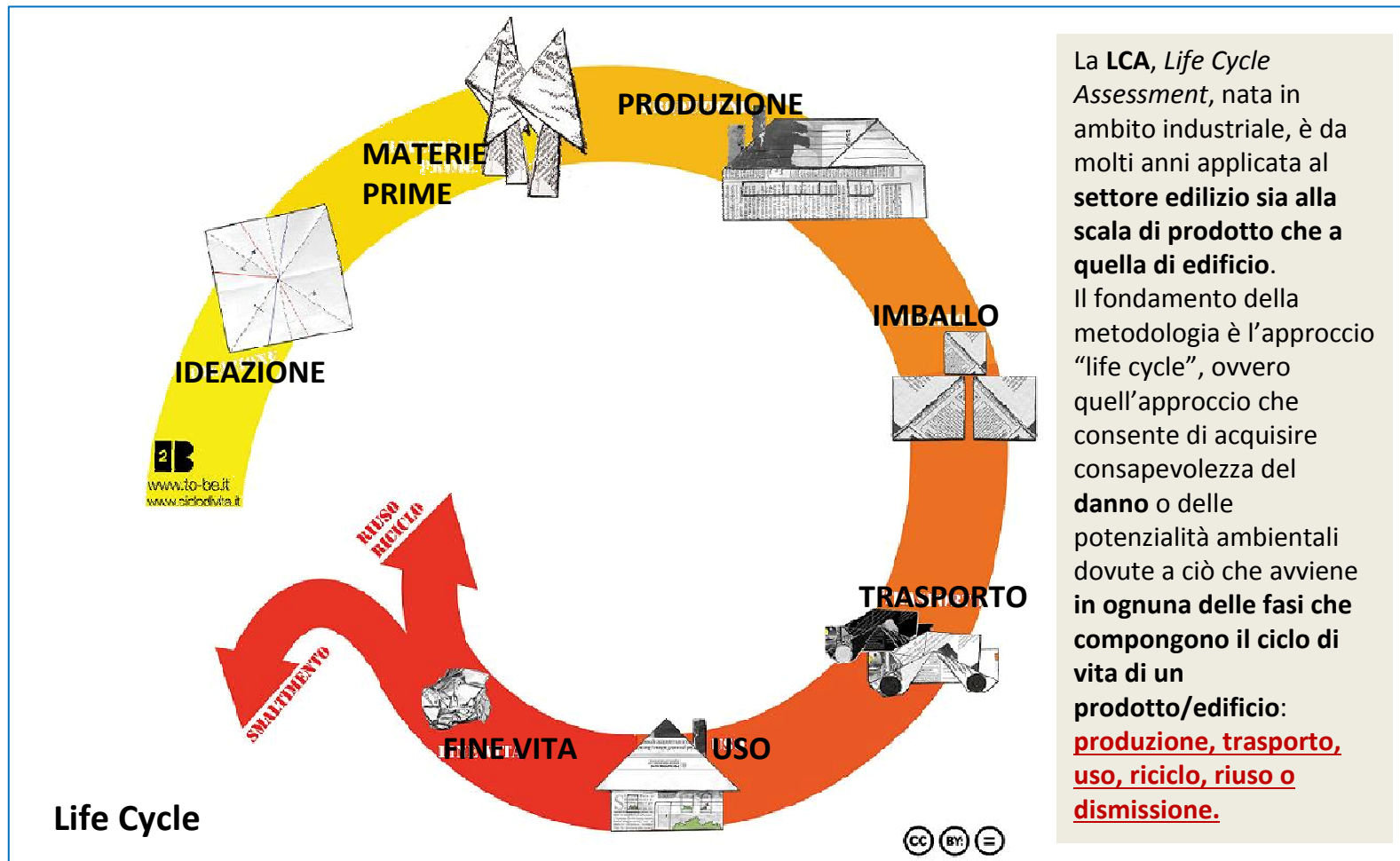
G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

## ASPETTI FONDAMENTALI DELL'EDILIZIA SOSTENIBILE

IMPATTO AMBIENTALE

IMPATTO ECONOMICO

SALUTE E COMFORT  
DEGLI ABITANTI



Life Cycle Assessment (LCA)

# Life Cycle Assessment (LCA)

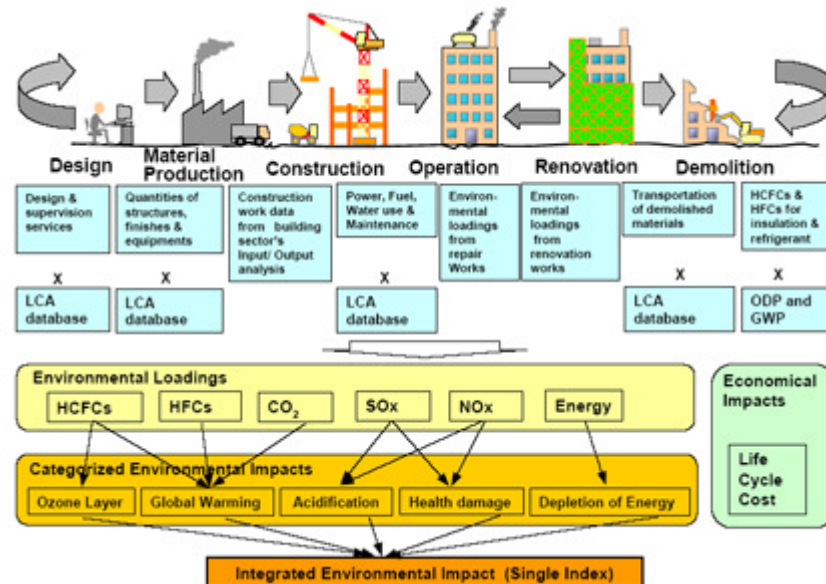
G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

## EDILIZIA SOSTENIBILE

Gli **STRUMENTI DI VALUTAZIONE** utilizzati nella analisi LCA identificano parametri di riferimento per le diverse opzioni tecniche, **al fine di orientare il processo decisionale e le scelte progettuali.**

Attualmente, mentre nel caso di prodotti singoli e valutazioni di sistemi è possibile fare riferimento a un insieme di protocolli comuni e strumenti affidabili, per **le valutazioni LCA relative all'intero edificio le metodologie e le procedure non sono così raffinate.**

Ciò a causa della **elevata complessità dovuta all'interazione di vari sottosistemi** (struttura, elementi di finitura, ecc.), ciascuno con diverse implicazioni in relazione agli impatti ambientali nel ciclo di vita

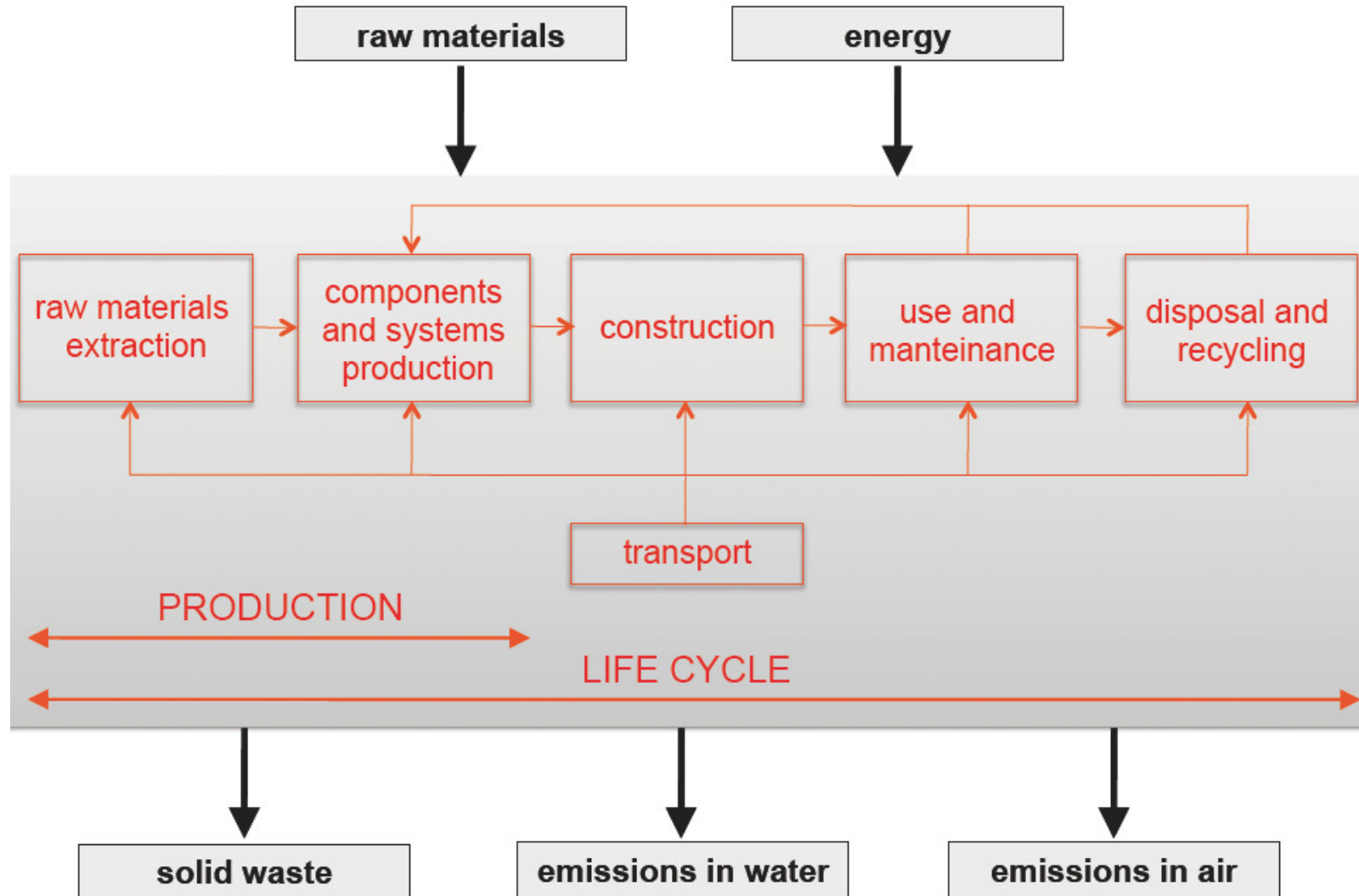




# Life Cycle Assessment (LCA)

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

Life Cycle Assessment (LCA)

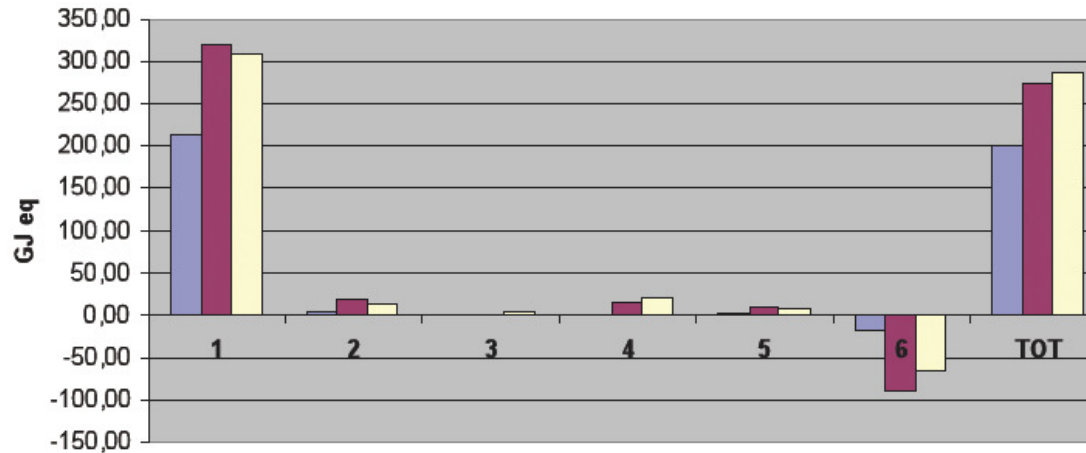




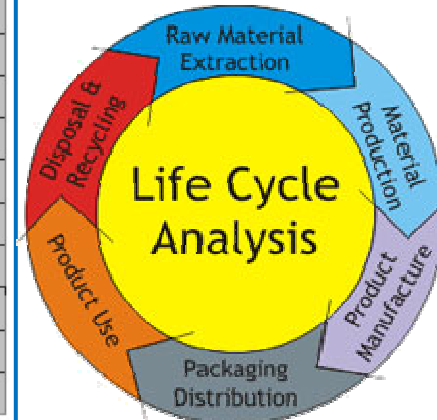
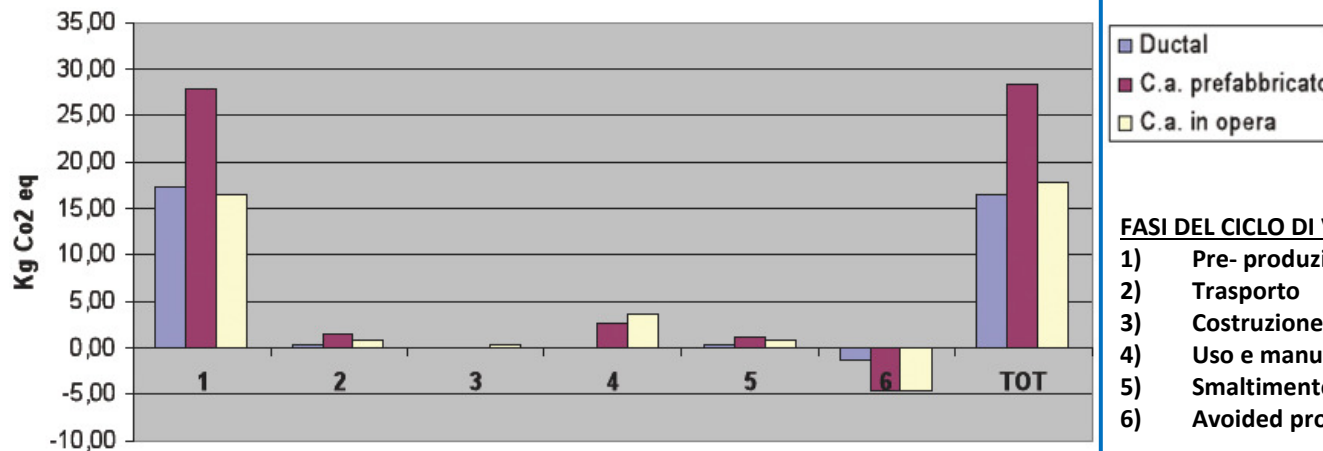
# Life Cycle Assessment (LCA)

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

**CONFRONTO DELL'ENERGIA RICHIESTA NEL CICLO DI VITA PER DIFFERENTI SOLUZIONI COSTRUTTIVE IN C.A. (100anni)**



**CONFRONTO DELLE EMISSIONI DI GAS SERRA NEL CICLO DI VITA PER DIFFERENTI SOLUZIONI COSTRUTTIVE IN C.A. (100 anni)**



■ Ductal  
■ C.a. prefabbricato  
■ C.a. in opera

**FASI DEL CICLO DI VITA**

- 1) Pre- produzione e produzione
- 2) Trasporto
- 3) Costruzione
- 4) Uso e manutenzione
- 5) Smaltimento e riciclo
- 6) Avoided products



# Life Cycle Assessment (LCA)

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

## INTERVENTI DI RETROFIT

In generale, gli **interventi di retrofit** sono "intrinsecamente" considerati come **sostenibili**, in quanto possono limitare gli impatti legati allo smaltimento di parti dell'edificio (a partire dagli elementi strutturali), evitando il consumo di materiali ed risorse energetiche relative alla loro costruzione ex-novo.

I **vantaggi delle misure retrofit possono tuttavia essere annullate da errori di valutazione** sulla vita di un edificio in relazione alla sua integrità strutturale ed alla sua capacità di garantire i requisiti di sicurezza e di affidabilità.

## FATTORI CHIAVE

**Degrado** degli elementi che costituiscono l'edificio per:

- obsolescenza degli elementi;
- danni strutturali occorsi nel tempo.

**Vulnerabilità** ai rischi naturali in relazione a:

- tipologia costruttiva;
- scenario di danno atteso.

## IMPORTANZA DEI FATTORI DI VULNERABILITA'

Una corretta analisi dei **fattori di vulnerabilità** degli edifici contribuisce a orientare le scelte progettuali per interventi di ristrutturazione, introducendo valutazioni sull'adeguatezza delle azioni di retrofit.



# Life Cycle Assessment (LCA)

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

## VULNERABILITA' SISMICA e LCA: MEDEA



**Rischio Sismico = (Pericolosità) x (Esposizione) x (Vulnerabilità)**

### PERICOLOSITÀ (O HAZARD)

PROBABILITÀ CHE IN UNA CERTA AREA ED IN UN CERTO PERIODO DI TEMPO SI VERIFICHINO UN EVENTO SISMICO DI DETERMINATE CARATTERISTICHE;

### ESPOSIZIONE

ESTENSIONE, QUANTITÀ E QUALITÀ DEI DIVERSI ELEMENTI ANTROPICI CHE COMPONGONO LA REALTÀ TERRITORIALE (POPOLAZIONE INSEDIATA, EDIFICI, SISTEMI DI INFRASTRUTTURE, ECC.), LE CUI CONDIZIONI E/O IL CUI FUNZIONAMENTO POSSONO ESSERE DANNEGGIATI, ALTERATI O DISTRUTTI DA UN CERTO EVENTO SISMICO;

### VULNERABILITÀ

PROPENSIONE DI PERSONE, MANUFATTI, ATTIVITÀ O BENI A SUBIRE DANNI O MODIFICAZIONI PER EFFETTO DI UN EVENTO SISMICO.

MISURA DELLA PERDITA O DELLA RIDUZIONE DI EFFICIENZA A SVOLGERE LE FUNZIONI CHE NORMALMENTE VENGONO ESPLICATE A REGIME.

**MEDEA** è uno strumento di valutazione della vulnerabilità sismica.

Esso consente anche l'individuazione di possibili soluzioni di mitigazione in funzione dei danni o di fattori di vulnerabilità individuati.

Per ogni soluzione è possibile analizzare gli aspetti relativi agli impatti ambientali ed economici attesi che possono poi essere integrati nel modello LCA.

**L'OBIETTIVO** è di favorire **retrofit strutturali basati su soluzioni eco-efficienti** che riducano al minimo il consumo di risorse materiali ed energetiche nel ciclo di vita.



# Medea: Manuale di Esercitazioni sul Danno Ed Agibilità per edifici ordinari

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)



## MEDEA

Strumento multimediale per l'addestramento, contenente un glossario di termini tecnici, un archivio immagini, una sezione di analisi dei danni sismici in relazione a meccanismi di collasso, una sezione di esercitazioni sull'agibilità.



### Coordinatore e responsabile del progetto

**Arch. Filomena Papa**

(Dipartimento Protezione Civile Nazionale)

*filomena.papa@protezionecivile.it*

### Consulente scientifico e coordinatore PLINIVS

**Prof. Arch. Giulio Zuccaro**

(Centro Studi PLINIVS, Università di Napoli "Federico II")

*zuccaro@unina.it*

### Contributi

Prof. ing. Robin Spence

(Università di Cambridge)

Prof. ing. Alessandro Baratta

(Università di Napoli Federico)

Prof. ing. Mauro Dolce

(Università di Napoli "Federico II")





# Introduzione



- La **valutazione del danno** sugli edifici causato da un evento sismico costituisce problematica di centrale interesse nell'ambito della comunità scientifica ed uno dei principali fattori per le valutazioni macrosismiche.
- L'attenzione dei ricercatori è in particolare rivolta all'individuazione di criteri e metodi che consentano **un'oggettività di valutazione**, in base alla quale formulare le più idonee correlazioni tra il parametro di misura del cimento sismico ed il danno.
- Allo stato attuale esistono notevoli incertezze ed ambiguità sia nella definizione dei gradi di danno da assumere sia nell'identificazione dello stesso da parte degli operatori preposti alle campagne di sopralluogo.
- Inoltre nella fase di emergenza post-sisma i **tecnici** sono spesso **chiamati a prendere decisioni in merito all'effettiva agibilità degli edifici**, pur non essendo ancora stati definiti criteri "oggettivi" in grado di fornire indicazioni sui livelli di sicurezza richiesti caso per caso.

# Principali Obiettivi



G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)



Manuale per una più omogenea categorizzazione sia dei singoli elementi strutturali delle costruzioni, sia delle tipologie di danno per ciascuno di essi.



Strumento didattico da utilizzare per la formazione di tecnici preposti a verifiche di agibilità in fase di emergenza (orientato verso la definizione di criteri standard di valutazione) e/o a campagne di rilievi macrosismici

In questi casi l'univocità del giudizio è molto importante

- per gli aspetti scientifici legati ad una misura standard del danno (utile per migliorare le funzioni di vulnerabilità e per una maggiore armonizzazione nella definizione dei campi macrosismici);
- Per gli aspetti sociali di protezione civile derivanti da un'accurata valutazione del danno e dell'agibilità degli edifici.



Strumento di supporto per una scheda di agibilità più avanzata rispetto alla scheda attualmente in uso in Italia



Riferimento didattico da utilizzare a differenti livelli nell'ambito di corsi universitari nel campo dell'ingegneria sismica e della gestione dell'emergenza.



# La struttura logica di MEDEA

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

**Medea: un manuale multimediale per la  
valutazione del danno sismico**

L'intero prodotto è strutturato in modo che all'utente sia consentita una graduale acquisizione di conoscenza.

Le diverse sezioni dello strumento didattico multimediale realizzano un percorso guidato di formazione in grado, per passi successivi, di creare nei fruitori una sensibilità sia di interpretazione delle caratteristiche tipologiche dell'edificio sia di interpretazione e valutazione del danno essenziali al giudizio finale di agibilità.

MEDEA è distinto in sezioni principali, organizzate secondo un principio di continuità logica e strettamente interconnesse tra loro, grazie a funzionalità di ricerca, interrogazione e collegamenti ipertestuali.



**MEDEA**  
**Principali sezioni**



# Glossario dei termini

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

**Medea: un manuale multimediale per la valutazione del danno sismico**



**Arco**

- Categoria**  
L'edificio ed i suoi componenti strutturali e non
- Definizione**  
Struttura muraria delimitata superiormente da una superficie curva, estradosso, inferiormente da una superficie anch'essa curva, intradosso, e lateralmente da due piani, piani frontali.
- Note**  
L'arco è caratterizzato dalla luce o corda e dalla freccia o monta; in funzione del rapporto ( $r$ ) tra freccia e semicorda si ha l'arco a tutto sesto ( $r=1$ ); a sesto ribassato ( $r>1$ ); a sesto acuto ( $r<1$ ).
- Bibliografia**  
De Fez A., Il consolidamento degli edifici, Napoli 1990
- Termini collegati**  
Catena  
Estradosso  
Freccia

Ricerca dei termini in ordine alfabetico o per categoria:

- ➔ L'edificio ed i suoi componenti
- ➔ Il danno alle strutture edilizie
- ➔ Attrezzature di cantiere in emergenza
- ➔ Interventi provvisionali
- ➔ Ambiente

Glossario dettagliato dei principali termini tecnici di frequente utilizzo in campo tecnico - scientifico

Ogni termini è associato a fotografie e/o grafici, testi esplicativi, e collegamenti ad altri termini del glossario

# Archivio immagini

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

**Medea: un manuale multimediale per la valutazione del danno sismico**

Una ricca antologia di immagini documentative e di diverse tipologie strutturali e di differenti livelli di danno sismico

Interrogazioni su singoli campi di informazioni o su combinazioni di essi

Possibilità di estrarre sottoinsiemi di immagini aventi particolari caratteristiche

Ogni fotografia dell'archivio è associata ad un set di informazioni

# Meccanismi di collasso



G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)



L'**Abaco dei meccanismi** di collasso nasce da un accurato lavoro di sintesi, nell'ambito del quale si è cercato di classificare i principali meccanismi di collasso riconoscibili per una costruzione ordinaria. Tali meccanismi sono stati innanzitutto classificati come:

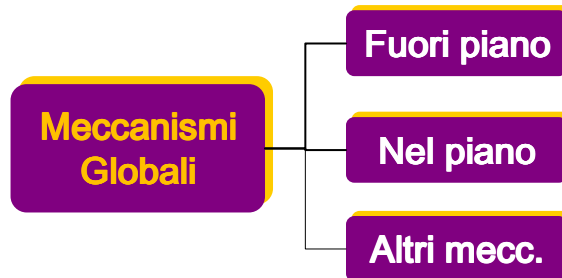
**Meccanismi globali** : meccanismi che interessano la struttura nel suo complesso e, quindi relativi all'evolversi di quadri fessurativi in un numero di elementi sufficiente a determinare la totale compromissione dell'equilibrio statico e dinamico del sistema strutturale.

**Meccanismi Locali** : meccanismi che interessano parti marginali della struttura ed il cui evolversi, pur pregiudicando il singolo elemento, in genere non compromette l'intero equilibrio strutturale.

# Meccanismi di collasso

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)











## Muratura



**Fuori del piano:** si manifestano attraverso un cinematismo fuori del piano di una o più pareti della scatola muraria che, soggetta ad azioni sismiche, perde la propria configurazione originaria. Un simile meccanismo spesso denota il mancato ammorsamento fra i muri di facciata e quelli ortogonali, eventualmente favorito dall'azione spingente di solai e coperture.

**Nel piano:** si manifestano quando le pareti della scatola muraria, sollecitate da azioni complanari in entrambi i versi, rispondono attraverso l'insorgere della classiche lesioni ad x, le quali evidenziano la formazione di bielle compresse diagonali. Tali meccanismi sono da ricondurre alla scarsa capacità di reagire a trazione della muratura.

**Altri meccanismi:** meccanismi che non sono direttamente riconducibili a meccanismi nel piano o fuori del piano, ma che comunque possono interessare la struttura nel suo complesso, dando vita a collassi globali

MECCANISMI GLOBALI					
1	Da Taglio della parete per azioni nel piano		2	Da Taglio della parete per azioni nel piano localizzato solo nella zona alta	
3	Da Ribaltamento della Intera Parete		4	Da Ribaltamento Parziale della Parete	
5	Da Instabilità (verticale) della parete		6	Da Rottura a flessione della parete	
7	Da Scorrimento di piano orizzontale		8	Da cedimento fondale	
9	Da irregolarità tra strutture adiacenti		10	Per sfilamento delle travi del solaio dalla parete di supporto	

# Meccanismi di collasso

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

## Muratura

### Meccanismi Locali

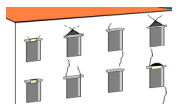
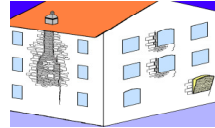
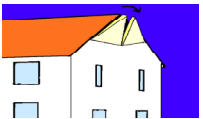
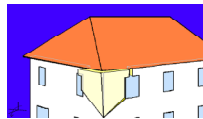
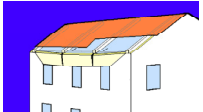

Per dislocazioni locali

Per elementi spingenti

**Per elementi spingenti:** sono determinati dall'azione di singoli elementi che producono spinte orizzontali sulle strutture su cui insistono: sono esempi i puntoni di un tetto e le strutture voltate la cui azione spingente non sia contrastata da adeguati collegamenti.

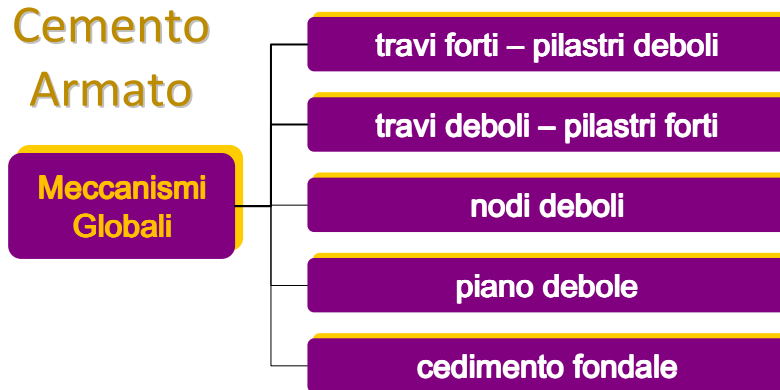
**Per dislocazioni locali:** sono quelli, per esempio, che si manifestano per cedimento di archi, piattabande o in porzioni di struttura caratterizzate da irregolarità strutturali di varia natura, cui spesso sono connesse significative variazioni di rigidezza (esempio: consolidamenti inopportuni, inserimento di strutture in cemento armato di rigidezza incongruente con quella delle murature, etc.). Il fenomeno comporta generalmente la disgregazione e l'espulsione del materiale nelle zone interessate

Medea: un manuale multimediale per la valutazione del danno sismico

MECCANISMI LOCALI					
11	Per cedimento di architravi e/o piattabande		12	Da irregolarità del materiale, debolezze locali, etc.	
13	Da ribaltamento della parete del timpano		14	Da ribaltamento della parte alta del cantonale	
15	Da ribaltamento della fascia sottotetto		16	Da rotazione delle spalle di volte e archi	



# Meccanismi di collasso



**Medea: un manuale multimediale per la valutazione del danno sismico**

MECCANISMI GLOBALI					
MG1	Meccanismo travi forti – pilastri deboli		MG3	Meccanismo per nodi deboli	
MG2A	Meccanismo travi deboli – pilastri forti per flessione nelle travi		MG2A	Meccanismo di piano debole per flessione nei pilastri	
MG2B	Meccanismo travi deboli – pilastri forti per taglio nelle travi		MG4B	Meccanismo di piano debole per schiacciamento dei pilastri	
MG2C	Meccanismo travi deboli – pilastri forti per sfilamento delle armature		MG4C	Meccanismo di piano debole per taglio nei pilastri	
MG5	Meccanismo per cedimento fondale				

# Meccanismi di collasso

Cemento

Armato

Meccanismi  
Locali

alle parti strutturali

alle tamponature/tramezzi

collasso delle coperture

Medea: un manuale multimediale per la  
valutazione del danno sismico

MECCANISMI LOCALI					
ML1A	Meccanismi per martellamento tra strutture adiacenti		ML2A	Meccanismi alle tamponature/tramezzi - per rottura nel piano	
ML1B	Meccanismi per l'azione di puntone in testa ai pilastri da parte delle tamponature		ML2B	Meccanismi alle tamponature/tramezzi - per rottura fuori del piano	
ML1C	Meccanismi per caduta del solaio per eccessivo spostamento in corr. di una seggiola di giunto		ML3A	Meccanismi di collasso delle coperture - per rottura della muratura portante	
			ML3B	Meccanismi di collasso delle coperture - per l'effetto spingente di coperture a falda	

# Meccanismi di collasso

Cemento

Armato

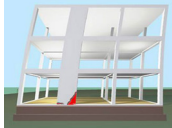

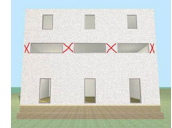
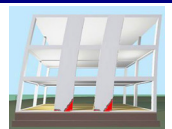
Meccanismi  
su pareti

su pareti singole

su pareti accoppiate

pareti/telai

Medea: un manuale multimediale per la  
valutazione del danno sismico

MECCANISMI SU PARETI					
MP1A	Meccanismi su pareti singole - nel piano per flessione della parete		MP1B	Meccanismi su pareti singole - nel piano nel piano per taglio della parete	
MP1C	Meccanismi su pareti singole - nel piano nel piano per soll. taglianti concentrate		MP1D	Meccanismi su pareti singole - nel piano nel piano per scorrimento orizzontale	
MP1E	Meccanismi su pareti singole - nel piano nel piano per cedimento fondale		MP1F	Meccanismi su pareti singole - nel piano per ribaltamento fuori del piano	
MP2A	Meccanismi su pareti accoppiate - di parete (pareti deboli - travi forti)		MP2B	Meccanismi su pareti accoppiate - di trave (pareti forti - travi deboli)	

# Meccanismi di collasso



G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)



Meccanismi di collasso

COD. **1** NOME MECCANISMO  
Da **taglio** della parete per **azioni nel piano**

TIPO  
Nel piano



CAUSE  
Meccanismo che dipende dalla resistenza a **taglio** del pannello murario e si produce quando la parete è soggetta ad **azioni complanari** cicliche in entrambi i versi. Il meccanismo si manifesta con l'insorgenza delle classiche **lesioni ad X**, le quali evidenziano la formazione di **bielle compresse** diagonali. Ciò nasce dalla scarsa capacità di reagire a **sforzi di trazione** da parte del materiale murario e quindi dall'impossibilità di trasferire lo **sforzo tagliante** lungo le **direttrici isostatiche** di trazione. Pertanto, parallelamente alle **direzioni isostatiche** di compressione, insorgono **lesioni diagonali** ai margini della **biella compressa** reagente. Il meccanismo (e le **lesioni** ad esso associate) si localizza maggiormente ai piani inferiori, dove la maggiore massa delle pareti si traduce sotto l'eccitazione sismica in una maggiore sollecitazione orizzontale **ciclica**.

NOTE  
La "duttilità" riconosciuta all'edificio murario fa sì che alcune murature conservino la loro capacità portante anche in presenza di estese **lesioni**. Alla muratura si riconosce la possibilità di assorbire energia attraverso considerevoli dislocazioni, pertanto il **collasso** associato a questo tipo di meccanismo avviene per progressivo incremento del **quadro fessurativo** fino ad assumere una configurazione geometrica non più atta a sopportare i **carichi verticali** (le **fessurazioni** prodotte contribuiscono in maniera decisiva all'innesco di **cinematismi fuori dal piano** di porzioni di muro). Le **lesioni** associate a tale meccanismo possono localizzarsi sia nei **maschi murari** che nelle **fasce di piano** (in queste ultime ciò accade soprattutto quando sono presenti riduzioni della **sezione orizzontale**).

Foto **1** **2** **3** **4** **5** **6** **7** **8** **9**



F\_103

meccanismi di collasso, collegati ai danni sismici, e descritti con schemi, note e immagini fotografiche

# Abaco dei Danni (Muratura)

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

### Abaco dei danni alle strutture Strutture Verticali

Verticali | Orizzontali | Scale | Non strutturali

COD	DESCRIZIONE DEL DANNO	LIVELLO DI DANNO		
		Leggero	Medio/grave	Gravissimo/crollo
V1	Lesioni ad andamento diagonale nei <b>maschi murari</b>	<input type="checkbox"/> Lesioni capillari < 1 mm, non riducono la capacità portante originaria.	<input type="checkbox"/> Lesioni fino a 10 mm circa, <b>dislocazioni</b> visibili, che tuttavia mostrano l'esistenza di ulteriori margini rispetto all'attivazione di un meccanismo di <b>collasso</b> .	<input type="checkbox"/> Lesioni macroscopiche anche passanti accompagnate da <b>dislocazioni</b> evidenti e/o crolli; si capisce il portante complessivo e avviene il <b>collasso</b> .

**Note e Commenti**  
Tali lesioni indicano il superamento della "resistenza a taglio" nei pannelli murari. Queste lesioni possono riscontrarsi ai vari livelli, tuttavia si localizzano principalmente ai piani inferiori, dove la maggiore massa delle pareti e degli **ipocauli** che sovrengono si traduce, sotto l'excitazione sismica, in una maggiore **spoliazione orizzontale** edica che produce le caratteristiche lesioni a **croce** che evidenziano la formazione di **bolle compresse** diagonali. Le lesioni si generano per la mancanza di resistenza a **trazione** del materiale.

V1	Meccanismi associati	Altre possibili evidenze di danno compatibili
1	Da Taglio della parete per azioni nel piano	V3, V7, V8, V10, V11, V15, V16
6	Da Rottura a flessione della parete	V2, V9, V11, V20

### Abaco dei danni alle strutture Strutture Orizzontali

Verticali | Orizzontali | Scale | Non strutturali

COD	DESCRIZIONE DEL DANNO	LIVELLO DI DANNO		
		Leggero	Medio/grave	Gravissimo/crollo
H8	Lesioni parallele all' <b>orditura</b> di solai e coperture	<input type="checkbox"/> Lesioni capillari fino ad 1 mm circa <b>sull'intero</b> all' <b>intradosso</b> .	<input type="checkbox"/> Lesioni fino a 10 mm circa, <b>distacchi</b> evidenti nel <b>soffitto</b> ; segni di <b>distacco</b> nel <b>pavimento</b> .	<input type="checkbox"/> <b>Dislocazioni</b> macroscopiche con <b>scricchiolii</b> apprezzabili e crolli nell' <b>orditura</b> secondaria.

**Note e Commenti**  
Tali lesioni si possono manifestare per **inflazione** differenziale dei **travetti** dovuta ad incremento del **carico verticale** sotto il solaio, specialmente per **solai flessibili** (es: in legno o acciaio e **volto**); oppure per l'azione di trazione indotta dalle pareti ortogonali all'**orditura**, qualora queste fossero interessate da un'azione di rima verso l'esterno. Nei casi più gravi, a questo danno si può accompagnare uno **scricchiolio** dei **travetti** per lo spostamento relativo delle **travi** principali.

H8	Meccanismi associati	Altre possibili evidenze di danno compatibili
1	Da Taglio della parete per azioni nel piano	V1, V3, V7, V8, V10, V11, V15, V16
2	Da Taglio per azioni nel piano localizzato solo nella zona alta	V2, V9, V8, V10, V11, V15
3	Da Ribaltamento della Intera Parete	V9, V10, V11, V14, V21

### Abaco dei danni alle strutture Scale

Verticali | Orizzontali | Scale | Non strutturali

COD	DESCRIZIONE DEL DANNO	LIVELLO DI DANNO		
		Leggero	Medio/grave	Gravissimo/crollo
S5	<b>Sfilamento</b> degli appoggi delle <b>travi</b> appoggiate a sostegno della scala	<input type="checkbox"/> <b>Levi lesioni</b> da <b>distacco</b> all'attaccatura delle <b>travi</b> sulla parete.	<input type="checkbox"/> <b>Sfilamenti</b> apprezzabili dell'ordine di qualche cm rispetto alla lunghezza dell'appoggio.	<input type="checkbox"/> <b>Sfilamento</b> considerevole o completo; <b>scricchiolii</b> apprezzabili nell' <b>orditura</b> secondaria; <b>collassi</b> parziali o totali.

**Note e Commenti**  
Questo danno si genera a causa delle oscillazioni differenziali indotte dal sisma sui **diapiranti** a sostegno del **carpente**. Ciò può determinare lo **sfilamento** delle **travi**, se non ben ancorate alla muratura di sostegno. Tale fenomeno può verificarsi anche in conseguenza di un principio di **ribaltamento** della parete fuori del piano.





Ciascun danno è illustrato con una scheda contenente una descrizione dettagliata, uno schema di riferimento, una rassegna iconografica illustrativa di livelli di gravità del danno, un'ipotesi di associazione ai possibili meccanismi di collasso

- ➔ 23 tipologie di danno alle strutture verticali
- ➔ 13 tipologie di danno alle strutture orizzontali
- ➔ 7 tipologie di danno alle scale
- ➔ 6 tipologie di danno agli elementi non strutturali

# Abaco dei Danni

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

## Esempio

COD	Descrizione	Immagini di differenti livelli di danno		
		Light	Medium/heavy	Very heavy/collapse
V1	Diagonal X-cracks in masonry panels & piers  <b>Schema</b> 	<input type="checkbox"/> Lesioni capillari $\leq 1$ mm; non riducono la capacità portante originaria.    Foto: F_802	<input type="checkbox"/> Lesioni fino 10 mm circa; dislocazioni visibili, che tuttavia mostrano l'esistenza di ulteriori margini rispetto all'attivazione di un meccanismo di collasso.    Foto: F_826	<input type="checkbox"/> Lesioni macroscopiche anche passanti accompagnate da dislocazioni evidenti e/o crolli; la capacità portante complessiva è severamente compromessa.    Foto: F_824

### Note

Tali lesioni indicano il superamento della "resistenza a taglio" nei pannelli murari. Queste lesioni possono riscontrarsi ai vari livelli; tuttavia si localizzano principalmente ai piani inferiori, dove la maggiore massa delle pareti e degli impalcati che sorreggono si traduce, sotto l'eccitazione sismica, in una maggiore sollecitazione orizzontale ciclica che produce le caratteristiche lesioni a croce che evidenziano la formazione di bielle compresse diagonali. Le lesioni si generano per la mancanza di resistenza a trazione del materiale.

### V1 Collegamento ai possibili meccanismi associati

1	Storey shear mechanism (lower storeys)	V3, V7, V8, V10, V11, V15, V16	H8, H10, H11
6	Bending rupture of the wall	V2, V9, V11, V20	H10, H11, H12



# Compatibilità Danni-Meccanismi

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)



Meccanismi Globali

Meccanismi Locali

Tabellone Esercitazione

SERVIZIO SISMICO NAZIONALE CAR

Meccanismi Globali Meccanismi Locali

1	11	V1	V2	V3	V4	V5	V6
2	12	V7	V8	V9	V10	V11	V12
3	13	V13	V14	V15	V16	V17	V18
4	14	V19	V20	V21	V22	V23	
5	15	Danni alle Strutture Orizzontali					
6	16	H1	H2	H3	H4	H5	H6
7		H7	H8	H9	H10	H11	H12
8		H13					
9							
10							

Annulla Soluzione

Selezionare un Danno alle Strutte Verticali...

**Medea: un manuale multimediale per la valutazione del danno sismico**

Un tabellone interattivo per il training nell'associazione danni - meccanismi :

gli utenti possono selezionare in multiscelta le tipologie di danno e verificarne in interattivo la congruenza con altri tipi di danno e con il meccanismo prescelto.

# Esercitazioni di Agibilità

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

Esempi consentono all'utente di effettuare esercitazioni guidate di agibilità e quindi di esprimere valutazioni su:

**Medea: un manuale multimediale per la valutazione del danno sismico**

Inoltre, lo strumento consente di effettuare controlli sulla capacità di giudizio acquisita

- tipologia costruttiva (strutture orizzontali e verticali);
- livello di danno;
- esito di agibilità;
- possibili interventi di pronto intervento.





**Scheda per il censimento speditivo dei meccanismi di danno, dei danni sismici e della vulnerabilità  
per gli edifici ordinari in muratura  
(Medea 12/04)**

Istat Regione	---	Comune		Istat Comune	---	Data	-- / -- / --	
Istat Provincia	---	Località		Istat Località	---	N. Squadra	---	
N. Aggregato	---	N. Edificio	---	DannoGlobale	---	Esito Agibilità	---	
							N. Scheda AeDES	---

<b>Meccanismi</b>	<b>Danni strutture verticali</b>																							<b>Danni strutture orizzontali</b>																	
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13					
M1																																									
M2																																									
M3																																									
M4																																									
M5																																									
M6																																									
M7																																									
M8																																									
M9																																									
M10																																									
M11																																									
M12																																									
M13																																									
M14																																									
M15																																									
M16																																									
Altro*																																									

\* Inserire in questa riga i danni che non si riescono ad ascrivere ad alcun meccanismo



# Proposta per un **Indice di Agibilità** basata sui meccanismi MEDEA

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

La metodologia è fondata sull'analisi del livello di evoluzione del meccanismo di collasso riconosciuto come prevalente per l'edificio; essa prevede l'assegnazione di un punteggio ai possibili meccanismi riconosciuti per quell'edificio ed è connessa all'associazione tra i meccanismi presenti ed i danni rilevati.

**Medea: un manuale multimediale per la valutazione del danno sismico**

*Matrice di compatibilità meccanismi/danni*

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	
M1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
M2	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
M4	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
M5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
M6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
M7	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M12	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Al rilevatore è richiesto di individuare i possibili meccanismi di danneggiamento sull'edificio e per ciascuno di essi riconoscere la presenza dei danni tra quelli ritenuti come compatibili, assegnando, tra l'altro, a questi danni rilevati un punteggio variabile tra 1 e 3 per livello di gravità crescente.



# Proposta per un **Indice di Agibilità** basata sui meccanismi MEDEA

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

Ciò consente di attribuire al meccanismo prevalente un valore sintetico, da interpretare nel senso di un **Indice di Agibilità  $I_A$**  dell'edificio.

$$\overline{Ld}_i = \frac{\sum_{j=1}^n Ld_{ij}}{k_i}$$

$$Ld_i = \frac{\overline{Ld}_i + Ld_{\max}}{2}$$

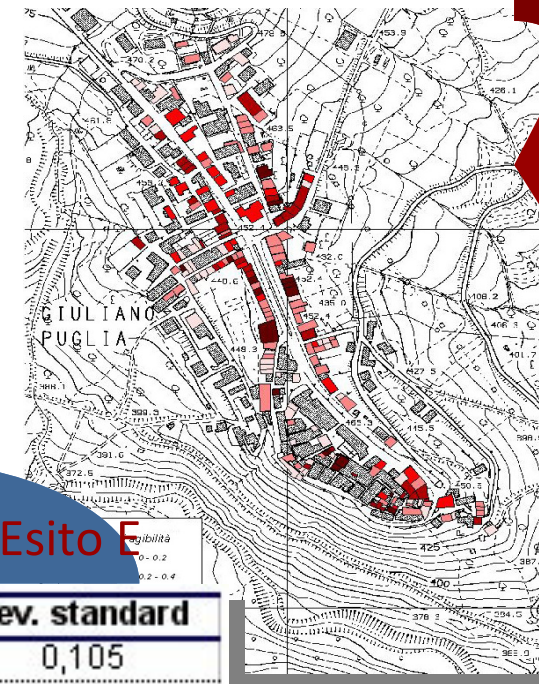
$$P_i = Ld_i \cdot C_i \Rightarrow I_A = P_i \max / 3$$

$C_i$ , il coefficiente di importanza del meccanismo  
proporzionale alla potenzialità di quel meccanismo di condurre rapidamente al collasso

**Medea: un manuale multimediale per la  
valutazione del danno sismico**

## Elaborazione dei dati per il Comune di San Giuliano di Puglia

Da un primo esame dei dati, da validare comunque in ulteriori campagne di sopralluoghi, risulta che per  $I_A > 0.44$  con buona probabilità l'edificio risulta **inagibile**



Danno Globale $D_G$	$I_A$	Media	Dev. standard
D3	0,44 - 0,78	0,607	0,105
D4	0,6 - 0,94	0,774	0,099

Esito E



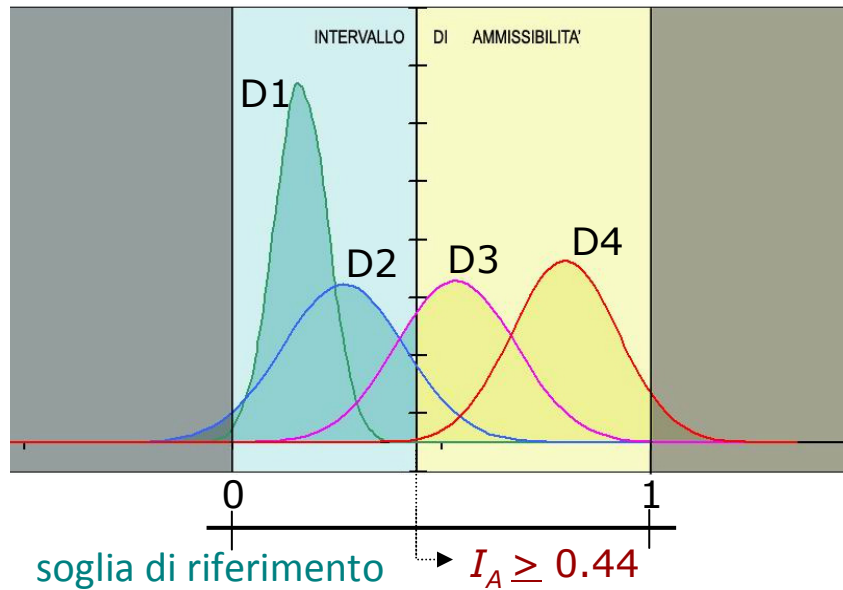
# Un'applicazione al terremoto di Molise-Puglia

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

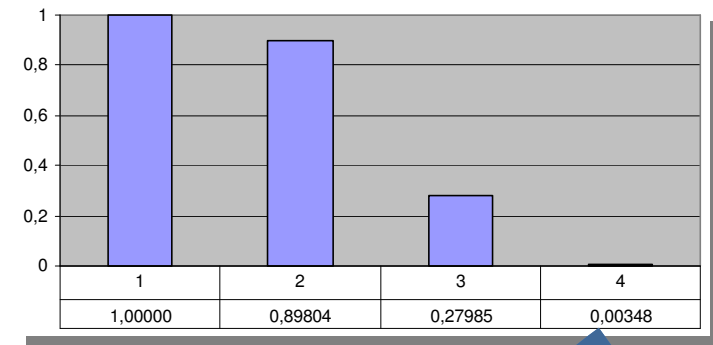
**Medea: un manuale multimediale per la valutazione del danno sismico**

Infine è stata analizzata la correlazione tra il danno globale e gli intervalli dell'Indice di Agibilità (con media e deviazione standard).

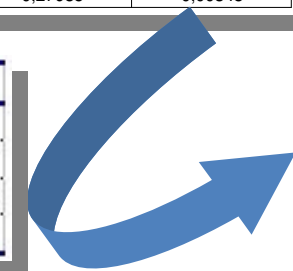
Questi risultati, confrontati con l'effettivo esito di agibilità, hanno consentito di determinare un valore di soglia per IA. Quindi sono state definite delle prime stime di probabilità, riferite alla probabilità che una struttura che sperimenti un assegnato danno globale sia dichiarata agibile.



Sviluppi futuri in grado di definire un più robusto valore di soglia e più raffinate distribuzioni di probabilità del danno globale rispetto all'Indice di Agibilità, rappresentano un interessante prospettiva per pervenire a stime speditive di agibilità su un territorio colpito da un evento, anche finalizzate ad una prima quantizzazione dei costi in emergenza. .



Danno Globale $D_G$	Minimo	Massimo	Media	Dev. standard
D1	0,063	0,333	0,161	0,064
D2	0,111	0,667	0,264	0,146
D3	0,333	0,778	0,533	0,143
D4	0,563	0,944	0,794	0,128





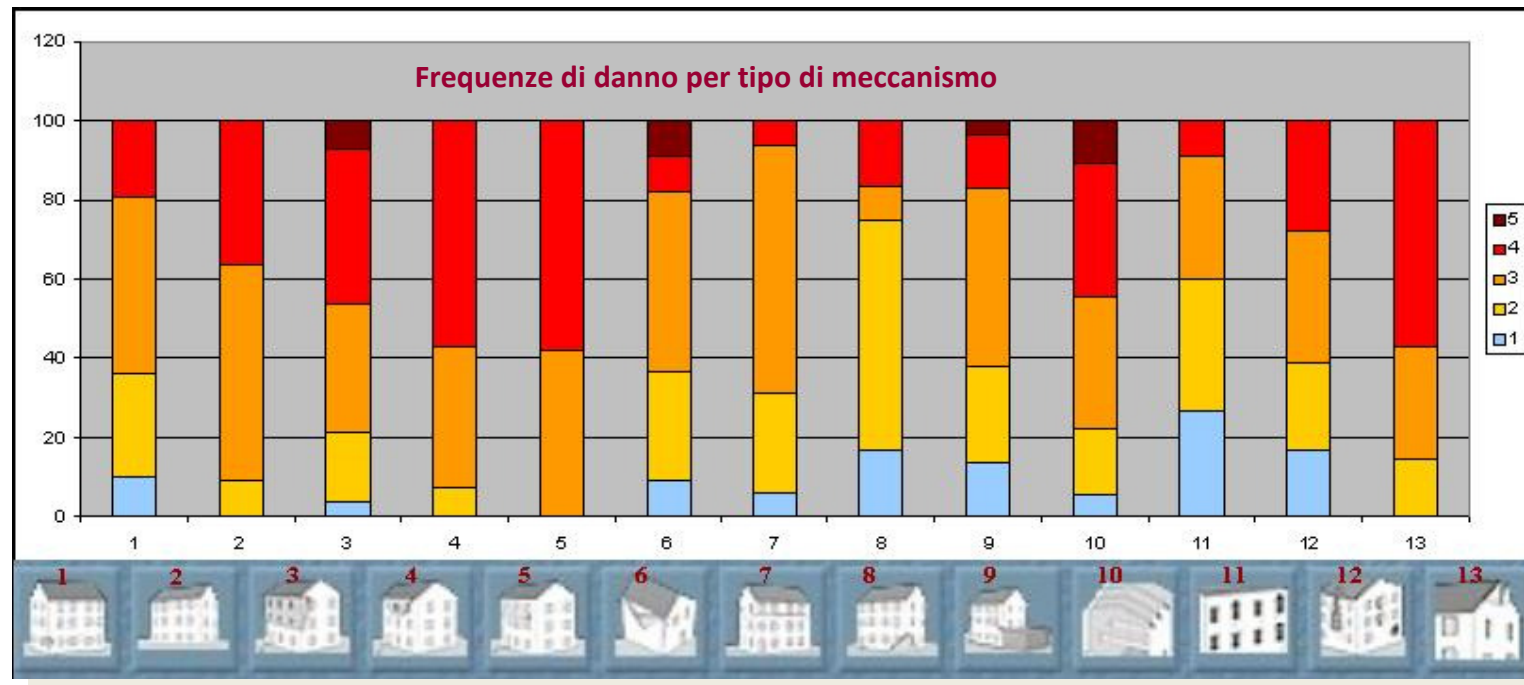


# Un'applicazione al terremoto di Molise-Puglia

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

E' stato raccolto un set di dati sul danno ed i meccanismi di collasso al fine di studiare le correlazioni esistenti

**Medea: un manuale multimediale per la valutazione del danno sismico**



- |    |   |     |  |
|----|---|-----|--|
| 1. | Da Taglio della parete per azioni nel piano | 8.  | Da cedimento fondale                     |
| 2. | Da Taglio della parete solo nella zona alta | 9.  | Da irregolarità tra strutture adiacenti  |
| 3. | Da Ribaltamento della Intera Parete         | 10. | Per sfil. delle travi dalla parete       |
| 4. | Da Ribaltamento Parziale della Parete       | 11. | Per ced. di architravi e/o piattabande   |
| 5. | Da Instabilità (verticale) della parete     | 12. | Da irr. del materiale, deb. locali, etc. |
| 6. | Da Rottura a flessione della parete         | 13. | Da Rib. della Parete del Timpano         |
| 7. | Da Scorrimento di piano orizzontale         | 14. | Da Rib. della parte alta del cantonale   |
|    |   | 15. | Da Rib. della fascia sottotetto          |

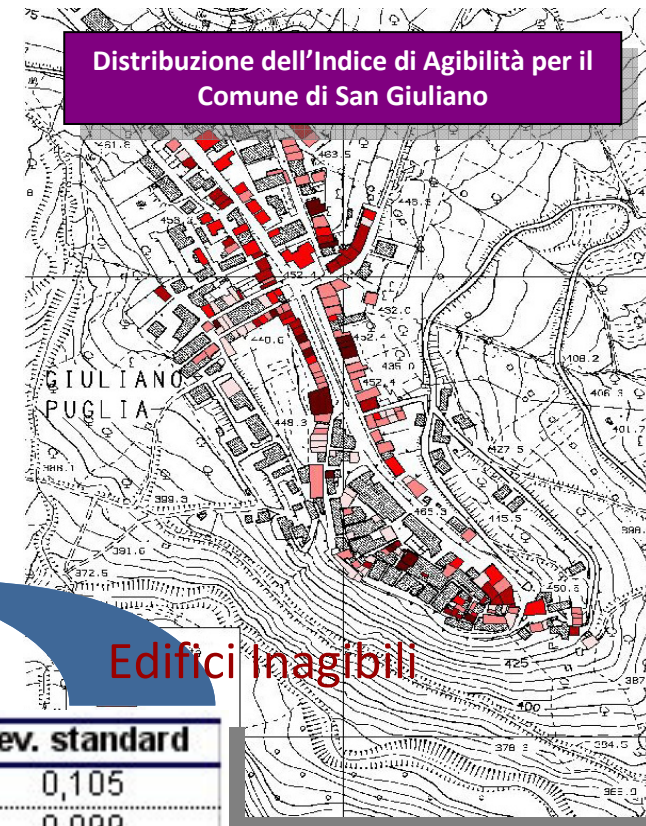


# Un'applicazione al terremoto di Molise-Puglia

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

La Scheda MEDEA ha consentito di raccogliere informazioni sui meccanismi di collasso incipienti riconoscibili sulle strutture danneggiate e di avanzare un'ipotesi sulla genesi del collasso globale dell'edificio, raggiunto per l'innescarsi di vari meccanismi di collasso la cui sequenza è sensibilmente correlata alle caratteristiche tipologico strutturali del manufatto, oltre che a quelle intrinseche dei materiali impiegati.

E' stata messa a punto una metodologia di valutazione di un cosiddetto **Indice di Agibilità IA**, fondata sull'analisi del livello di evoluzione del meccanismo di collasso riconosciuto come prevalente. Tale Indice, naturalmente, non si propone come un mero automatico strumento di valutazione dell'agibilità che sempre rimane a carico della professionalità ed esperienza dei singoli tecnici, ma offre all'attenzione degli operatori un ulteriore parametro di valutazione euristico tra edifici colpiti da un evento sismico, ancor più se meglio calibrato attraverso ulteriori set di dati.



Danno Globale $D_G$	$I_A$	Media	Dev. standard
D3	0,44 - 0,78	0,607	0,105
D4	0,6 - 0,94	0,774	0,099

# Meccanismi di collasso e condizioni di vulnerabilità

## MEDEA

Manuale di Esercitazioni sul Danno Ed Agibilità per edifici ordinari in muratura



meccanismi globali



- Buoni ammorsamenti tra le pareti (con o senza collegamenti ai solai ai vari livelli)
- Muratura di scadente qualità, area resistente ridotta in una o in entrambe le direzioni (i.e per l'alta percentuale di forature o per il ridotto spessore delle pareti)



- Variazioni del sistema resistente ai livelli superiori (i.e. variazione dello spessore del pannello murario e/o presenza di muratura di qualità più scadente)
- Presenza di coperture pesanti

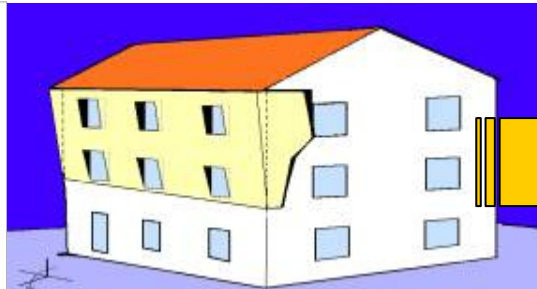




meccanismi globali

## Meccanismi di collasso e condizioni di vulnerabilità

3

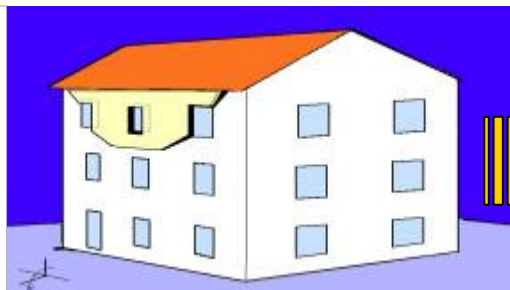


**Da Ribaltamento dell'Intera Parete**

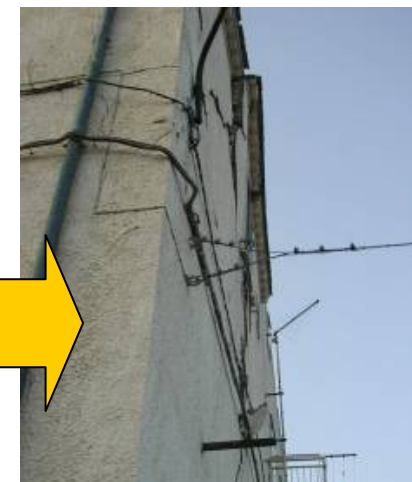


- Mancanza di ammorsamenti tra pareti ortogonali e/o di catene o cordoli ai vari livelli
- Eccessiva distanza tra muri di controvento
- Copertura spingente e mancanza di connessione della parete alla copertura

4



**Da Ribaltamento Parziale della Parete**



- Eccessiva distanza tra muri di controvento
- Copertura spingente e mancanza di connessione della parete alla copertura
- Eccessiva presenza di aperture



# Interventi di mitigazione

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

**Medea: un manuale multimediale per la valutazione del danno sismico**

## FATTORI DI VULNERABILITA'

- Scarsa qualità dei collegamenti tra pareti e tra pareti ed orizzontamenti.
- Eccessiva distanza tra muri di controvento .

## INTERVENTI DI MITIGAZIONE

- **Miglioramento dei collegamenti tra le pareti mediante l'utilizzo di catene** a livello di piano nelle due direzioni
- **Chiodature di ancoraggio** tra le pareti nei cantonali e tra le pareti ed il solaio
- Apposizione di **fasce di materiale composito** a cerchiare la muratura a livello di piano.

- Muratura di scadente qualità, area resistente ridotta in una o in entrambe le direzioni (i.e per l'alta percentuale di forature o per il ridotto spessore delle pareti) e presenza di orizzontamenti di notevole massa.

- **Placcaggi sandwich** con rete elettrosaldata e gunite
- Inserimento di **pareti a taglio** di muratura resistente ammorsate alle pareti preesistenti
- **Placcaggi con materiali compositi**
- Trattamenti con **malte e resine** epossidiche

- Solai deformabili nel proprio piano e mal collegati.
- Coperture pesanti e/o spingenti e mancanza di connessione alle pareti di supporto.

- **Irrigidimenti dei solai** attraverso solette in calcestruzzo alleggerito con rete elettrosaldata, catene incroc., etc.
- Realizzazione di **cordoli** efficaci ancorati alle murature.
- Realizzazione di **catene** che annullino la spinta della copertura e/o di cerchiature in materiale composito a livello di imposta della stessa



# Costo/ Intervento in LCA

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

INTERVENTO	COSTO (€/m <sup>2</sup> )
Applicazione di FRP ad elementi strutturali in c.a.	230
Applicazione di FRCM ad elementi strutturali in c.a.	220
Applicazione di FRP a travi c.a.	125-150
Applicazione di FRCM a solai in c.a.	100-120
Applicazione di FRCM alle tamponature	65-80
Applicazione di FRCM a pannelli di muratura	65-80
Inserimento di catene in strutture in muratura	15-30
Applicazione di sistemi CAM a pannelli in muratura	100-120



# MEDEA in LCA

G. ZUCCARO (zuccaro@unina.it)

L'integrazione di strumenti di supporto all'interno dell'analisi LCA è necessaria per definire valutazioni ambientali attendibili.

MEDEA delinea un approccio generale in grado di identificare i fattori di vulnerabilità strutturale che influenzano il comportamento di un edificio sotto azione sismica.

**MEDEA può essere utilizzato:**

- nella fase post-evento: come strumento atto ad agevolare le valutazioni di agibilità sulla base dell'interpretazione dei meccanismi di collasso incipienti osservati (Indice di Agibilità);
- nelle valutazioni di vulnerabilità: come strumento atto ad agevolare l'individuazione e la stima dell'influenza dei fattori di vulnerabilità tipologico- strutturale responsabili dell'attivazione dei meccanismi di collasso più frequentemente osservati.



**Grazie per la cortese attenzione.**