



Consiglio Nazionale degli Ingegneri

Prime riflessioni sull'esperienza del terremoto in Abruzzo



Angelo MASI
DiSGG, Università della Basilicata
(angelo.masi@unibas.it)

*Centro di Competenza sul Rischio
Sismico della Regione Basilicata (CRiS)*

(con la collaborazione di V. Manfredi e L. Chiauzzi)





CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

Presidente	Ing. Paolo Stefanelli
Vice Presidente vicario	Ing. Pietro De Felice
Vice Presidente aggiunto	Ing. Giovanni Rolando
Consigliere Segretario	Ing. Roberto Brandi
Tesoriere	Ing. Carlo De Vuono
Consigliere	Ing. Alessandro Biddau
Consigliere	Ing. Giovanni Bosi
Consigliere	Ing. Ugo Maria Gaia
Consigliere	Ing. Alcide Gava
Consigliere	Ing. Romeo La Pietra
Consigliere	Ing. Giovanni Montresor
Consigliere	Ing. iunior Antonio Picardi
Consigliere	Ing. Sergio Polese
Consigliere	Ing. Silvio Stricchi
Consigliere	Ing. Giuseppe Zia



CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

Prime riflessioni sull'esperienza del terremoto in Abruzzo

Angelo MASI

DiSGG, Università della Basilicata (angelo.masi@unibas.it)

Centro di Competenza sul Rischio Sismico della Regione Basilicata (CRiS)

Di seguito viene riportata una breve nota illustrativa alla presentazione (allegata) svolta in occasione dell'Assemblea Nazionale dei Presidenti degli Ordini degli Ingegneri, tenutasi a Roma lo scorso 9 maggio 2009.

La presentazione contiene alcune prime riflessioni sull'esperienza del terremoto in Abruzzo del 6 aprile 2009. Tutti i dati e le elaborazioni in essa riportati, in particolare per quanto riguarda la stima degli effetti sulle persone e sulle costruzioni, sono aggiornati alla data della suddetta presentazione, ossia al 9 maggio 2009.

La prima parte della presentazione è dedicata principalmente ad una breve descrizione dell'evento sismico e delle principali conseguenze sulle persone. Vengono anche riportati alcuni esempi di danneggiamento agli edifici in muratura ed in cemento armato, nonché alcuni esempi di effetti sull'ambiente.

Nella seconda parte vengono presentate alcune analisi preliminari delle registrazioni accelerometriche relative all'evento principale del 6 aprile. In particolare, sono stati effettuati alcuni confronti tra le azioni sismiche attese secondo le Nuove Norme Tecniche (NTC, 2008) e quelle registrate da 4 stazioni della Rete Accelerometrica Nazionale (RAN) presenti nella zona epicentrale. Successivamente, a partire da alcuni esempi di danno strutturale e non strutturale, sono riportate alcune considerazioni di carattere generale sulla vulnerabilità sismica delle strutture e, con riferimento alle norme tecniche, vengono presentate alcune riflessioni sui criteri di progettazione antisismica in esse contenute.

Le considerazioni finali evidenziano l'importanza di norme tecniche rigorose ma semplici in un'ottica di integrazione ed interazione degli interventi finalizzati alla realizzazione di strutture sicure e funzionali.



L'EVENTO SISMICO ED I SUOI EFFETTI

Alle ore 03.32 locali (01:32 UTC) del 6 aprile 2009 un evento sismico di magnitudo locale $M_l=5.8$ ($M_w=6.3$) ha colpito la regione Abruzzo con epicentro localizzato in prossimità del capoluogo di regione L'Aquila. Si tratta del più forte terremoto registrato in Italia per il quale si possa disporre di registrazioni da stazioni accelerometriche posizionate in prossimità dell'epicentro (distanza massima di circa 6 km).

All'evento sismico principale ($M_l=5.8$) sono seguite numerose repliche con magnitudo locale rilevante. In particolare, due scosse di magnitudo superiore a 5 si sono verificate il 7 aprile ($M_l=5.3$) ed il 9 aprile ($M_l=5.1$). Fino al 9 maggio 2009, gli eventi di magnitudo compresa tra 4 e 5 sono stati in totale 13.

L'analisi delle registrazioni della scossa principale, rilevata dalle 4 stazioni RAN più vicine all'epicentro, mostra un valore massimo dell'accelerazione di picco al suolo (PGA), in direzione orizzontale, pari a 0.63g (ossia pari al 63% dell'accelerazione di gravità g). Significative sono anche le accelerazioni registrate per la componente verticale dell'evento (valore massimo $PGA=0.42g$).

Il rapporto preliminare degli effetti macrosismici del terremoto (QUEST 2009) ha individuato come maggiormente danneggiate le località di Onna (grado 10 della scala Mercalli-Cancani-Sieberg MCS), Poggio di Roio (9-10 MCS), Castelnuovo, San Gregorio, Tempera, Villa Sant'Angelo (9 MCS), L'Aquila, Poggio Picenze, Sant'Eusanio Forconese (8-9 MCS), Paganica, Roio Piano, Santa Rufina, Colle di Lucori e Fagnano Alto (8 MCS).

Il terremoto ha prodotto effetti molto gravi sulle persone. A fronte di una popolazione coinvolta di circa 120.000 persone, residenti in 49 comuni, 302 sono state le vittime (fonte: il quotidiano *Il Centro*) e circa 1600 i feriti. Tali numeri, se rapportati alle dimensioni delle singole località abitate, mostrano che ad Onna, ad esempio, su una popolazione di circa 360 abitanti si sono avute 37 vittime, pari a circa il 10%. Alla data del 6 maggio 2009 molte sono le persone che non hanno ancora fatto rientro nelle proprie abitazioni: il numero delle persone assistite presso i centri di accoglienza, gli alberghi o che hanno trovato autonomamente una sistemazione in case private è di circa 65.000.

Anche se le operazioni di verifica disposte su tutto il patrimonio edilizio sono ancora in corso, è possibile valutare le prime conseguenze che il sisma ha avuto sulle costruzioni. Alla data del 6 maggio 2009, dei circa 30.000 edifici verificati su un totale di circa 50.000 (stima da dati del censimento ISTAT 2001), il 24% delle abitazioni private è stato dichiarato inagibile ed il 53% agibile; la restante parte è suddivisa fra le aliquote di edifici temporaneamente inagibili o inagibili per altre cause.

Oltre alle conseguenze sulle persone e sulle abitazioni, il terremoto ha avuto riflessi negativi sull'economia dell'area. Dagli esiti di agibilità sulle strutture destinate ad attività produttive è emerso che, su un totale di 1100 strutture verificate, il 15% di esse non sono

Prime riflessioni sull'esperienza del terremoto in Abruzzo

agibili e tale numero raggiunge quota 42% sommando anche le inagibilità temporanee o da altra causa.

Il patrimonio edilizio delle aree colpite dal sisma è molto diversificato, sia per tipologia costruttiva che per stato di conservazione. I centri storici dei comuni e le località limitrofe al capoluogo sono costituite prevalentemente da strutture in muratura sulle quali è stato osservata una maggiore frequenza di danneggiamento. Nelle aree di più recente realizzazione le strutture residenziali sono realizzate prevalentemente in cemento armato: su di esse è stato osservato un diffuso danno agli elementi non strutturali (lesioni alle tamponature ed espulsione dei paramenti), ma anche danno grave agli elementi strutturali (travi, pilastri e nodi) ed in alcuni casi il collasso globale o di un intero piano.

Non sono mancate situazioni con anomalie di comportamento fra strutture simili: ad esempio, nella frazione di Pettino (AQ), in un quartiere con costruzioni in cemento armato realizzate negli anni '70-'80, due strutture limitrofe, apparentemente con caratteristiche simili, risultano una non danneggiata mentre l'altra ha subito un collasso di piano.

Anche i beni culturali, generalmente caratterizzati da elevata vulnerabilità, hanno subito gravi danni: su un campione di 806 costruzioni verificate la 9 maggio 2009, il 46% è stato dichiarato inagibile ed inoltre beni artistici di incommensurabile valore sono andati almeno parzialmente perduti.

La presentazione propone alcune immagini esemplificative sui danni osservati sul patrimonio edilizio (residenziale e monumentale) e sugli effetti sull'ambiente delle aree colpite.



PRIME ANALISI SU QUANTO È SUCCESSO

Vengono inizialmente riportate alcune considerazioni sull'intensità dell'evento sismico basate sul confronto tra le azioni sismiche convenzionali previste nelle norme NTC 2008 (azioni "attese") e quelle registrate in occasione dell'evento principale del 6 aprile.

Il confronto tra le registrazioni disponibili nelle quattro stazioni della rete RAN più vicine all'epicentro (codice stazioni AQQ, AQA, AQV e AQK) con le azioni previste dalle NTC 2008 evidenzia come, in termini di accelerazione di picco al suolo (PGA), il valore registrato è sempre maggiore rispetto a quello atteso per un periodo di ritorno $T_R=475$ anni, ossia del valore di riferimento per la progettazione di opere ordinarie rispetto allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita. I valori di PGA risultano confrontabili con quelli attesi per un periodo di ritorno $T_R=2475$ anni (ossia del valore massimo previsto per la progettazione di opere strategiche rispetto allo Stato Limite di Collasso), tranne che per il sito AQV dove, anche per $T_R=2475$ anni, il valore atteso è inferiore a quello registrato.

In alternativa ad un parametro di picco come la PGA, è stato considerato anche un parametro integrale come la Intensità di Housner HI (area sottesa allo spettro in pseudovelocità calcolato al 5% di smorzamento nell'intervallo di periodi 0.2-2 secondi), che rappresenta più efficacemente della PGA il potenziale distruttivo di un evento sismico (Masi et al., 2009). Il confronto in termini di HI mostra che le azioni registrate, in alcuni casi, superano ancora quelle attese per $T_R=475$ anni, ma non quelle per $T_R=2475$ anni.

Con riferimento al tema della riclassificazione sismica del territorio nazionale (valori convenzionali delle azioni sismiche di progetto), viene riportato un confronto tra le azioni sismiche previste dalla classificazione per zone (OPCM 3274/2003 e succ. mod.) e dalla classificazione "puntuale" (NTC 2008), in tutte le città italiane capoluogo di provincia. Emerge come le prime siano generalmente superiori, a volte anche con scarti rilevanti, ad eccezione di un numero limitato di casi agevolmente individuabili confrontando le due mappe riportate nella presentazione.

Vengono poi riportate alcune considerazioni di carattere generale ed esemplificativo sulla vulnerabilità sismica delle strutture ed il loro comportamento sotto azioni sismiche. Le strutture, a parità di azione sismica, subiscono livelli di danneggiamento diversificati in funzione della loro vulnerabilità. Numerosi sono i fattori che determinano la vulnerabilità di una struttura, tra essi la tipologia strutturale (es. muratura o c.a.) e le relative modalità di realizzazione.

Le pareti delle strutture in muratura, che per le caratteristiche dei loro componenti sono tipicamente poco o per nulla resistenti a trazione, offrono una resistenza molto limitata per azioni che tendono a ribaltarle "fuori dal piano" ed, al contrario, una più elevata capacità resistente per azioni che le sollecitano "nel proprio piano". In genere, quindi, una costruzione in muratura sarà tanto meno vulnerabile alle azioni sismiche quanto più la configurazione strutturale sarà in grado di attivare la resistenza nel piano delle murature di cui è composta.

Prime riflessioni sull'esperienza del terremoto in Abruzzo

È possibile individuare un comportamento ideale in cui i maschi murari sono ben ammortati tra loro e resi collaboranti da un solaio rigido (comportamento scatolare). Un elemento, frequentemente osservato negli edifici in muratura presenti a L'Aquila, che riduce la vulnerabilità delle costruzioni in muratura, specie in presenza di strutture con volte, è la catena, in quanto riduce la possibilità che si attivi il meno favorevole meccanismo di collasso delle pareti per azioni fuori dal proprio piano.

Per quanto riguarda le strutture in cemento armato, nella presentazione viene sottolineata l'importanza di realizzare adeguati particolari costruttivi e di progettare secondo criteri di gerarchia delle resistenze (*capacity design*).

Come è ben evidente in alcune immagini riportate nella presentazione, l'assenza di staffe nei nodo trave-pilastro e/o il mancato infittimento del passo delle staffe alle estremità degli elementi, possono condizionare molto negativamente il comportamento sismico delle strutture intelaiate in c.a., determinando danni maggiori fino a determinare condizioni di collasso parziale o globale.

In assenza di regole di gerarchia delle resistenze, gli elementi di una struttura vengono progettati solo in funzione delle sollecitazioni indotte dai carichi. Ciò può dar luogo, ad esempio, a strutture in cui le travi posseggono una capacità resistente maggiore rispetto ai pilastri. In tal modo, un eventuale meccanismo di collasso interesserebbe i pilastri che sono elementi intrinsecamente meno duttili delle travi. Al contrario, per ottenere un buon comportamento sismico, ossia che consenta di dissipare in modo efficace l'energia indotta dallo scuotimento sismico, è opportuno attribuire ai diversi elementi strutturali una resistenza relativa determinata seguendo semplici criteri di gerarchia delle resistenze, in modo da determinare, ad esempio, un più favorevole comportamento a "travi deboli e pilastri forti".

Con riferimento ad alcuni casi di danneggiamento osservati, la presentazione evidenzia anche la vulnerabilità delle strutture in c.a. caratterizzate da ampie aperture o dalla mancanza delle tamponature ad un piano dell'edificio, in particolare al piano terra (pilotis). In queste circostanze negli elementi resistenti di tale piano si concentra un'elevata domanda di duttilità che può provocare il collasso prematuro e fragile della struttura.

La breve descrizione di altre tipologie di danneggiamento mostra i danni rilevanti, dunque la vulnerabilità, degli elementi non strutturali (tamponature, controsoffitti, ecc). La progettazione e l'esecuzione di questi elementi viene in genere sottovalutata, tuttavia il loro danneggiamento può comportare la perdita di funzionalità della struttura, elemento molto importante in caso di opere strategiche come gli ospedali, oltre che conseguenze gravi sulla incolumità fisica delle persone ed elevati costi di riparazione.

Ancora, alcune semplici considerazioni sono dedicate ai materiali, in particolare al calcestruzzo degli edifici in c.a., con riferimento alle resistenze attese nei diversi periodi di realizzazione (Masi e Vona, 2009) ed ai fenomeni di degrado sulle armature d'acciaio.



Infine, l'osservazione dei danni causati dal sisma e le conseguenti valutazioni sulla vulnerabilità delle strutture, hanno suggerito alcune prime riflessioni sulle regole, vecchie e nuove, di progettazione e realizzazione delle costruzioni. E' indubbio che alcune situazioni negative prima descritte siano anche il risultato dell'applicazione di norme tecniche che non utilizzano adeguatamente i rilevanti avanzamenti ottenuti dalla ricerca, ed in particolare dalla scuola italiana, nel campo dell'ingegneria sismica. Il vecchio D.M. 16 gennaio 1996 sulle costruzioni in zona sismica non contiene, almeno esplicitamente, indicazioni essenziali sulla duttilità da attribuire agli elementi, sulle regole di gerarchia delle resistenze, sui dettagli costruttivi, aspetti che vengono sicuramente meglio trattati nelle recenti NTC 2008 che, per la parte sismica, riprendono in gran parte quanto già contenuto nelle norme emanate a seguito del terremoto del Molise 2002 (OPCM 3274 e succ.mod.).

Nelle nuove norme particolare attenzione viene dedicata anche alle conseguenze del danneggiamento degli elementi non strutturali, con la definizione di due diversi stati limite di esercizio (Stato Limite di Danno e Stato Limite di Operatività) che garantiscono il mantenimento della funzionalità e della capacità operativa anche in occasione di eventi sismici violenti, condizione particolarmente importante nel caso di strutture strategiche come gli ospedali. Va però rilevato che impedire il danneggiamento degli elementi non strutturali adottando sistemi costruttivi "tradizionali" è estremamente difficile, se non impossibile, nel caso di terremoti molto forti. Tale risultato può, al contrario, essere conseguito piuttosto agevolmente adottando soluzioni cosiddette "innovative" come l'isolamento sismico, tecnica solo da alcuni anni consentita ordinariamente dalle Norme e che va sempre più diffondendosi.

Tuttavia, va evidenziato che le nuove norme tecniche, pur consentendo un avanzamento della qualità progettuale, non sono taumaturgiche, in quanto molto dipende anche dalla fase esecutiva e, ancor più, perché i problemi più rilevanti di rischio sismico nel nostro Paese risiedono nel grave deficit di protezione sismica delle strutture esistenti, sia private che pubbliche. Ad esempio, il Dipartimento della Protezione Civile stima che il numero di edifici pubblici costruiti prima del 1980 non progettati con criteri antisismici è di circa 75.000, di cui circa 35.000 nelle zone ad alta e media sismicità (zone 1 e 2 secondo la classificazione OPCM 3274/2003). Il grande deficit di protezione sismica che si è accumulato in Italia impone una progettazione degli interventi più efficace sul piano tecnico e più efficiente sul piano economico (Manfredi *et al.*, 2007), risultato che le NTC 2008 consentono di raggiungere molto meglio di quanto sia possibile con norme precedenti come il DM 96.

Prime riflessioni sull'esperienza del terremoto in Abruzzo

CONSIDERAZIONI FINALI

Il contenuto della presentazione svolta a Roma il 9 maggio 2009, durante l'Assemblea dei Presidenti degli Ordini Provinciali degli Ingegneri, non aveva alcuna pretesa di descrivere in modo esauriente cosa è accaduto in Abruzzo né, tanto meno, di offrire una lettura esaustiva di quanto è accaduto e delle possibili cause e soluzioni.

Al contrario, l'obiettivo era quello di evidenziare solo alcuni aspetti importanti, esaminandoli nel modo più oggettivo possibile, come ad esempio la valutazione della intensità molto elevata dell'evento sismico.

Ulteriori e ben più approfondite ed articolate analisi dovranno seguire, che possano avvalersi della competenza specialistica di altri studiosi e della esperienza sul campo dei tecnici, in particolare degli ingegneri.

Appare però utile, anche in questo breve documento che accompagna la presentazione, riprendere le considerazioni conclusive in essa riportate, in quanto queste offrono in modo sintetico alcuni spunti per il nostro futuro lavoro, che dovrà mirare a garantire sempre meglio il diritto alla sicurezza di tutti i cittadini:

- le nuove norme tecniche sono importanti ... ma non taumaturgiche !!
- il problema non è la mancanza di regole ... anzi !!
- il problema è l'applicazione ed il rispetto delle regole;
- il grave deficit di protezione sismica del patrimonio edilizio esistente richiede una sorta di "Piano Marshall" per la messa in sicurezza;
- gli interventi vanno progettati e realizzati in una logica di integrazione e interazione (sicurezza strutturale, barriere architettoniche, efficienza energetica, ecc.);
- l'importanza della fase esecutiva e dei controlli: per dirla con uno slogan "*dal progetto antisismico all'edificio antisismico*";
- tutte le scelte e le decisioni devono mirare a coniugare rigore e semplificazione.

“La storia che si dimentica si ripete”



L'Aquila, 6-4-2009 ore 3:32

*L'orologio della chiesa di Sant'Eusanio
fermo all'ora del terremoto.*

Potenza, 23-11-1980 ore 19:34

*L'orologio del palazzo della Prefettura
fermo all'ora del terremoto.*



Il terremoto de L'Aquila

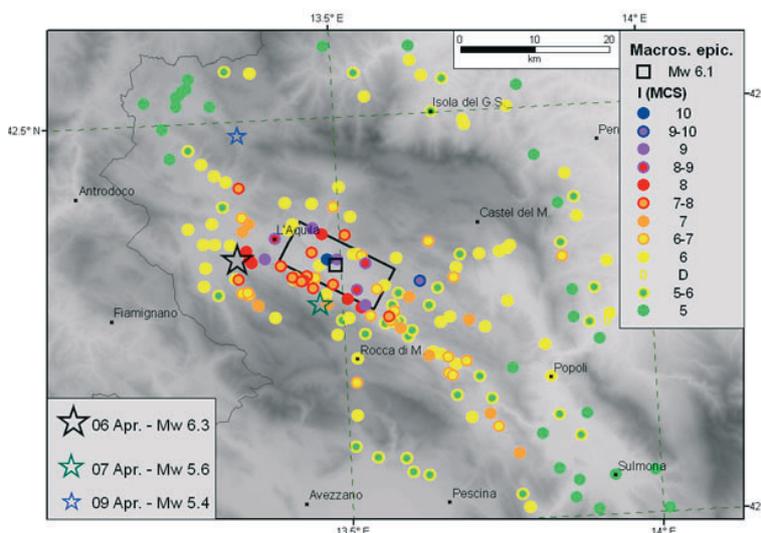
COSA è successo ...

- **l'evento sismico**
- **effetti sulle persone**
- **effetti sulle strutture**
- **effetti sull'ambiente**

Prime riflessioni sull'esperienza del terremoto in Abruzzo

L'evento: mappa delle intensità macrosismiche MCS

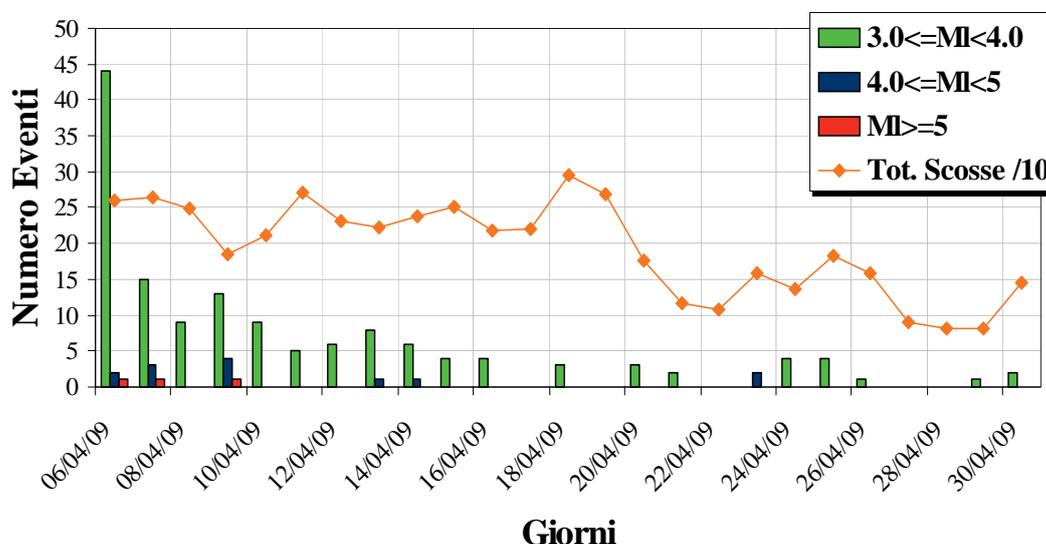
Rapporto sugli effetti del terremoto aquilano del 6 aprile 2009
[20.04.2009 - QUEST (QUick Earthquake Survey Team)]



LOCALITÀ	I (MCS)
Onna	10
Poggio di Roio	9-10
Castelnuovo	9
San Gregorio	9
Tempera	9
Villa Sant'Angelo	9
L'Aquila	8-9
Poggio Picenze	8-9
Sant'Eusanio Forconese	8-9
Paganica	8
Roiro Piano	8
Santa Rufina	8
Colle di Lucoli	8
Fagnano Alto	8

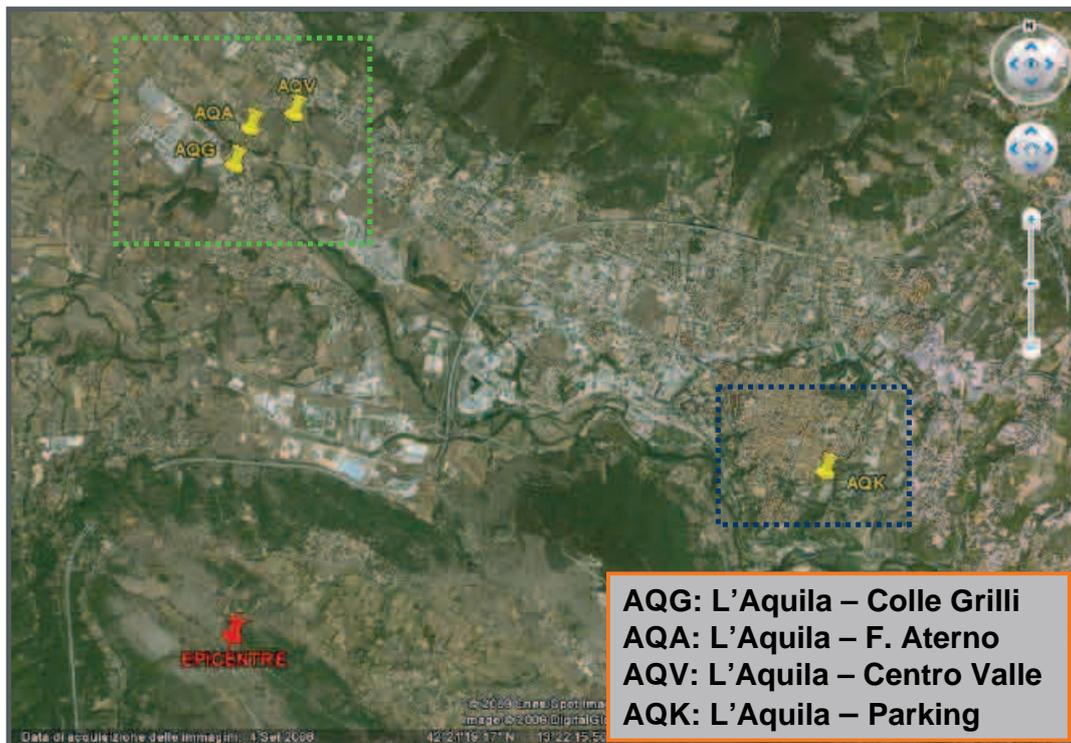
L'evento: sequenza delle magnitudo dal 6 al 30 aprile

Sequenza sismica Aquilano 2009



(*) fonte: www.ingv.it

L'evento: Rete Accelerometrica Nazionale (RAN)



L'evento: le registrazioni della RAN

ID station	PGA [g]		
	X - direction	Y - direction	Z - direction
AQG	0.42	0.43	0.22
AQA	0.39	0.45	0.38
AQP	0.63	0.60	0.42
AQR	0.34	0.34	0.35

ID station	PGV [cm/s]		
	X	Y	Z
AQG	33.59	35.91	9.08
AQA	30.54	24.50	9.45
AQP	36.68	40.48	13.39
AQR	30.24	38.50	14.98

ID station	PGD [cm]		
	X	Y	Z
AQG	7.83	3.80	1.91
AQA	6.35	3.87	1.94
AQP	8.43	4.08	2.52
AQR	7.84	11.87	4.91



Prime riflessioni sull'esperienza del terremoto in Abruzzo

Effetti del terremoto sulle persone

numero di vittime*:	302
numero dei feriti:	~ 1600
popolazione assistita (presso alberghi, privati, aree di ricovero):	~ 63.500
comuni coinvolti (MCS \geq 6):	49
popolazione coinvolta:	~ 120.000

dati aggiornati al 6.5.2009, (*) fonte quotidiano "Il Centro"

Effetti del terremoto sulle persone

Località	Residenti	Vittime	vittime/residenti (%)
Onna	358	37	10.34
Villa Sant'Angelo	441	17	3.85
Castelnuovo	182	5	2.75
San Gregorio	433	8	1.85
Fossa	687	4	0.58
Poggio Picenze	1072	5	0.47
L'Aquila	43575	197	0.45
Roio Piano	520	2	0.38
Civita di Bagno	287	1	0.35
Paganica-Tempera	5024	12	0.24
San Demetrio	1794	3	0.17
Bagno	609	1	0.16
Pianola	1372	2	0.15
Poggio di Roio	733	1	0.14
Lucoli	995	1	0.10
Arischia	1299	1	0.08
Tornimparte	2986	2	0.07
Pizzoli	3519	1	0.03

Elaborazioni da dati del quotidiano "Il Centro"

Effetti sulle strutture: AGIBILITÀ

Esito verifiche di agibilità condotte su 29751 edifici (totale circa 50.000*)

esiti di agibilità per tipologie d'uso**						
tipologie d'uso	privati (27249)	pubblici (722)	ospedali (38)	caserme (109)	scuole (434)	att. prod (1157)
Agibile	53%	54%	53%	69%	53%	58%
Agibile con provvedimenti	15%	18%	18%	25%	26%	18%
Parzialmente inagibile	3%	5%	16%	3%	2%	4%
Temp. inagibile	1%	2%	3%	--	4%	1%
Inagibile	24%	19%	11%	4%	13%	15%
Inag. per rischio esterno	4%	2%	--	--	2%	4%

(*) elaborazioni da dati censimento ISTAT_2001; (**) dati DPC aggiornati al 6.5.2009

Danni alle strutture in muratura



Prime riflessioni sull'esperienza del terremoto in Abruzzo

Danni alle strutture in c.a.



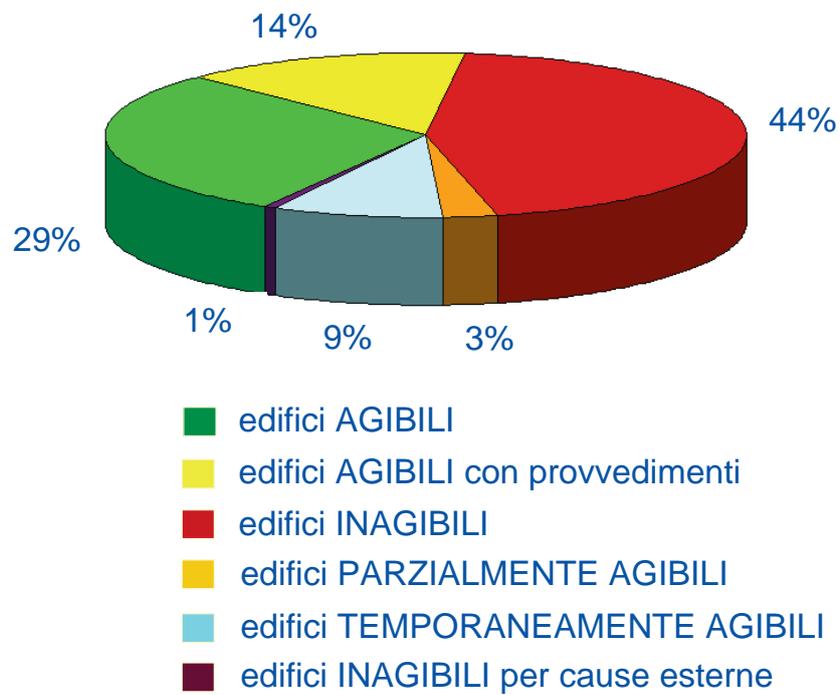
- 1) Danno agli elementi non strutturali (tamponature)
- 2) Danno agli elementi strutturali
- 3) Collasso globale (meccanismo di piano)

Strutture danneggiate e non danneggiate



Effetti del terremoto sui beni culturali

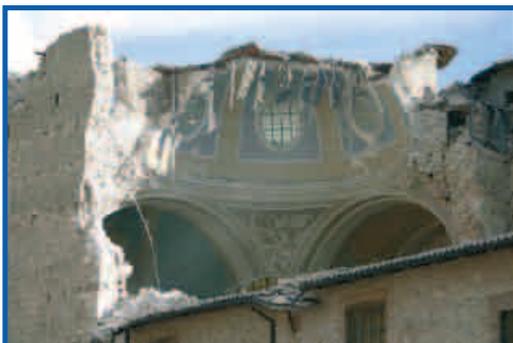
Dalle verifiche condotte su 806 sopralluoghi è emerso che:



Effetti del terremoto sui beni culturali



Chiesa della Anime Sante, L'Aquila



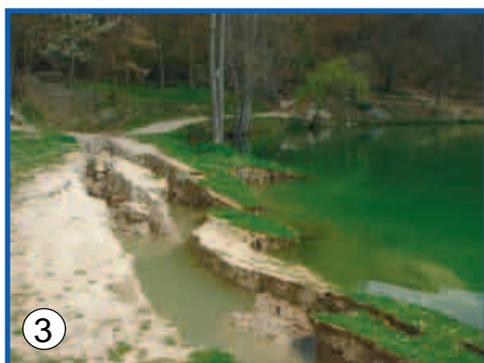
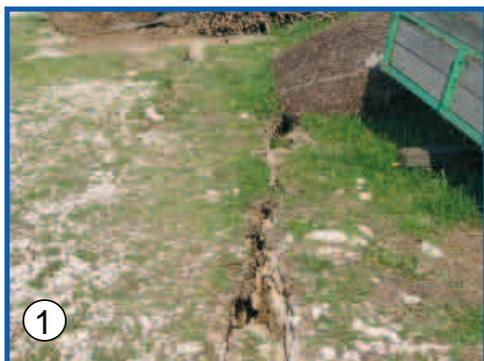
Chiesa di Santa Maria, Paganica



Chiesa di San Bernardino, L'Aquila

Prime riflessioni sull'esperienza del terremoto in Abruzzo

Effetti del terremoto sull'ambiente



- 1) Frattura del suolo
- 2) Deformazione delle sponde di un lago
- 3) Frana in un versante roccioso

Foto tratte da: Gruppo di Lavoro UNISANNIO – CIMA – DIGA,
RAPPORTO PRELIMINARE SUGLI EFFETTI INDOTTI
SULL'AMBIENTE FISICO DALLA SEQUENZA SISMICA
DELL'AQUILANO – Ver.1.5

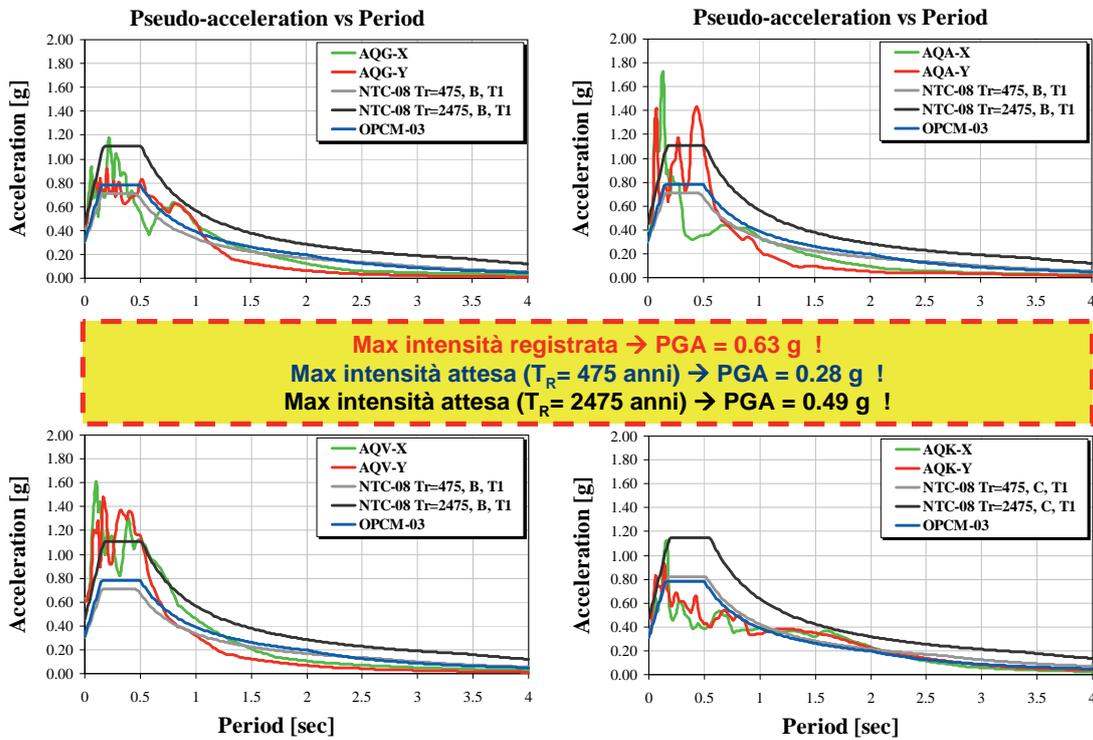
Il terremoto de L'Aquila

... alcune riflessioni sul **PERCHÉ**

- azioni sismiche registrate e attese
- pericolosità e classificazione sismica
- la vulnerabilità delle strutture
- le regole
- le strutture strategiche

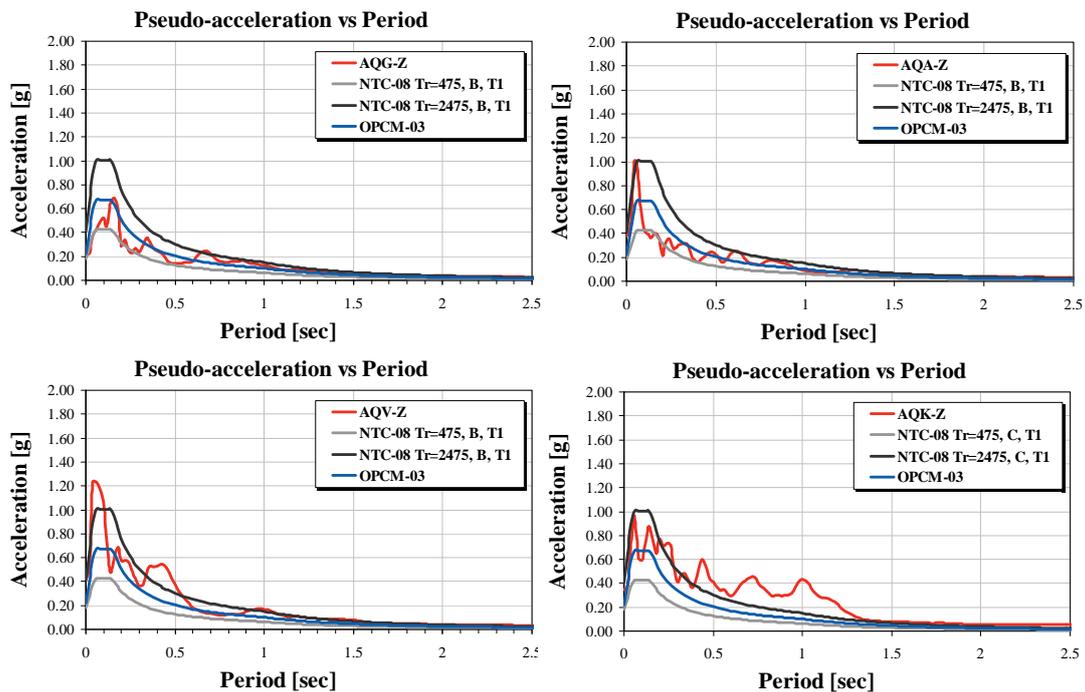
Azioni sismiche registrate vs "attese"

Componenti ORIZZONTALI dell'azione sismica



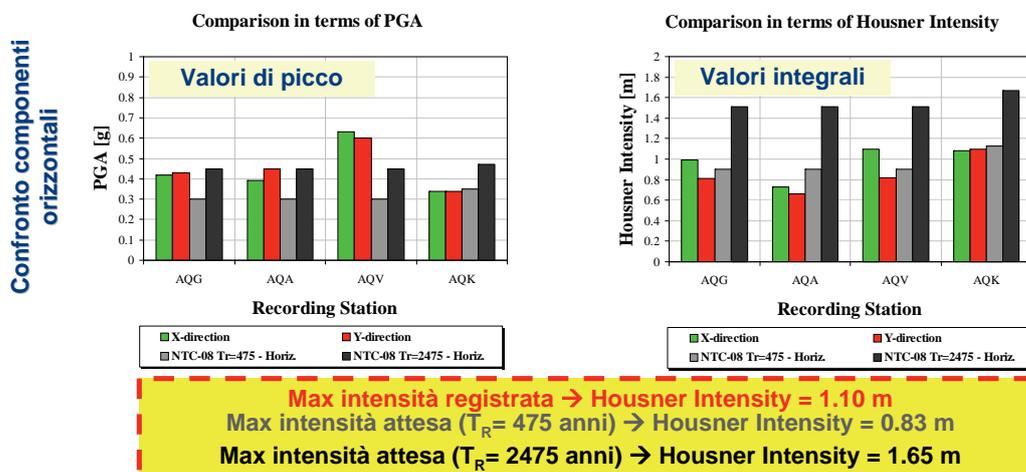
Azioni sismiche registrate vs "attese"

Componenti VERTICALI dell'azione sismica



Prime riflessioni sull'esperienza del terremoto in Abruzzo

Azioni sismiche registrate vs "attese"



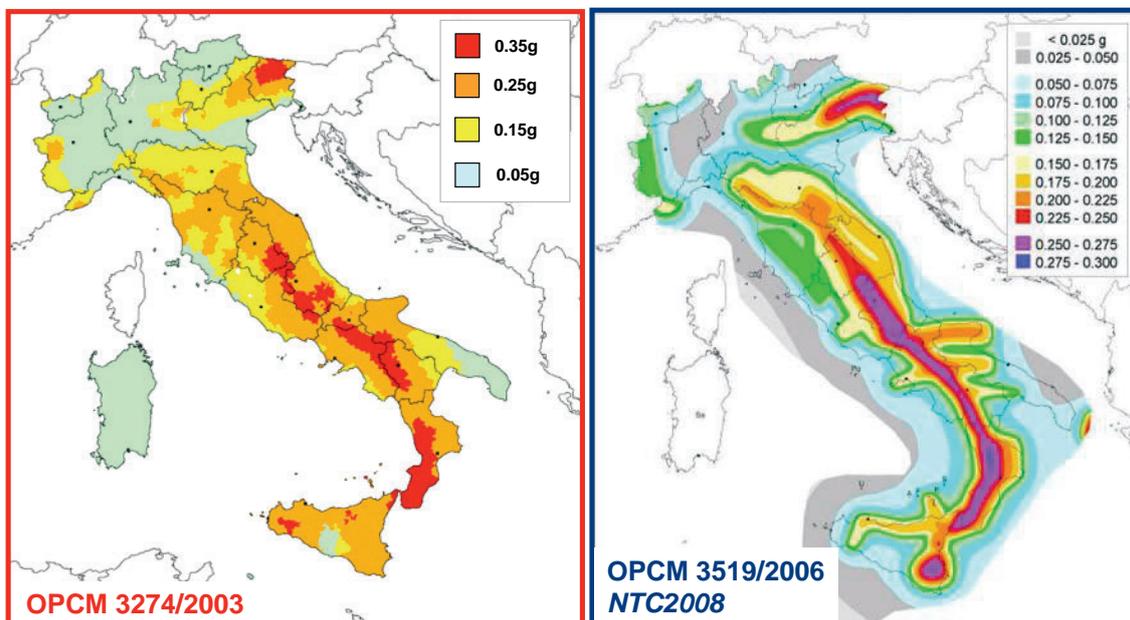
Il confronto in termini di valori di picco della accelerazione al suolo (PGA) mostra che le azioni registrate superano quelle attese (NTC 2008) con periodo di ritorno $T_R=475$ anni e, in un caso, anche con $T_R=2475$ anni.

Considerando un parametro integrale come la Housner Intensity (HI), che meglio rappresenta il potenziale distruttivo di un evento sismico (*), emerge che le azioni registrate superano ancora quelle attese con $T_R=475$ anni ma non quelle $T_R=2475$ anni.

(*) A. Masi, M. Vona, M. Mucciarelli, 2009. *Selection of natural and synthetic accelerograms for seismic vulnerability studies on RC frames*, Journal of Structural Engineering, ASCE Special Issue devoted to "Earthquake Ground Motion Selection and Modification for Nonlinear Dynamic Analysis of Structures".

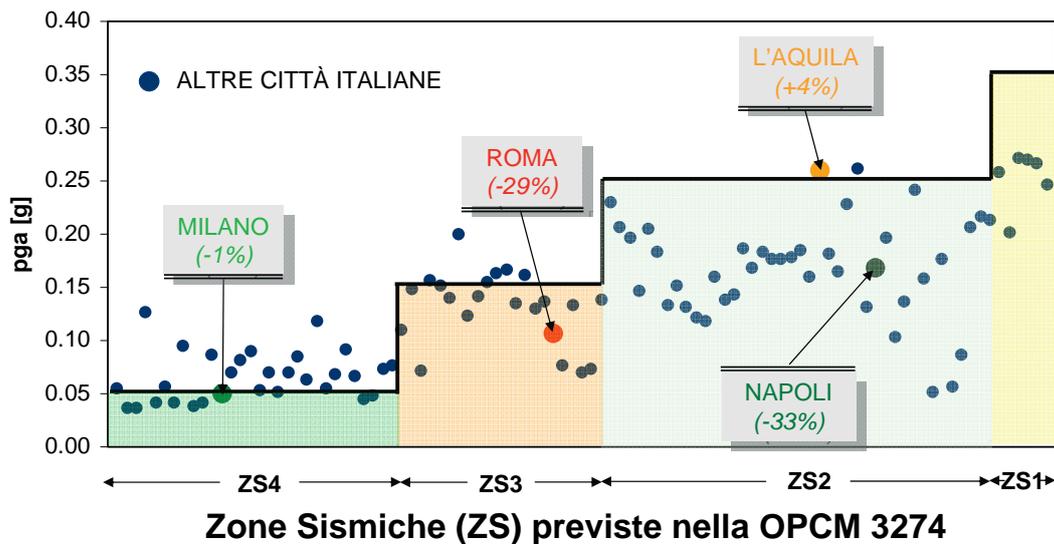
Pericolosità e Classificazione Sismica

Valori dell'accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi: **PGA ($T_R = 475$ anni)**



Azioni sismiche: OPCM3274 vs NTC2008

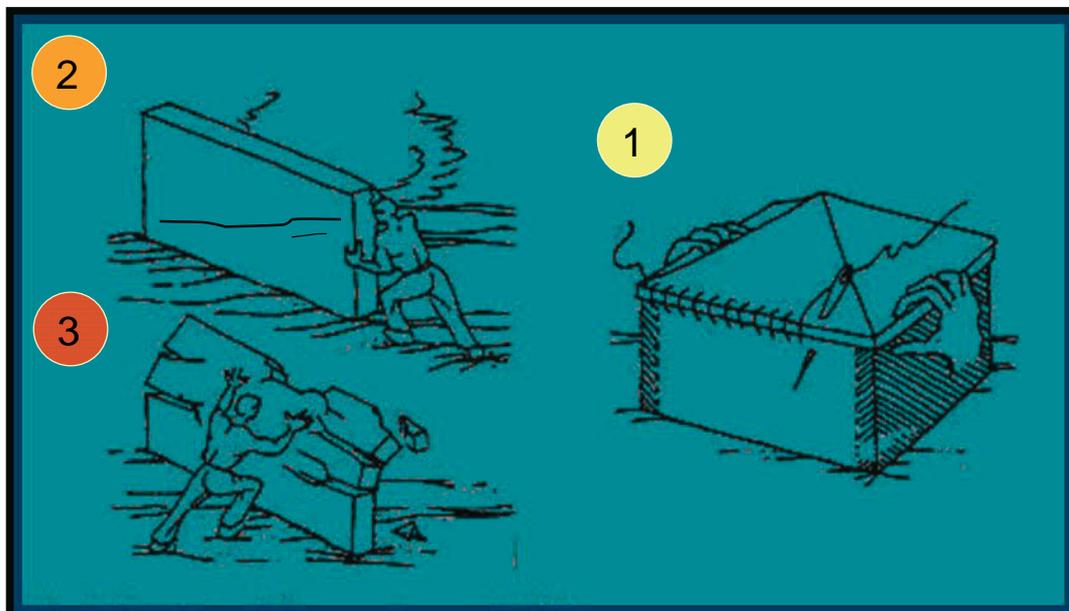
Valori delle intensità sismiche di progetto per i capoluoghi di provincia italiani: PGA ($T_R=475$ anni)



La vulnerabilità delle strutture in muratura

IL COMPORTAMENTO "SCATOLARE" (1)

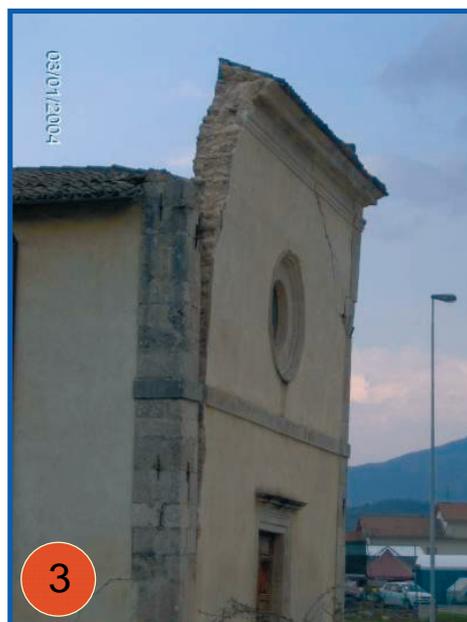
COLLASSO NEL PIANO (2) E FUORI DEL PIANO (3) DELLE PARETI



Prime riflessioni sull'esperienza del terremoto in Abruzzo

La vulnerabilità delle strutture in muratura

ESEMPI DI COLLASSO NEL PIANO (2) E FUORI DEL PIANO (3) DELLE MURATURE



La vulnerabilità delle strutture in muratura

IL RUOLO DELLE CATENE



Le catene limitano - se ben realizzate ed efficienti - il collasso fuori del piano delle murature.

Emerge una ampia diffusione di tali elementi negli edifici - meno danneggiati - del centro de L'Aquila.



Foto tratte da: B. Calderoni, E. A. Cordasco, C. Giubileo & L. Migliaccio (2009), Preliminary report on damages suffered by masonry buildings in consequence of the L'Aquila earthquake of 6th April 2009

La vulnerabilità delle strutture in c.a.

IL “PARTICOLARE” ... FONDAMENTALE !



I particolari costruttivi hanno un ruolo determinante per ottenere buone prestazioni sismiche.

La vulnerabilità delle strutture in c.a.

Esempi di meccanismi di danno non favorevoli



La Gerarchia delle Resistenze (Capacity Design)

La progettazione effettuata secondo regole di *capacity design* consente di evitare crisi di tipo fragile in modo da ottenere un comportamento sismico globale più favorevole (dissipativo e duttile).



Le regole di *capacity design* prevedono che:

- la crisi nelle travi preceda quella dei pilastri (travi deboli – pilastri forti);
- la crisi per flessione preceda quella per taglio

-

Prime riflessioni sull'esperienza del terremoto in Abruzzo

La vulnerabilità delle strutture in c.a.

IL PIANO "SOFFICE"

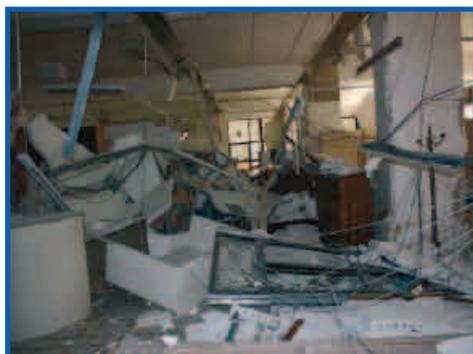


La presenza di un piano caratterizzato da ampie aperture o assenza delle tamponature determina un punto di debolezza per la struttura che può comportare un collasso di piano, prematuro e fragile



La vulnerabilità delle strutture in c.a.

IL DANNO NON STRUTTURALE



Il danneggiamento degli elementi non strutturali (tamponature e/o tramezzi) rende inagibile l'edificio e può comportare gravi conseguenze sul piano sociale ed economico, in particolare nel caso di strutture strategiche (es. ospedali) ed a rischio rilevante in caso di collasso (es. scuole).

I materiali da costruzione

Le reazioni tra cemento ed acqua nella preparazione del calcestruzzo creano un **ambiente alcalino** (*pH-basico*). In tale condizione il **fenomeno di ossidazione** (*corrosione*) delle barre di armatura è **fortemente rallentato**.

Le **impurità** (*cloruri*) presenti nei materiali di composizione del calcestruzzo (*es. acqua, inerti*) **favoriscono la corrosione**.

La **corrosione comporta**: 1) **disgregazione** delle **barre** con **aumento di volume**; 2) **distacco del copriferro** per l'aumento di volume delle barre.

Lo **stato delle armature** osservato in conseguenza del danneggiamento di molte **strutture in c.a.** a L'Aquila, **non evidenzia fenomeni significativi di corrosione** (come ci si poteva attendere in presenza di sabbia di mare nel calcestruzzo !!).

Il cemento armato non è eterno: la manutenzione



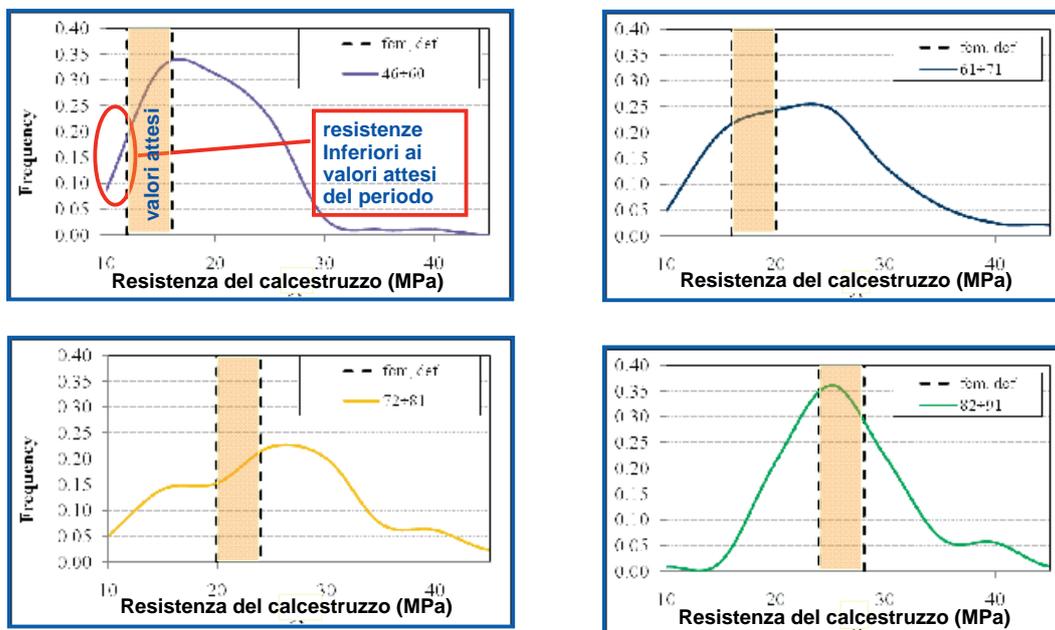
Esempi di degrado del calcestruzzo affiancati da fenomeni di ossidazione nelle barre di armatura (immagini da edifici non abruzzesi)



Prime riflessioni sull'esperienza del terremoto in Abruzzo

I materiali da costruzione

Distribuzione della resistenza del calcestruzzo in diversi periodi (*)



(*) A. Masi, M. Vona. Estimation of the in-situ concrete strength: provisions of the European and Italian seismic codes and possible improvements, Workshop Quali Prospettive per l'Eurocodice 8 alla Luce delle Esperienze Italiane, Convegno Finale del Progetto ReLuis-DPC, Napoli, 1-3 aprile 2009

Le regole: vecchie e nuove Norme Tecniche

Le prescrizioni contenute nel **D.M. 16.1.1996** non utilizzano il forte avanzamento delle conoscenze sul comportamento sismico delle strutture...

... infatti mancano indicazioni essenziali su:

- **duttilità**
- **gerarchia delle resistenze**
- **dettagli costruttivi**

! Solo con la circolare n.65/1997 fu prevista la staffatura del nodo !

Le regole: vecchie e nuove Norme Tecniche

Le nuove **Norme Tecniche NTC2008** si pongono all'avanguardia, anche rispetto agli Eurocodici, per la progettazione delle **nuove costruzioni** e, soprattutto, per la **valutazione e l'adeguamento delle costruzioni esistenti**.

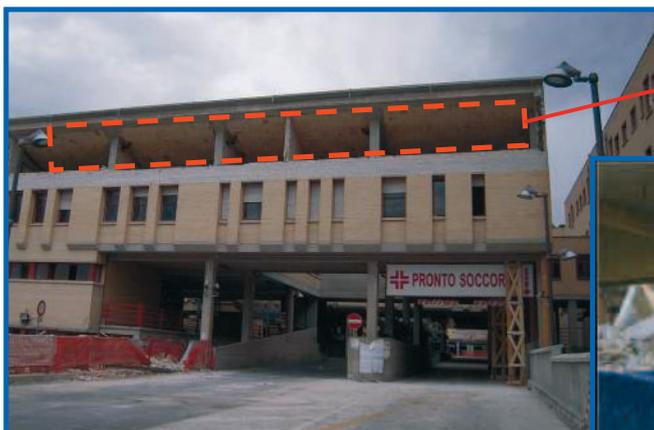
Inoltre **particolare attenzione** è posta sulle conseguenze del **danneggiamento degli elementi non strutturali**. Oltre allo **Stato Limite Ultimo (SLU)** sono introdotte le **verifiche di 2 differenti Stati Limite di Esercizio (SLE)** :

- 1) **Stato Limite di Danneggiamento (SLD)**
- 2) **Stato Limite Operatività (SLO)**

Le strutture strategiche

In occasione di eventi sismici, le strutture con funzione strategica (caserme, ospedali, centri di comando), oltre alla **sicurezza**, devono garantire anche condizioni di **operatività**.

In alcuni casi la condizione di operatività (non richiesta dalle vecchie norme tecniche) non è stata garantita per il verificarsi di danni di tipo non strutturale.



tamponatura crollata

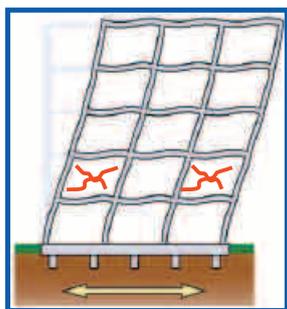


Prime riflessioni sull'esperienza del terremoto in Abruzzo

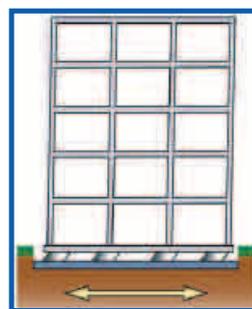
Le strutture strategiche

Con sistemi costruttivi “tradizionali” il danno non strutturale è pressoché inevitabile in occasione di terremoti particolarmente violenti.

Il problema può essere risolto efficacemente adottando tecniche “innovative” di protezione sismica, consentite in modo ordinario nelle nuove Norme Tecniche, come l'**isolamento sismico**.



sistema “tradizionale”

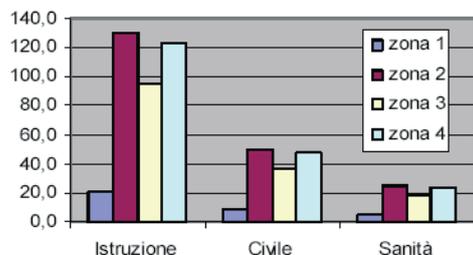


sistema con isolamento sismico alla base

Deficit di Protezione Sismica (dati 2007)

Il numero di edifici pubblici italiani ante 1980 da sottoporre a verifica è stato stimato dal DPC (*Dolce et al., ANIDIS 2007*) in circa 75.000, di cui circa 35.000 nelle zone 1 e 2.

Stima volumi (milioni di mc) - proiezioni nazionali censimento LSU



Nelle sole zone 1 e 2 sono da sottoporre a verifica (privi di protezione sismica):

Scuole → 150 milioni di mc

Ospedali → 30 milioni di mc

Il grande deficit di protezione sismica che si è accumulato in Italia impone una progettazione degli interventi più efficace sul piano tecnico e più efficiente sul piano economico. Un ruolo determinante può e deve essere svolto dalle **indagini** per una accurata conoscenza delle strutture da valutare ed adeguare (*).

(*) G. Manfredi, A. Masi, R. Pinho, G. Verderame, M. Vona, 2007. *Manuale per la valutazione degli edifici esistenti in cemento armato*, IUSS PRESS, Pavia.



Alcune considerazioni di carattere generale

- Le nuove norme tecniche sono importanti ... ma non taumaturgiche !!
- Il problema non è la mancanza di regole ... anzi !!
- Il problema è l'applicazione ed il **rispetto delle regole**
- Il **grave deficit di protezione sismica del patrimonio edilizio esistente** richiede una sorta di "Piano Marshall" per la messa in sicurezza
- Gli interventi vanno progettati e realizzati in una logica di **integrazione e interazione** (sicurezza strutturale, barriere architettoniche, efficienza energetica, ecc.)
- L'importanza della fase esecutiva e dei controlli: ... **dal progetto antisismico all'edificio antisismico !!**
- Tutte le scelte e le decisioni devono mirare a coniugare **RIGORE e SEMPLIFICAZIONE**

Prime riflessioni sull'esperienza del terremoto in Abruzzo

BIBLIOGRAFIA

Manfredi G., Masi A., Pinho R., Verderame G., Vona M., 2007. *Manuale per la valutazione degli edifici esistenti in cemento armato*, IUSS PRESS, Pavia

Masi A., Vona M., Mucciarelli M., 2009. *Selection of natural and synthetic accelerograms for seismic vulnerability studies on RC frames*, Journal of Structural Engineering, ASCE Special Issue devoted to "Earthquake Ground Motion Selection and Modification for Nonlinear Dynamic Analysis of Structures".

Masi A., Vona M., 2009. *Estimation of the in-situ concrete strength: provisions of the European and Italian seismic codes and possible improvements*, Workshop Quali Prospettive per l'Eurocodice 8 alla Luce delle Esperienze Italiane, Convegno Finale del Progetto ReLuis-DPC, Napoli, 1-3 aprile 2009.

NTC 2008, *Norme tecniche per le costruzioni*, D.M. 14 gennaio 2008.

OPCM 3274, Ordinanza del Consiglio dei Ministri n. 3274, 2003. *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*. GU n. 72 giugno 2003.

Quick Earthquake Survey Team (QUEST), 2009. *Rapporto sugli effetti del terremoto aquilano del 6 aprile 2009*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. 20.04.2009.



Consiglio Nazionale degli Ingegneri

*Prime riflessioni sull'esperienza
del terremoto in Abruzzo*

Angelo MASI
DiSGG, Università della Basilicata
(angelo.masi@unibas.it)

Centro di Competenza sul Rischio Sismico della Regione Basilicata (CRiS)

(con la collaborazione di V. Manfredi e L. Chiauzzi)

