



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI TRENTO



VI Workshop di Geofisica
PERICOLOSITA' SISMICA, MICROZONAZIONE E
EFFETTI DI SITO

Rovereto, 11 dicembre 2009

Museo Civico di Rovereto

**Le caratteristiche del terremoto d'Abruzzo
del 6 aprile 2009 e i danni alle strutture**

Oreste S. Bursi, PhD PE MASCE

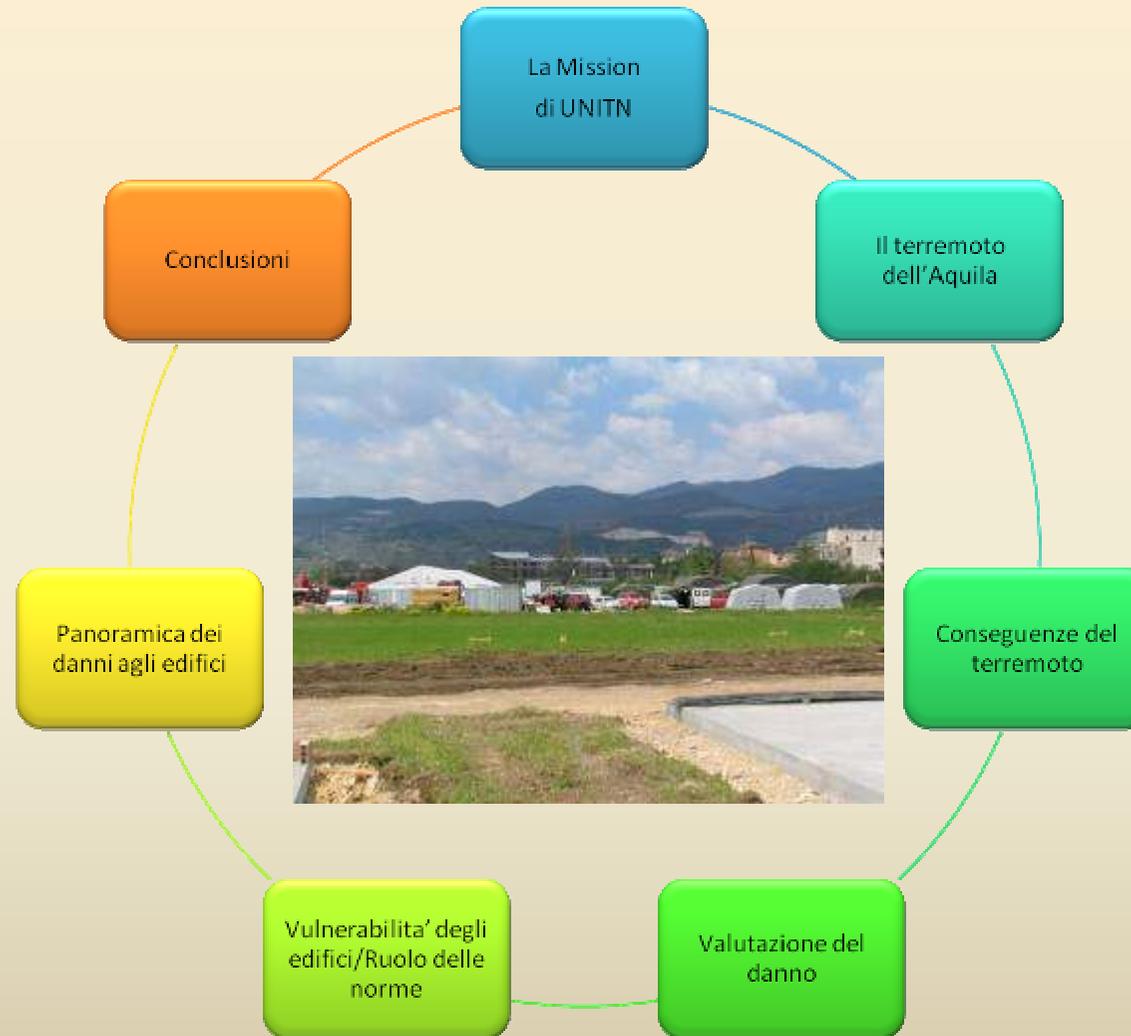
RINGRAZIAMENTI

L'autore desidera ringraziare per l'invito, il supporto, l'assistenza e i contributi di alcune organizzazioni e singoli.

- Il Centro di Aggiornamento Permanente in Geologia Applicata all'Ingegneria
- Il rettore Prof. D. Bassi e il Prof. P. Zanon che hanno permesso sia le ispezioni che le visite a L'Aquila.
- La Protezione Civile e la Provincia Autonoma di Trento (PAT) per l'assistenza e il supporto nel campo.

BURSI, O. S. , Dusatti T., Pucinotti R., "A Reconnaissance report. The April 6, 2009, L'Aquila Earthquake. Italy", Report, <http://www.reluis.it>, 2009.

Presentazione



Presentazione/cont.



Missioni sul campo

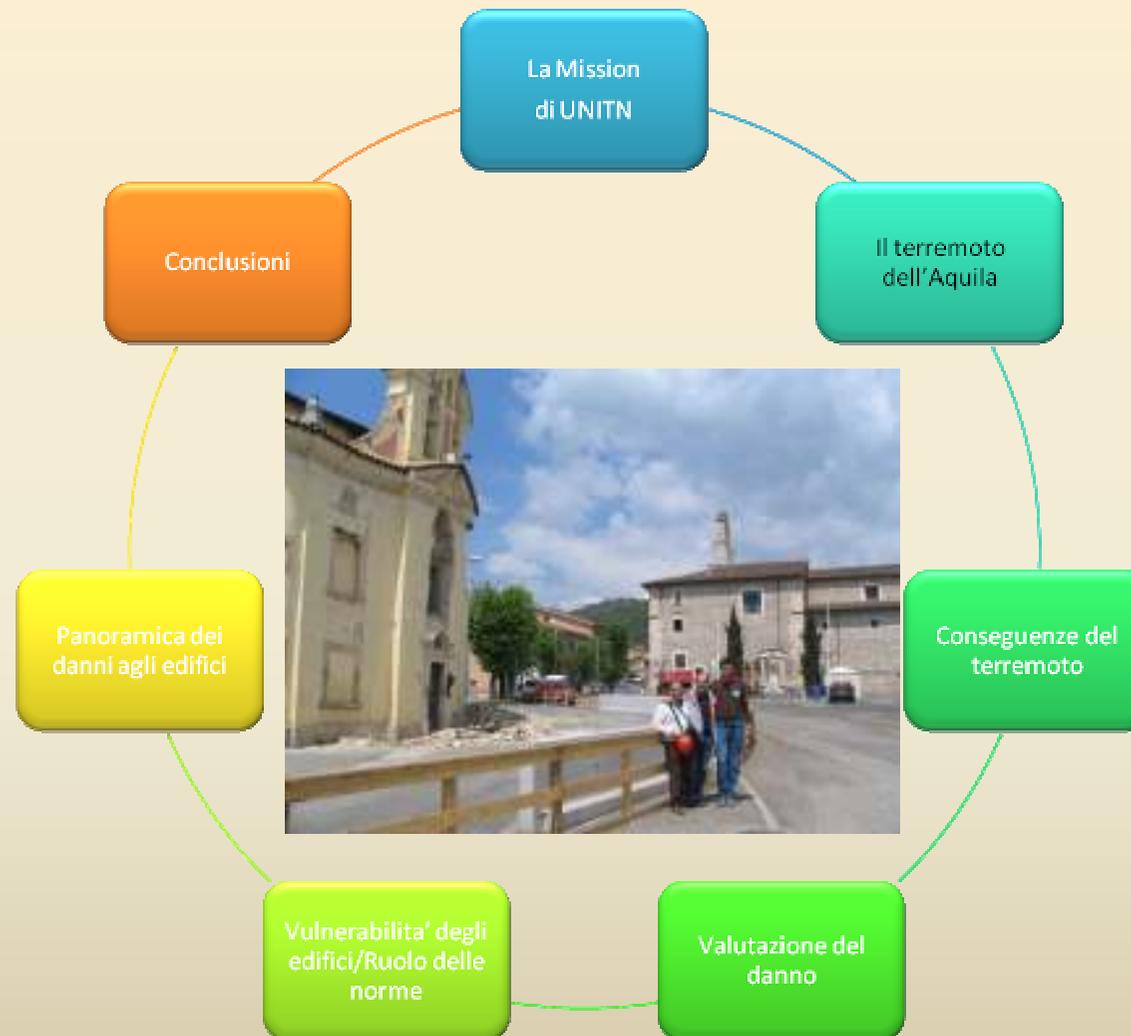
Prove in Laboratorio @UNITN



“Un grande laboratorio all’aperto”

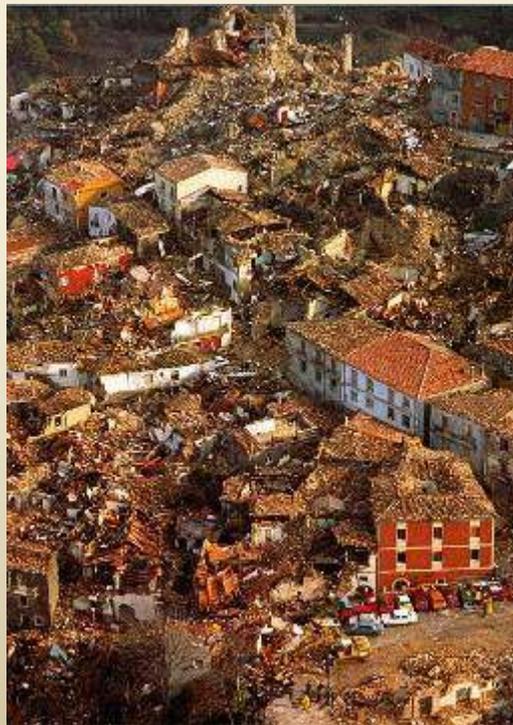


Presentazione/cont.



PRINCIPALI TERREMOTI IN ITALIA 1976-2009

Luogo	Data	M_I	Vittime
Friuli	06-05-1976	6.4	976
Irpinia	23-11-1980	6.9	2 570
Umbria, Marche	26-09-1997	5.8	11
San Giuliano (CB)	31-10-2002	5.6	29
L'Aquila	06-04-2009	5.8 ($M_w=6.3$)	308



Irpinia (1980)

L'Aquila (2009)

San Giuliano (2002)



IL TERREMOTO AQUILANO E LE MAGNITUDO

Il terremoto aquilano del 6 aprile 2009 ha avuto Magnitudo Richter $M_I=5.8$ (INGV) e Magnitudo momento $M_W=6.3$ (USGS). Distanza epicentrale a meno di 10km da L'Aquila. Il terzo terremoto più forte dopo quello del Friuli del 1976 ($M_W=6.4$) e quello dell'Irpinia del 1980 ($M_W=6.9$)

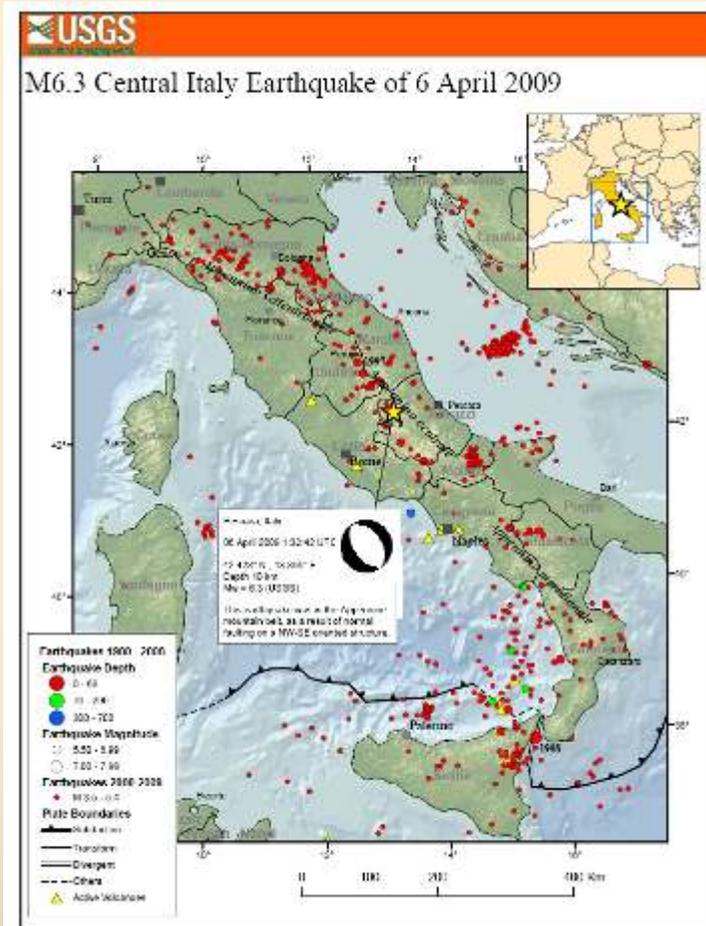
La Magnitudo momento M_W dipende dal momento sismico che equivale al prodotto tra area di faglia, dislocazione e resistenza delle rocce, mentre la Magnitudo Richter M_I è una misura della grandezza relativa tra terremoti basata sul confronto delle onde sismiche di frequenza pari a circa 1 Hz.

Anno	Me	Gi	Luogo	Lat	Lon	M_W
1349	9	9	Aquilano	42.17	13.38	6.46
1461	11	26	Aquilano	42.31	13.54	6.46
1703	2	2	Aquilano	42.47	13.2	6.65
1762	10	6	Aquilano	42.3	13.58	5.9
1791	1		L'Aquila	42.36	13.40	5.37
1904	2	24	Marsica	42.1	13.32	5.67
1950	9	5	Gran Sasso	42.52	13.66	5.73
2009	4	6	L'Aquila	42.33	13.33	6.3



Dati da catalogo parametrico dei terremoti italiani:
<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/>

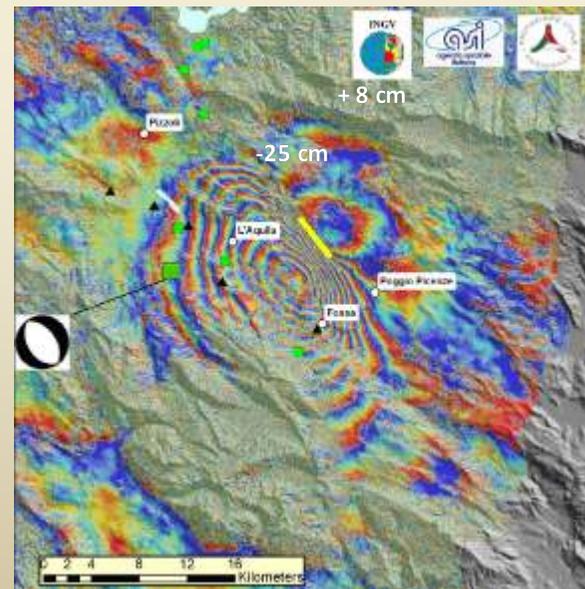
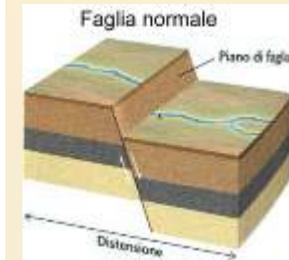
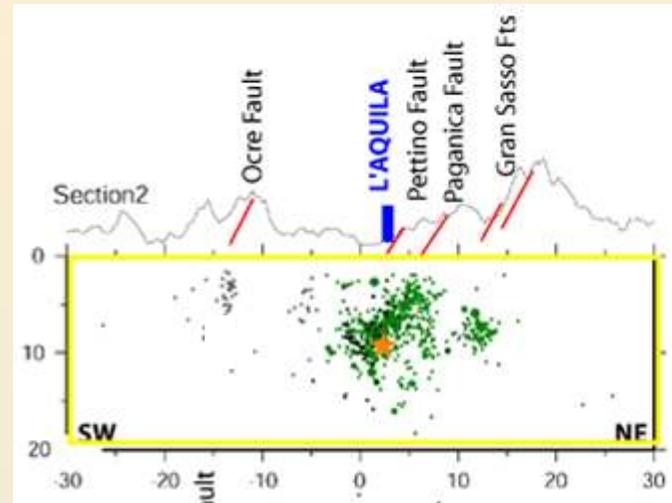
Caratterizzazione del terremoto



$M_l = 5.8$ / $M_w = 6.2$ / Depth 8.8 km

Normal faulting NW-SE

Local Time: 03:32 AM / Strong motion duration ~ 10 s

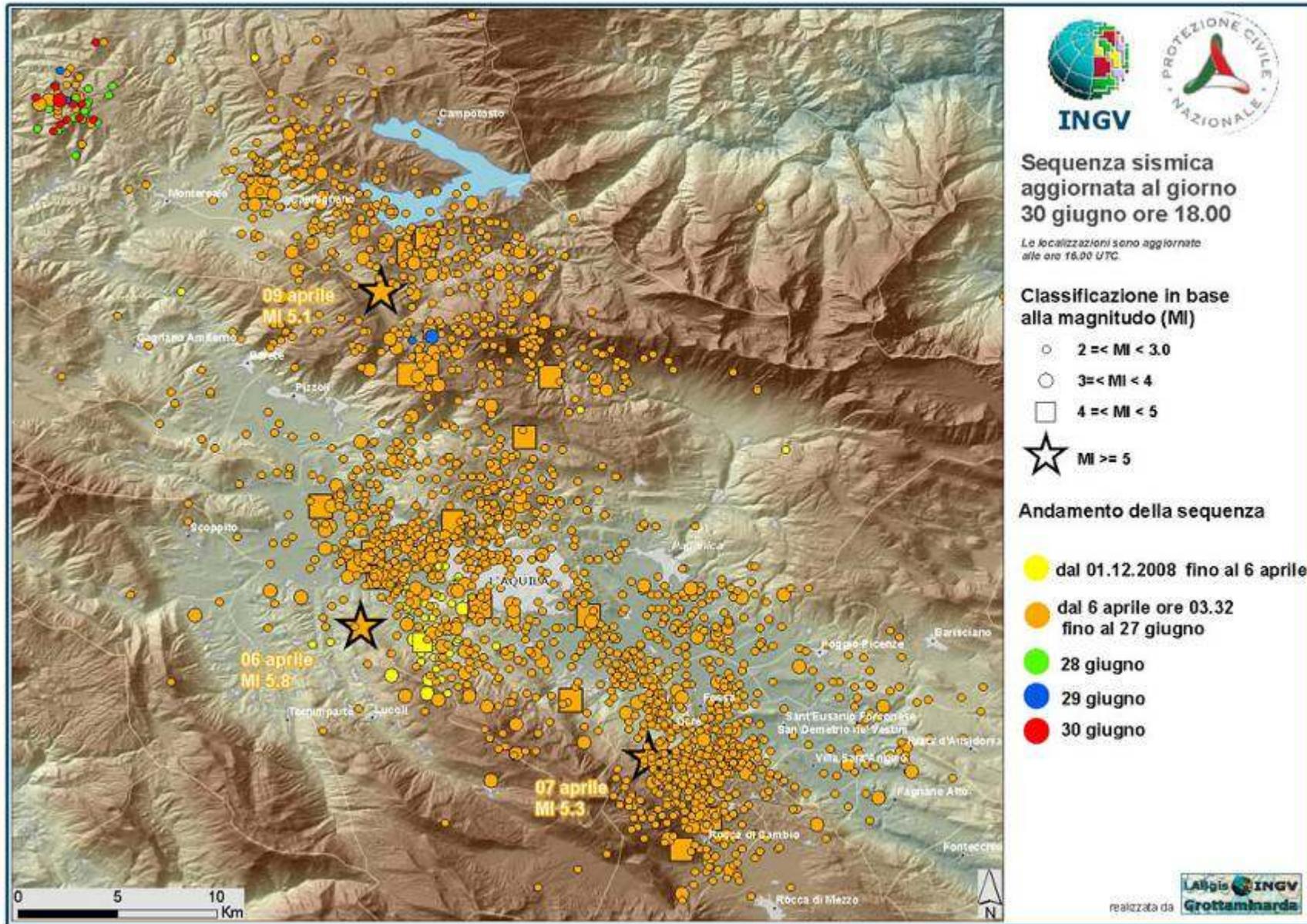


DinSAR Image

4 km dislocation

90 cm slip along the fault plane

SCIAME SISMICO DOPO IL 6 APRILE 2009



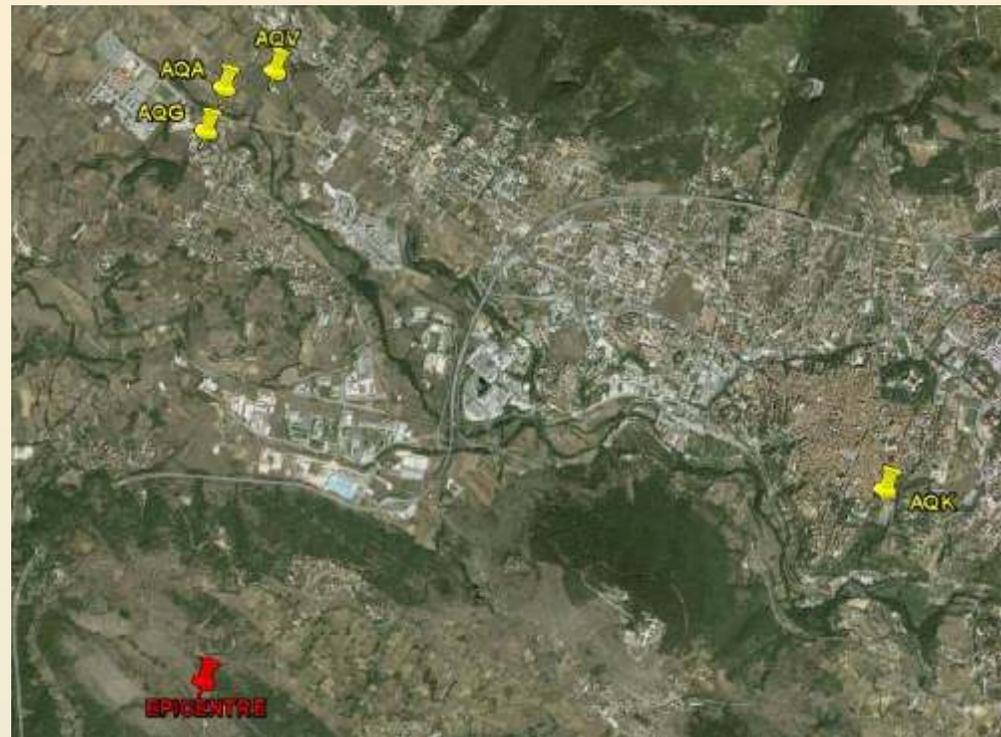
CARATTERISTI CHE TERREMOTO DEL 6 APRILE 2009

Table 1 – Peak Values for Direction X

Record Identifier	PGA	PGV	PGD	Epicentral Distance
	[cm/s ²]	[cm/s]	[cm]	[km]
GX066	613.8	36.7	8.4	4.8
FA030	408.2	33.6	7.9	4.3
CU104	386.8	30.5	6.4	5.8
AM043	335.5	30.3	7.8	5.6
EF021	150.6	9.7	3.0	18
TK003	79.2	4.6	2.6	31.6
BI016	60.6	10.5	4.6	34.9
CR008	67.1	6.1	1.3	49.4
BY048	42.4	3.3	1.0	22.4
CR003	31.7	2.7	0.8	56.5

Table 3 – Peak Values for Direction Z

Record Identifier	PGA	PGV	PGD	Epicentral Distance
	[cm/s ²]	[cm/s]	[cm]	[km]
GX066	411.7	13.4	2.5	4.8
FA030	211.4	9.1	1.9	4.3
CU104	373.2	9.4	1.9	5.8
AM043	343.8	15.0	4.9	5.6
EF021	110.3	5.5	1.5	18
TK003	44.1	5.7	1.9	31.6
BI016	25.7	3.6	1.3	34.9
CR008	29.7	3.8	0.6	49.4
BY048	22.9	3.2	0.8	22.4
CR003	23.0	2.1	1.0	56.5



- FA030 – station *AQG*, site Colle dei Grilli
Soil profile type B, Topography factor ST=1,1
- GX066 – station *AQV*, site Aterno Valley
Soil profile type B, Topography factor ST=1,0
- AM043 – station *AQK*, site Aquila Parking
Soil profile type C, Topography factor ST=1,1
- CU104 – station *AQA*, site Aterno River
Soil profile type B, Topography factor ST=1,0

Fonte: Reluis 2009 – E. Chioccarelli, F. De Luca e I. Iervolino
Preliminary study of L'Aquila earthquake ground motion records

CARATTERISTICHE DEL TERREMOTO DEL 6 APRILE 2009

ID station / direction analysis	PGA [g]		
	X - direction	Y- direction	Z - direction
AQG	0.42	0.43	0.22
AQA	0.39	0.45	0.38
AQV	0.63	0.60	0.42
AQK	0.34	0.34	0.35

Table 2. Peak Ground Acceleration (PGA) for each station (AQG, AQA, AQV and AQK) and for horizontal (X and Y) and vertical (Z) components. The values have been reported as fraction of gravity acceleration.

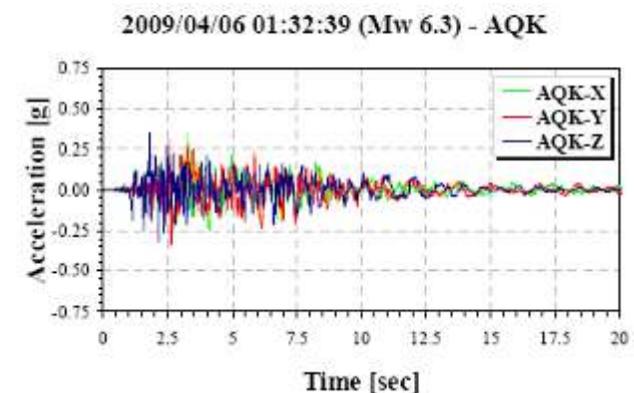
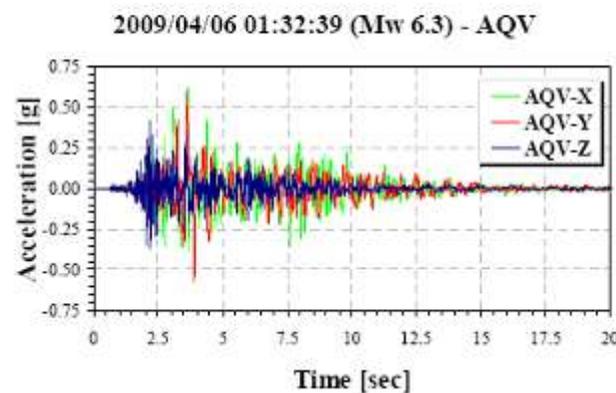
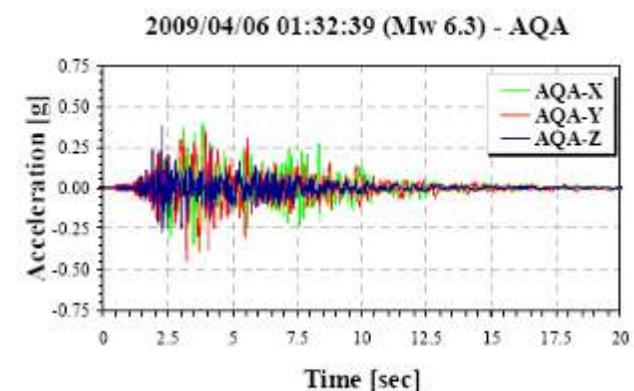
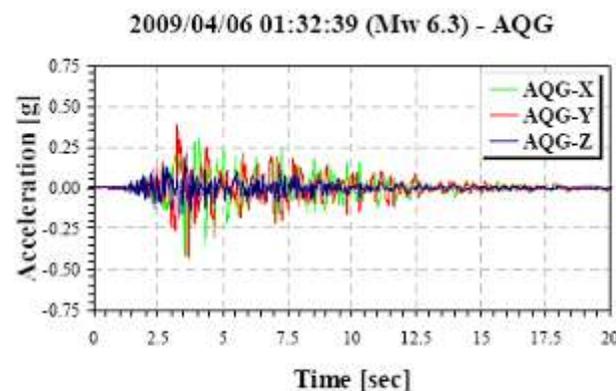
Storie di accelerazione registrate dalle stazioni localizzate in un'area entro 6 Km dall'epicentro.

Fonte: Reluis 2009

– A. Masi e L.

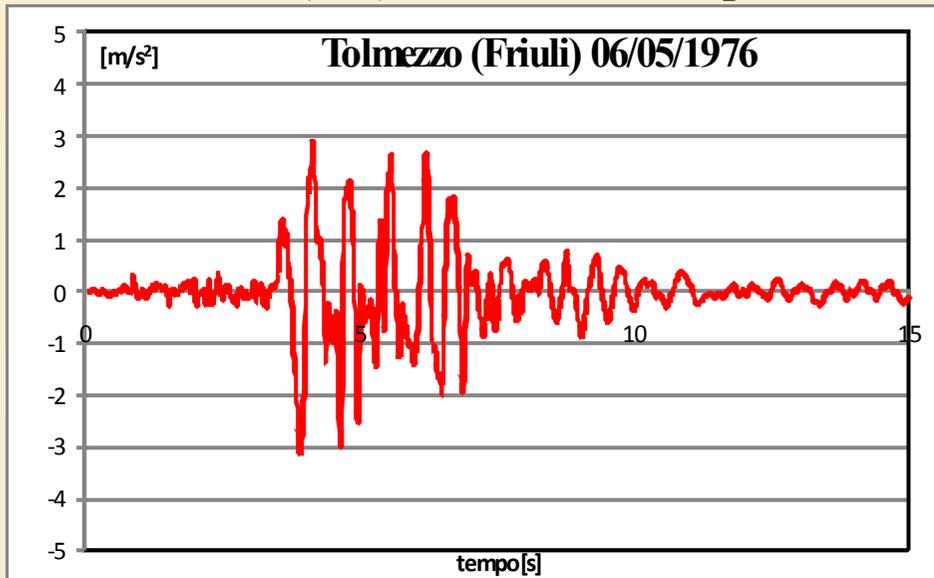
Chiauzzi

Preliminary analysis on the mainshock of the Aquilano earthquake occurred on 6 april 2009

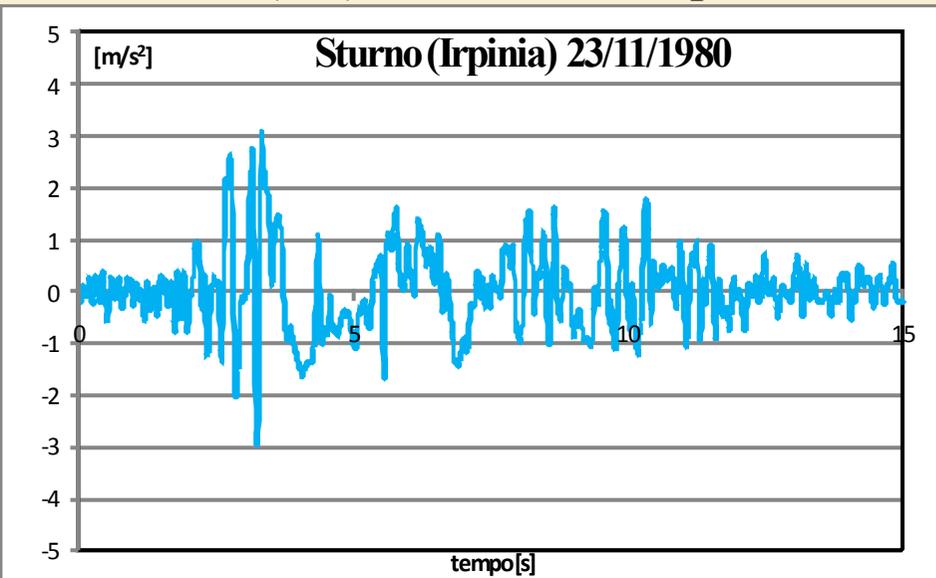


GLI ACCELEROGRAMMI – TERREMOTI STORICI

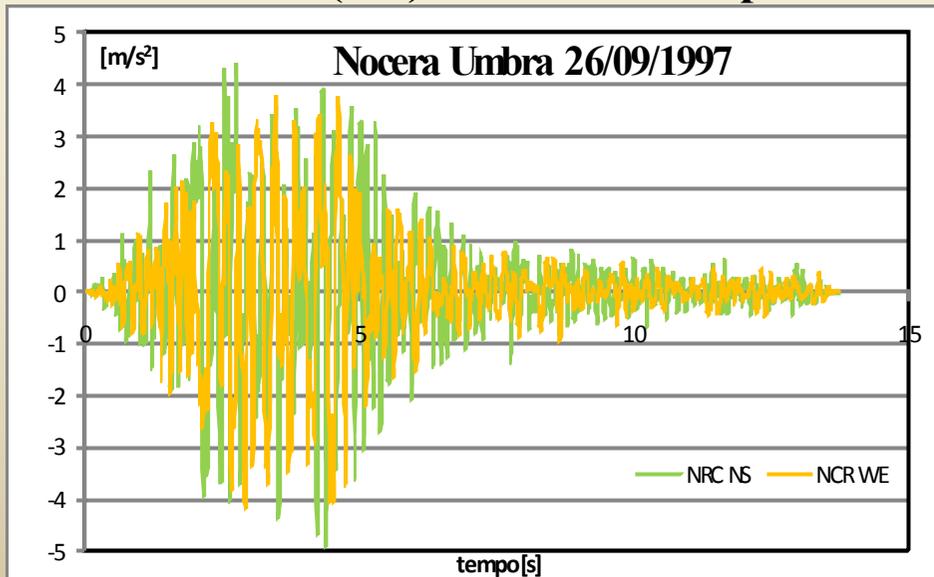
Tolmezzo(UD) a 21.7km dall'epicentro



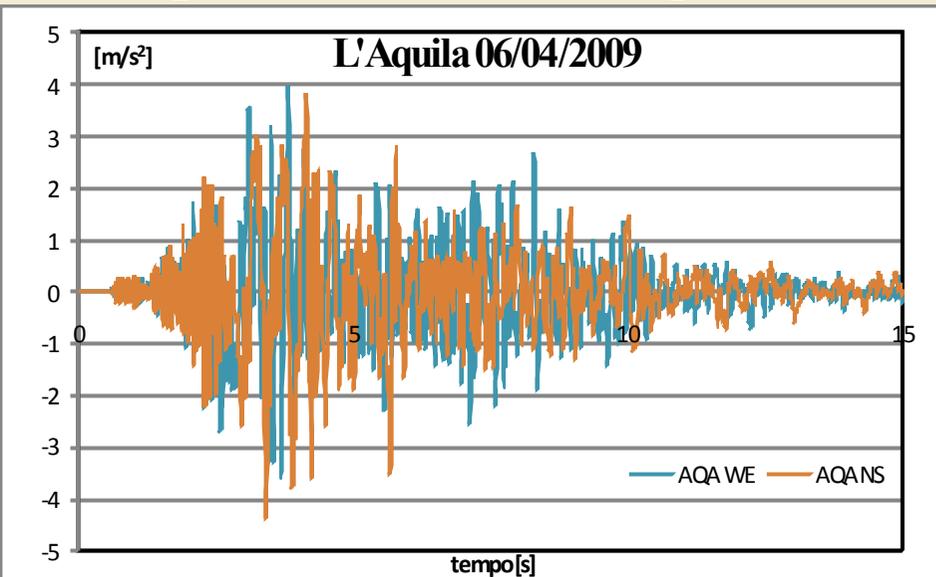
Sturno(AV) a 33.3km dall'epicentro



Nocera Umbra(PG) a 12.2km dall'epicentro



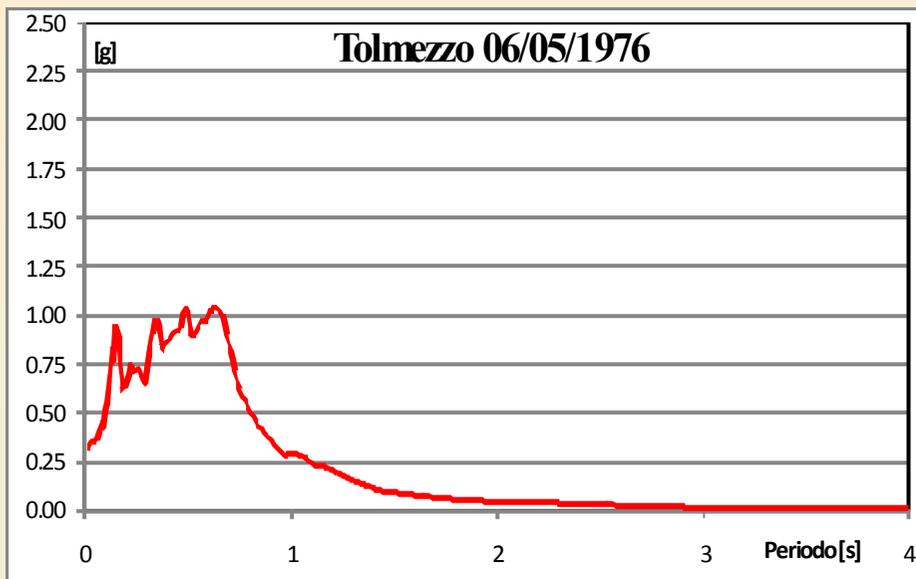
L'Aquila(AQ) a 4.5km dall'epicentro



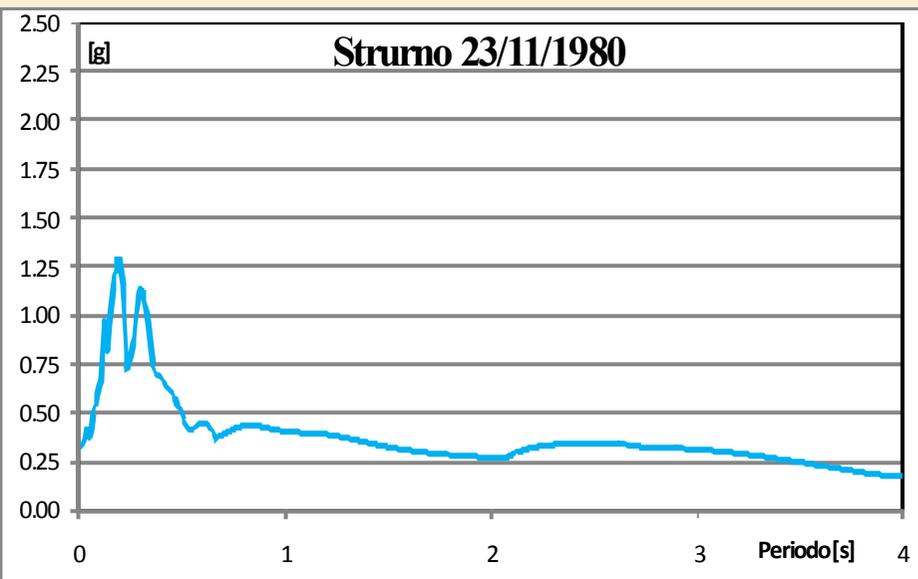
Riferimento dati accelerazioni: Working Group ITACA (2008) - Data Base of the Italian strong motion data:

SPETTRI DI RISPOSTA – TERREMOTI STORICI

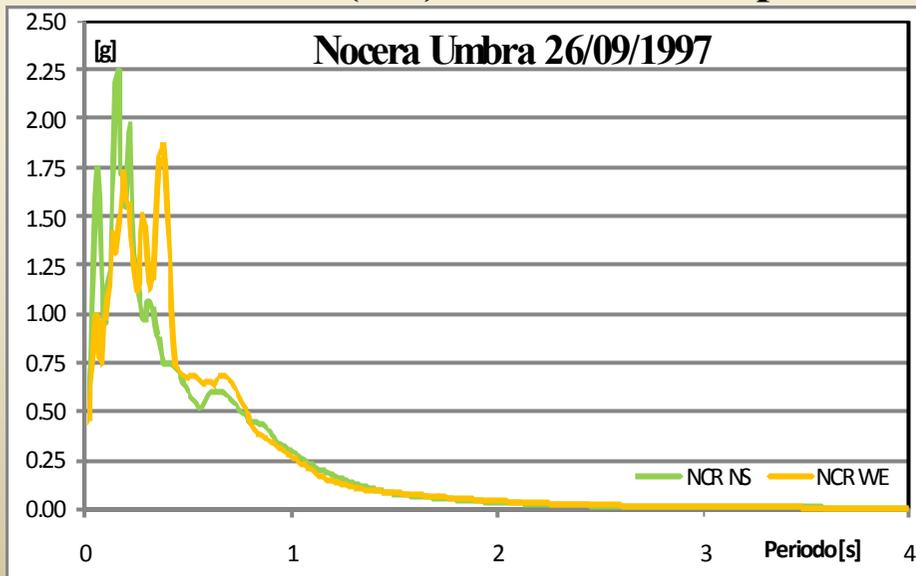
Tolmezzo(UD) a 21.7km dall'epicentro



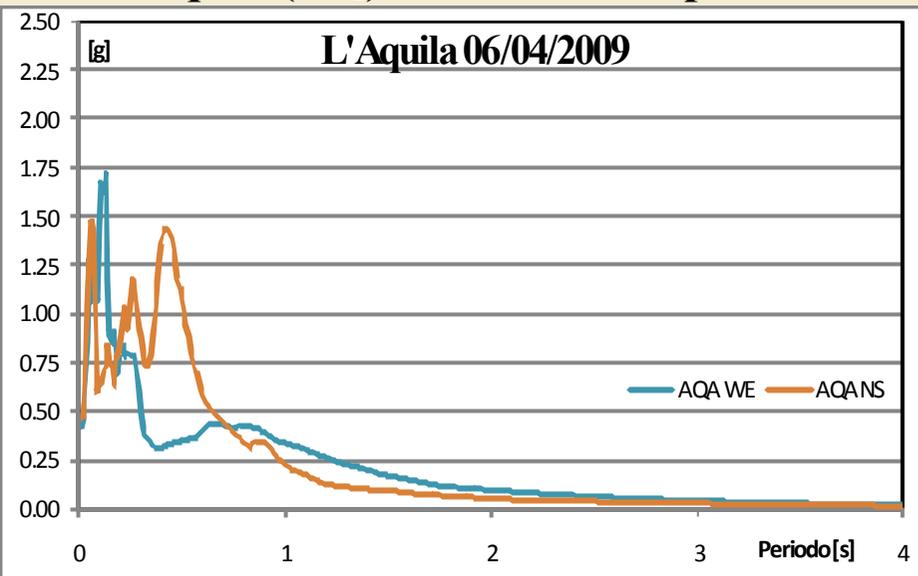
Sturno(AV) a 33.3km dall'epicentro



Nocera Umbra(PG) a 12.2km dall'epicentro

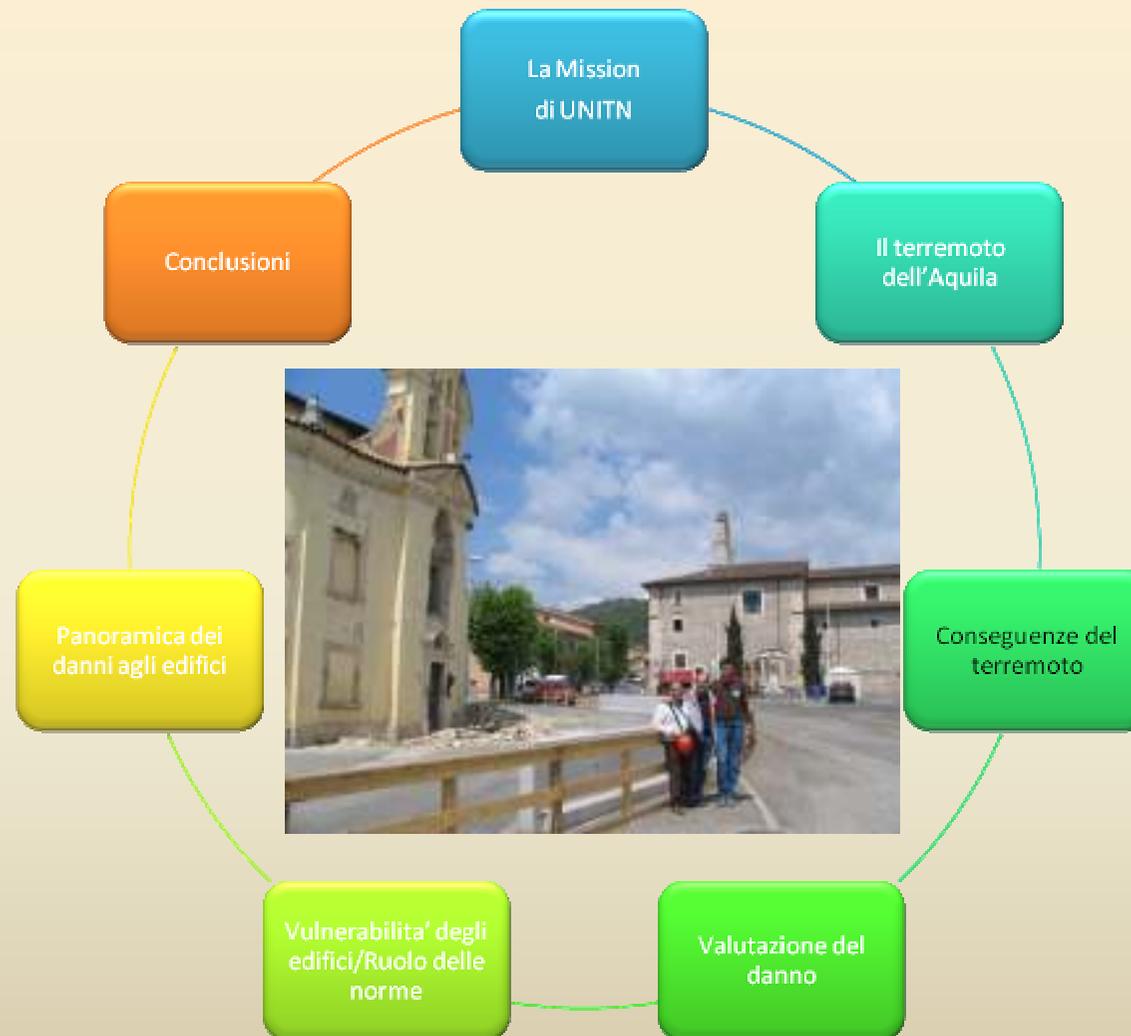


L'Aquila(AQ) a 4.5km dall'epicentro

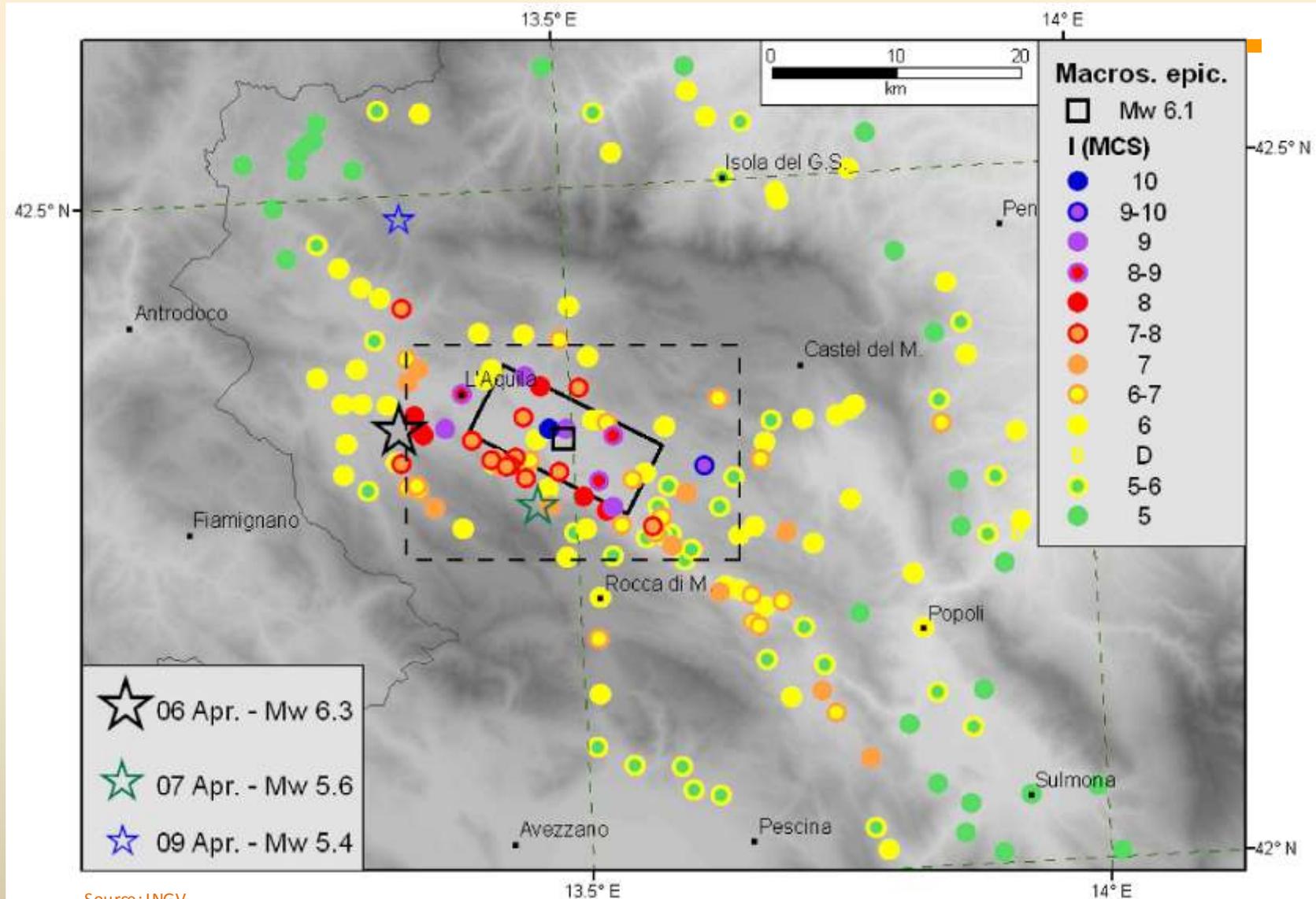


Riferimento dati accelerazioni: Working Group ITACA (2008) - Data Base of the Italian strong motion data:

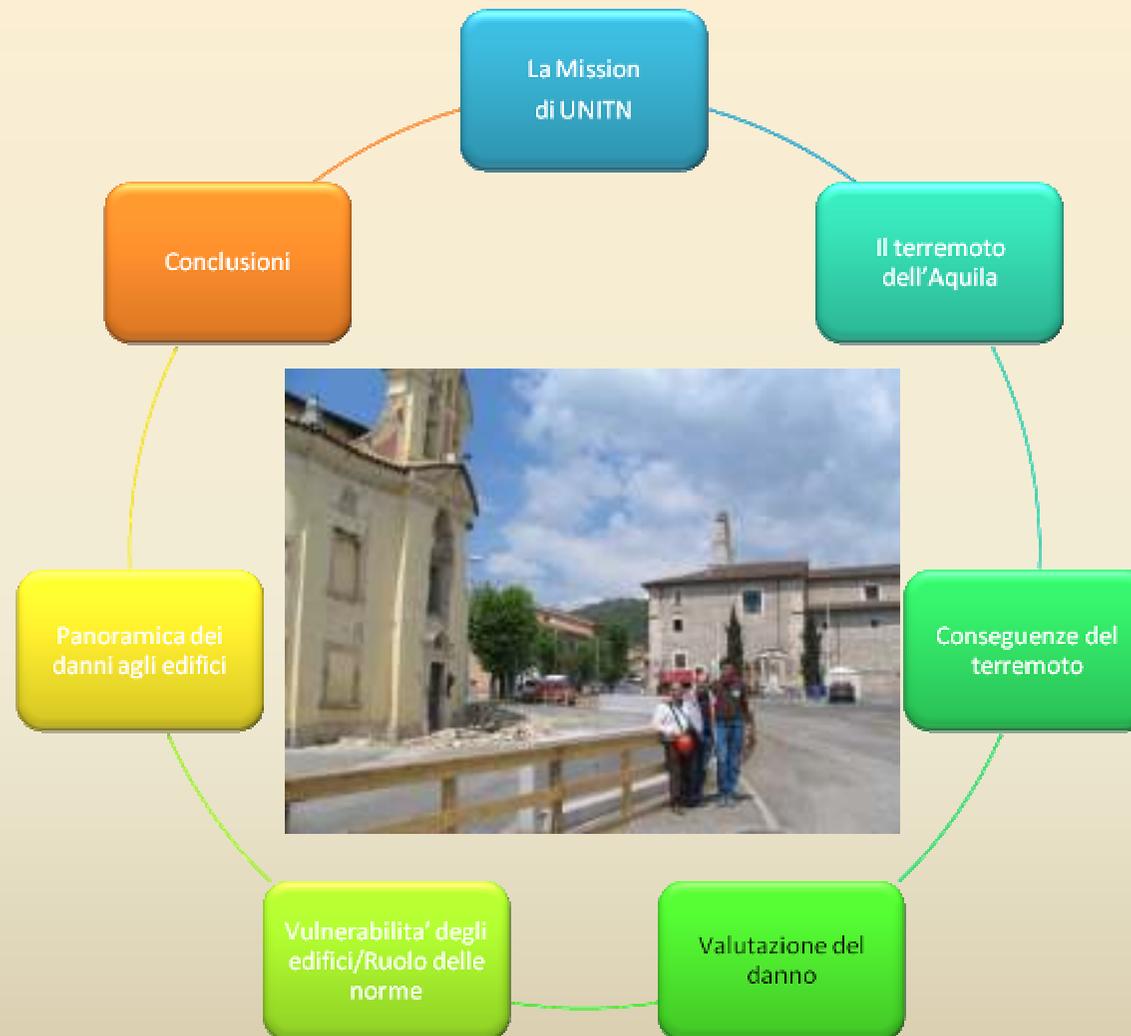
Presentazione/cont.



Effetti di sito



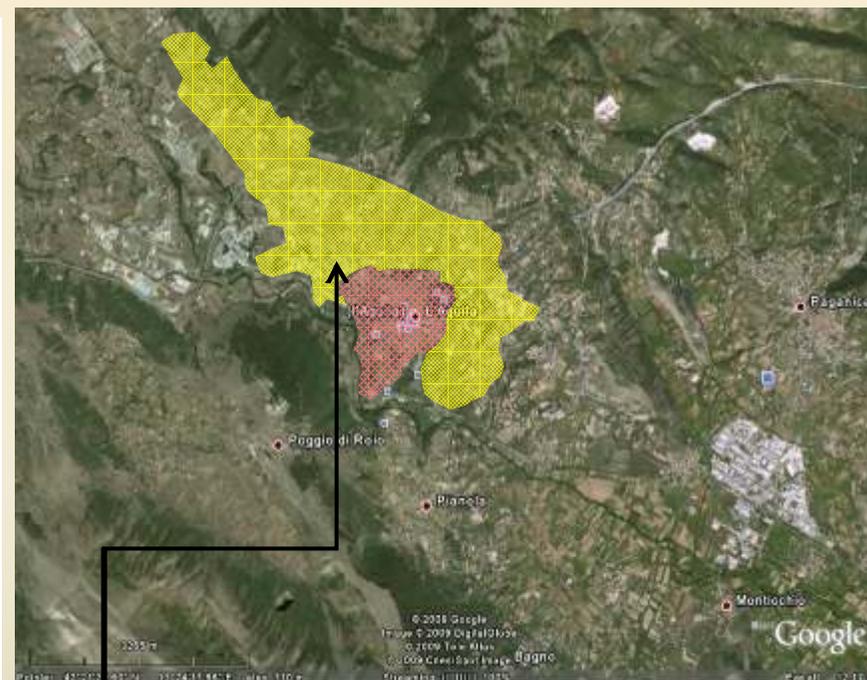
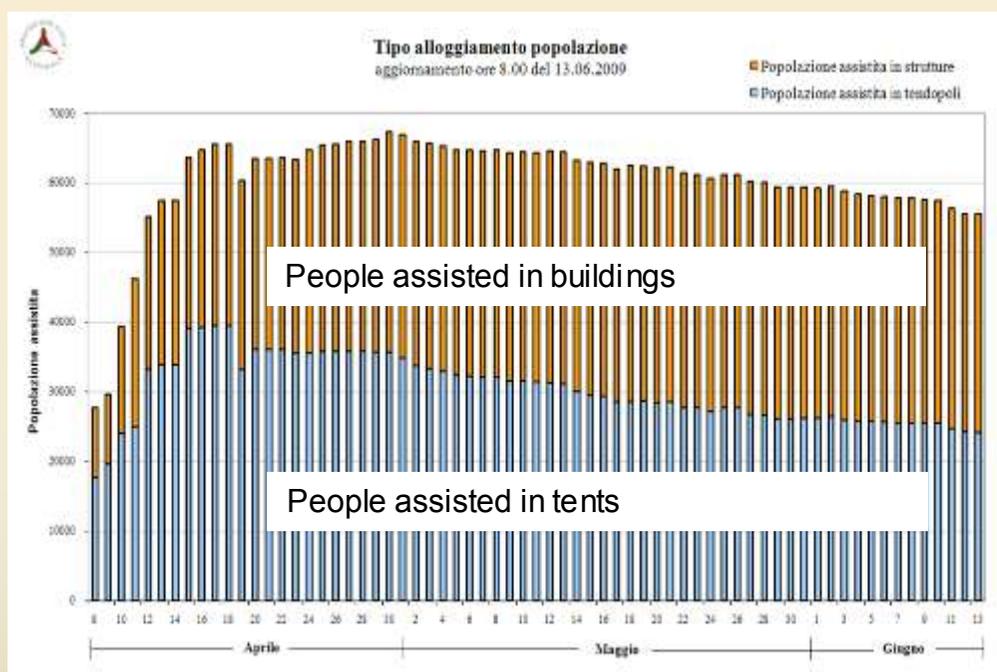
Presentazione/cont.



Strategie per valutare l'agibilita'



Circa 70,000 persone sono state assistite dalla Protezione Civile



La valutazione dell'AGIBILITA' inizio' dalle aree meno danneggiate , al fine di facilitare il rientro nelle abitazioni

Schede di valutazione di 1o livello

1st LEVEL FORM FOR POST-EARTHQUAKE DAMAGE AND USABILITY ASSESSMENT AND EMERGENCY COUNTERMEASURES IN RESIDENTIAL BUILDINGS

SECTION 1: Building identification

Province: _____ Municipality: _____ Locality: _____

Address: _____

Building identification details: Building name, Number floor, City/quarter floor, Apartment No., Building Use.

Building description table:

Building description	Code	Area	Use	No. of floors	Height	No. of apartments
1	01	01	01	01	01	01
2	02	02	02	02	02	02
3	03	03	03	03	03	03
4	04	04	04	04	04	04
5	05	05	05	05	05	05
6	06	06	06	06	06	06
7	07	07	07	07	07	07
8	08	08	08	08	08	08
9	09	09	09	09	09	09
10	10	10	10	10	10	10

SECTION 2: Building Typology (Residential, Secondary, Industrial, etc.)

SECTION 3: Masonry buildings

Horizontal structures	Masonry buildings										Other structures		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1. Not identified													
2. Results without the roof													
3. Results with the roof													
4. Rooms with flexible slab (concrete beams with a large span of floor slabs, beams and exterior load walls)													
5. Rooms with nonrigid slab (concrete beams with a small span of floor slabs, beams and exterior load walls)													
6. Rooms with rigid slab (concrete beams with a small span of floor slabs, beams and exterior load walls)													

SECTION 4: Damage to structural elements and existing short-term countermeasures

Structural component	DAMAGE TO STRUCTURAL ELEMENTS										EXISTING SHORT-TERM COUNTERMEASURES									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1. Vertical structures																				
2. Floors																				
3. Walls																				
4. Roof																				
5. Walls and partitions																				
6. Non-structural damage																				

SECTION 5: Damage to non-structural elements and existing short-term countermeasures

Damage	EXISTING SHORT-TERM COUNTERMEASURES									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Falling of plaster, ceiling, floor-slabs										
2. Falling of tiles, roof-slabs										
3. Falling of masonry partitions										
4. Falling of other masonry or external objects										
5. Damage to masonry or masonry systems										
6. Damage to masonry or masonry systems										

SECTION 6: External risk induced by other constructions and existing short-term countermeasures

Potential source	Risk on			Existing short-term countermeasures	
	Building	Other risk	Landmarks	Hazardity	DEFENSE OF DAMAGE PROTECTION
1. Existing buildings and adjacent buildings					
2. Failure of stabilization systems					

SECTION 7: Soil and Foundation

Soil description: _____

Foundation type: _____

SECTION 8: Usability assessment

Risk evaluation

RISK	USABILITY (0-10)	USABILITY (0-10)	USABILITY (0-10)	USABILITY (0-10)
LOW RISK	0-2	3-4	5-6	7-10
MEDIUM RISK	1	2	3	4

Building Classification

Classification	Description
A	USABLE building
B	USABLE building (partially or partially) but USABLE after short-term countermeasures
C	PARTIALLY USABLE building (*)
D	RESPONSIBLE USABLE building requiring a more detailed investigation
E	USABLE building
F	USABLE building due to external risk (*)

SECTION 9: Notes

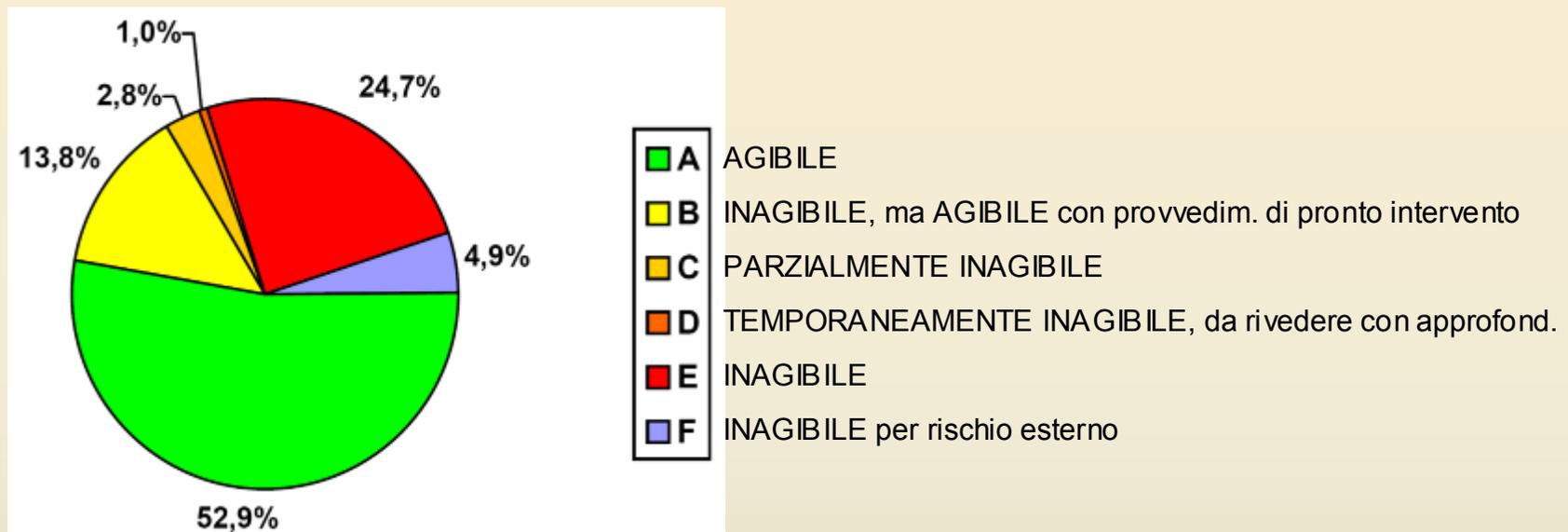
On damage, check on countermeasures, usability, etc.

Type	Date	Person of the building

The survey is completed by: _____ Signature: _____

Schede di valutazione per edifici, chiese e complessi monumentali

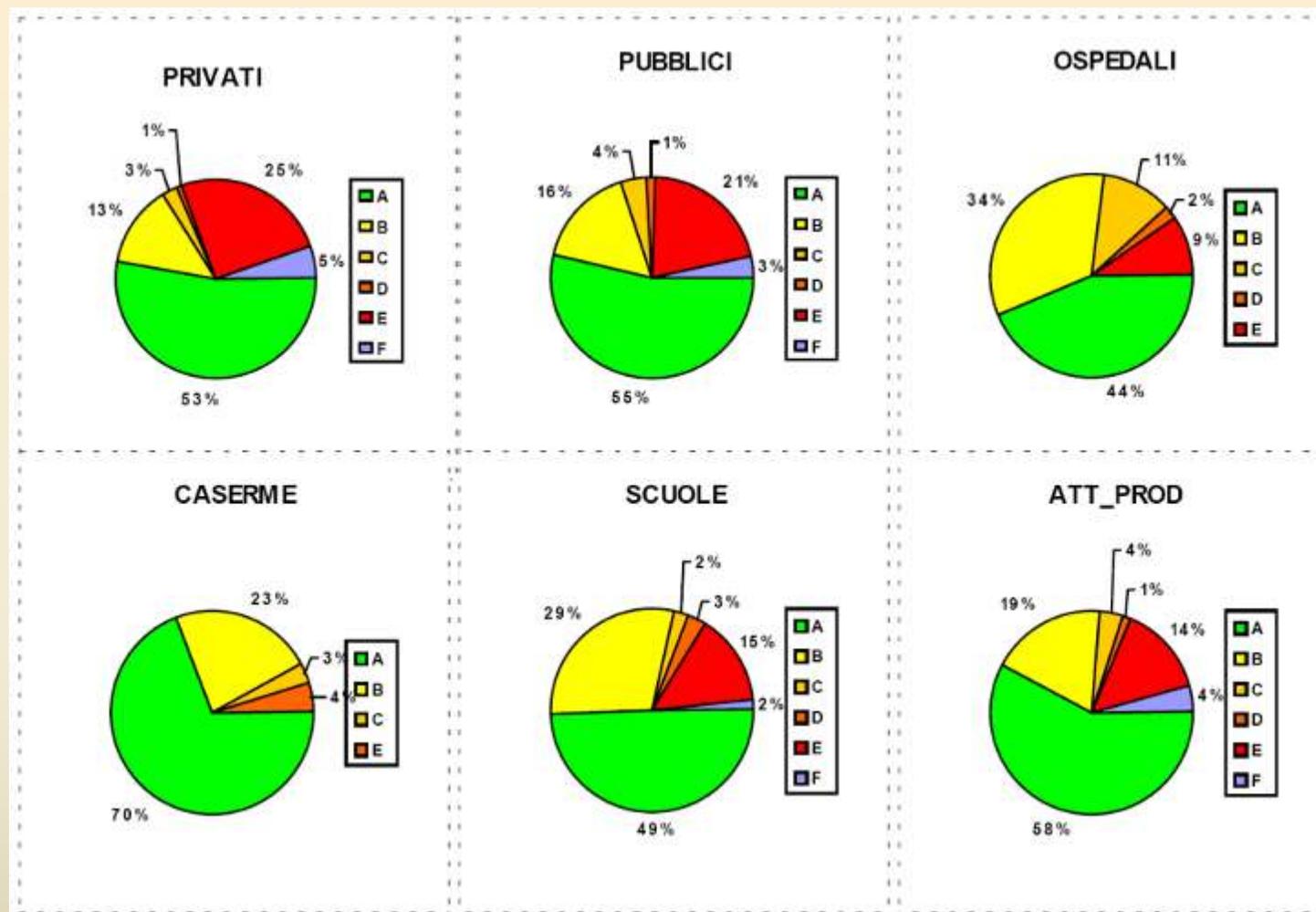
Valutazione dei risultati



Totale per tutti i tipi di strutture.

Piu' di 50,000 edifici valutati

Valutazione dei risultati

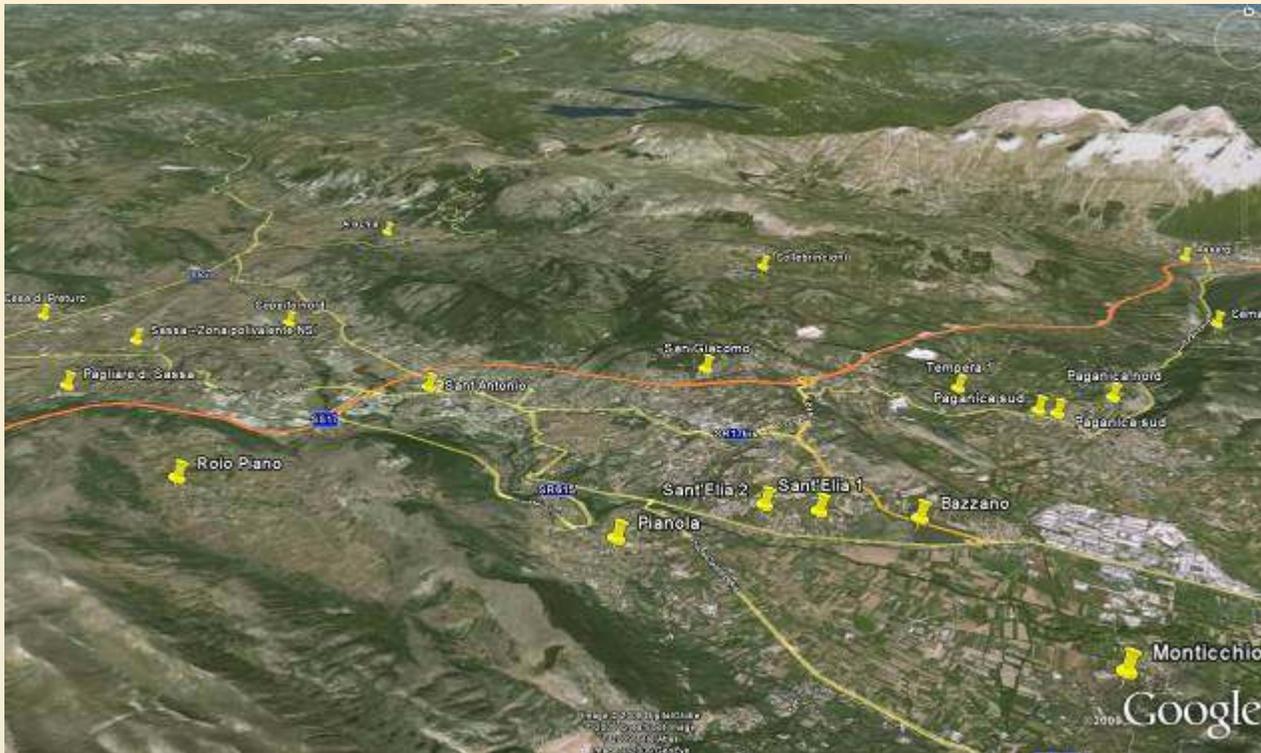


OSPEDALI hanno mostrato la piu' grande percent. di AGIBILITA' dopo provvedimenti di p.i. (con, **danni non strutturali**)

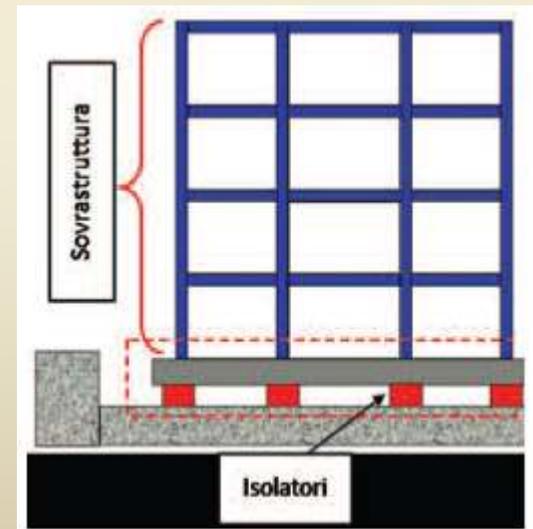
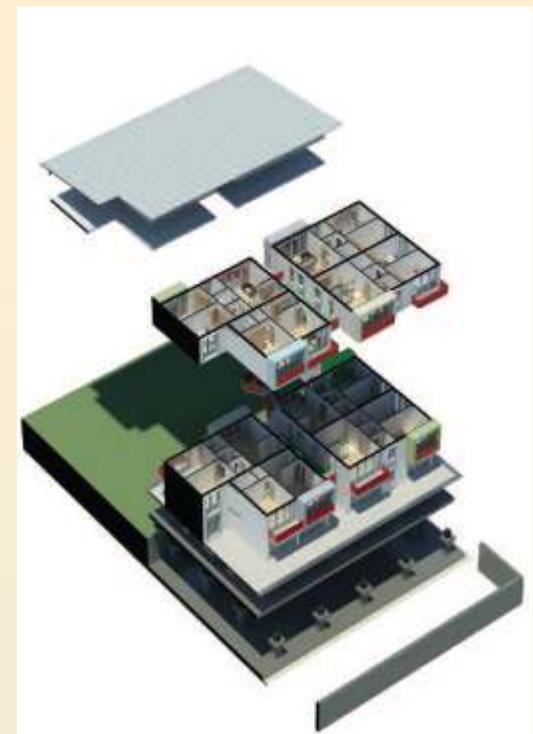
STAZIONI DI POLIZIA e MILITARI hanno evidenziato la piu' grande aliq. di edifici AGIBILI (per **migliori costruzioni/qualita' prog.**)

PRIVATI e PUBBLICI hanno mostrato la piu' bassa percent.. di edifici AGIBILI (per **peggiori costruzioni/qualita' prog.**)

Ricostruzione

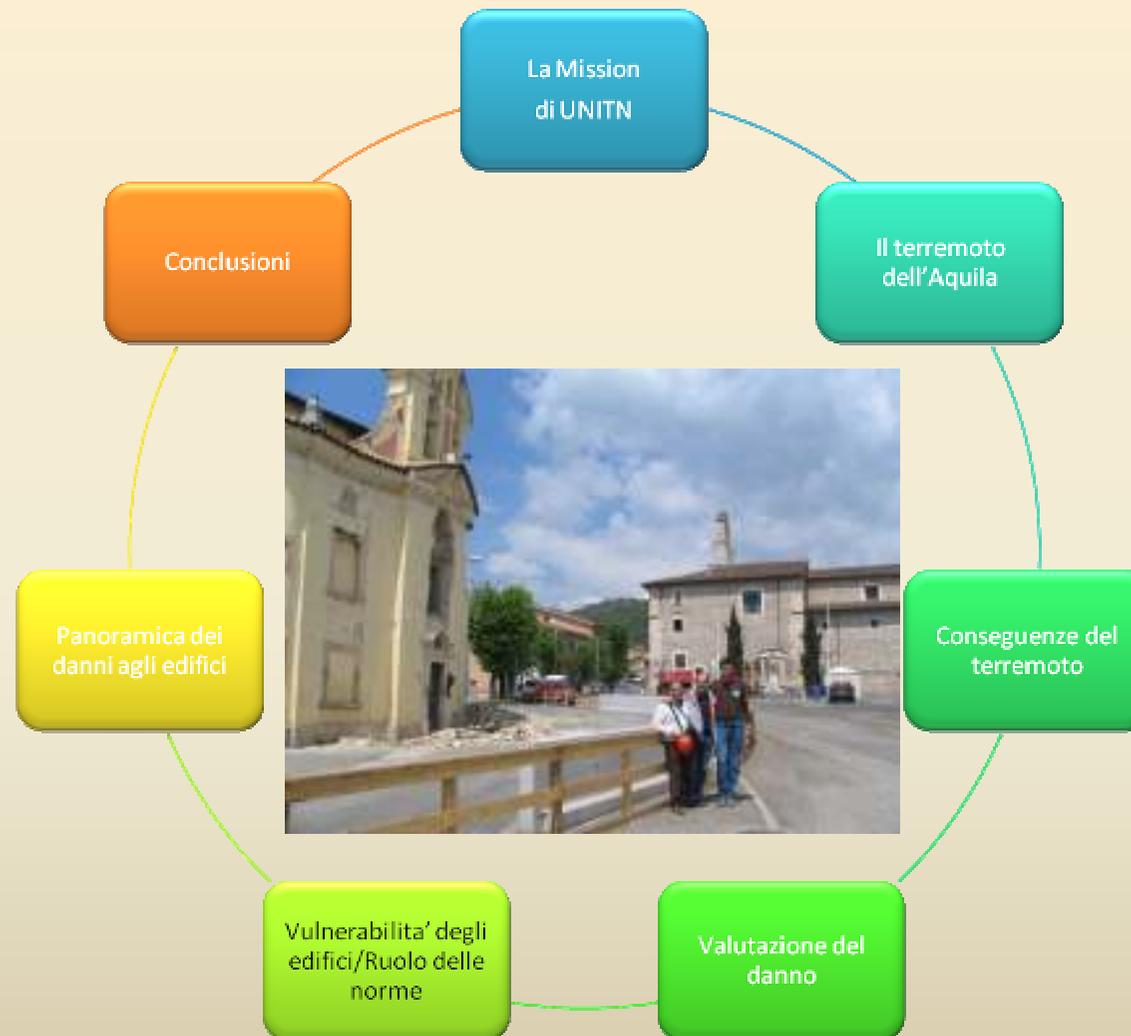


Dislocazione dei siti per le nuove

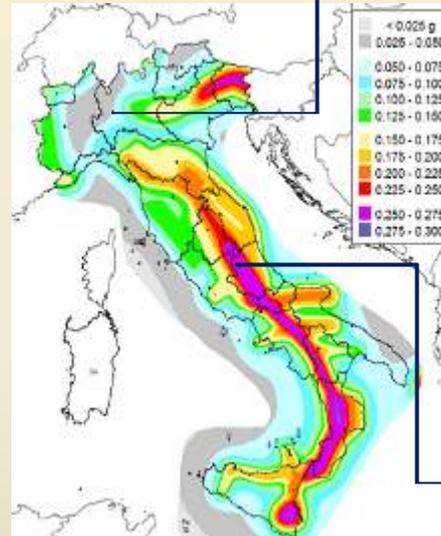
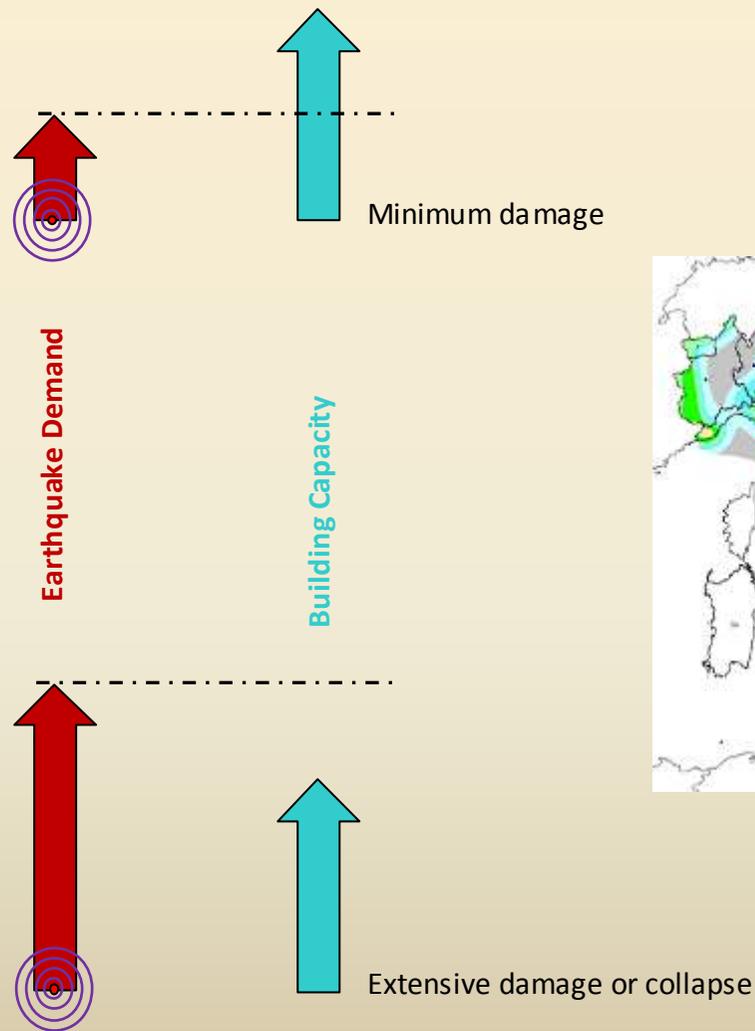


Edifici isolati in cap.
Edifici in legno

Presentazione/cont.



Vulnerabilita' degli edifici in Italia



Milano



Vecchie costruzioni:
analoghe tecniche costruttive
impiegate indipendentemente
dall'Hazard sismico

L'Aquila



PERICOLOSITÀ SISMICA

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

Ricerca per comune
Lat 42.36600
Lon 13.39440

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo
 Sito esterno al reticolo
 Interpolazione su 3 nodi
 Interpolazione corretta

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Nodi del reticolo intorno al sito

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Il Comune di L'Aquila è classificato sin dal REGIO D.L. del 13 Marzo 1927 in **zona a media sismicità (2° categoria)**

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.079	2.399	0.272
SLD	50	0.104	2.332	0.281
SLV	475	0.261	2.364	0.346
SLC	975	0.334	2.400	0.364

LE NORME DEL TEMPO 1968-1975

15 gennaio 1968 – Terremoto nel Belice

L 18 marzo 1968, n.241		(Norme)
DM 26 settembre 1968	(Classificazione)	
DM 10 marzo 1969	(Classificazione)	
Circolare 11 agosto 1969, n.6090 (LL.PP.)		(Norme)

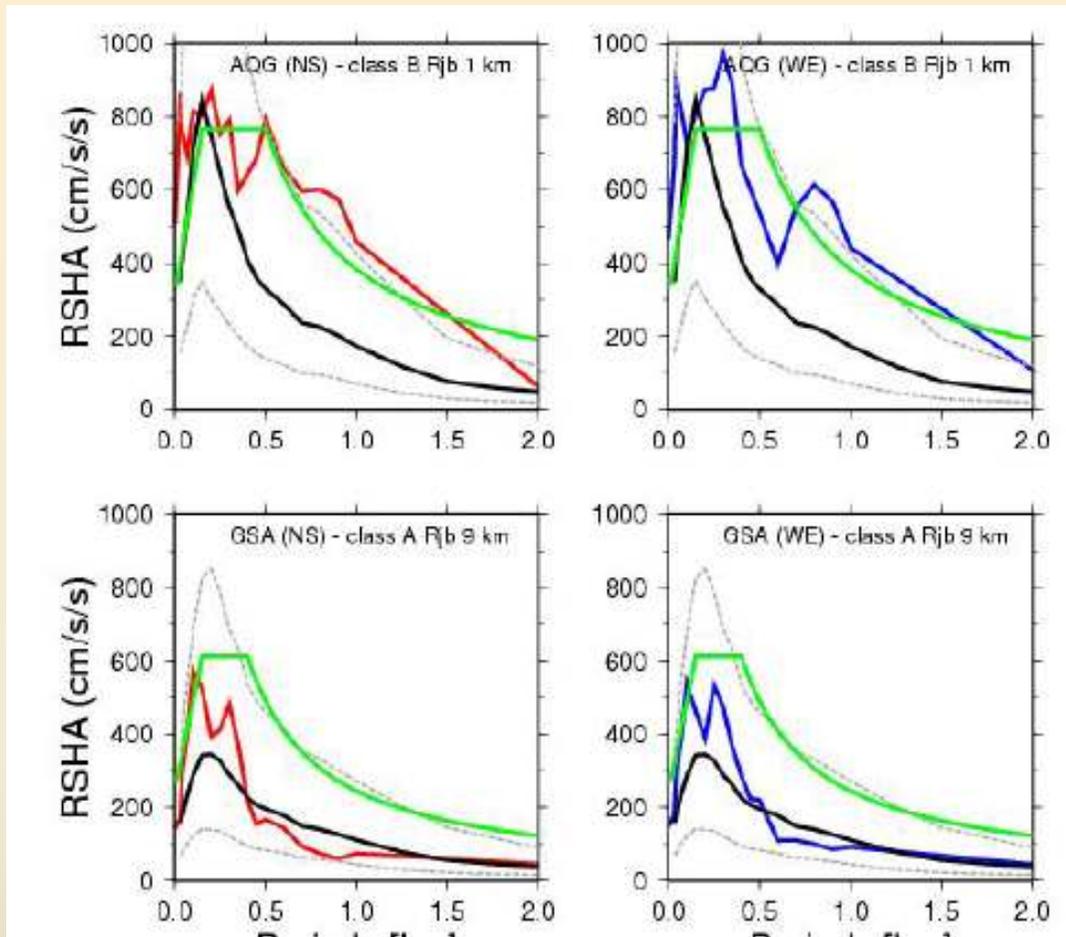
6 febbraio 1971 – Terremoto in Toscana

L 5 novembre 1971 n.1086		(Norme)
DM 14 maggio 1973 n.629	(Classificazione)	
L 2 febbraio 1974 n.64		(Norme)
DM 30 maggio 1974		
Circolare 14 febbraio 1974		
DM 3 marzo 1975 (2 dec. Min. + norme tecniche)	(Classificazione + Norme)	

NORME TECNICHE IN ZONE SISMICHE

- D.M. 16-01-1996 (Ministero dei Lavori Pubblici) “*Norme Tecniche per le Costruzioni in Zone Sismiche*”
- O.P.C.M. n.3274 del 20-03-2003 “*Primi elementi in materia di criteri generali per la Classificazione Sismica del territorio nazionale e Normative Tecniche per le Costruzioni in Zona Sismica*”
- D.M. 14-01-2008 (Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti) “*Norme Tecniche per le Costruzioni*” – 1 luglio 2009.
- Circ. 02-02-2009 n.617 del CSLP “*Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni» di cui al D.M. 14-01-2008*”

GLI SPETTRI DI RISPOSTA DEL MAINSHOCK



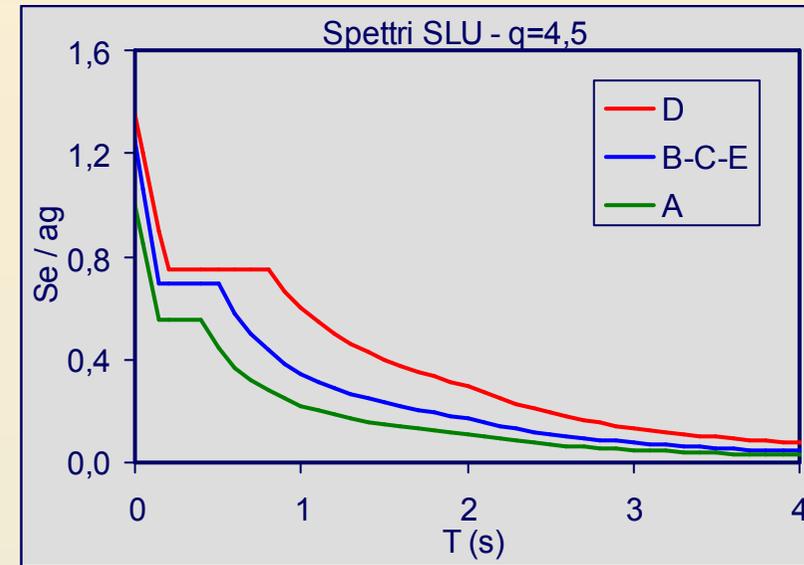
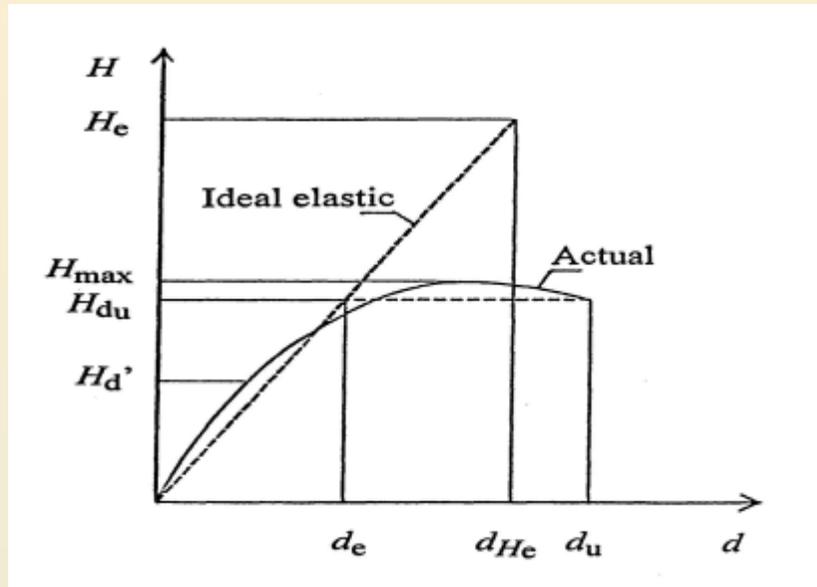
Per suoli di Classe B gli spettri di risposta eccedono sia i bassi periodi (0–.4s) che i periodi intermedi (0.8-1.5s)

Spettri di risposta dell'accelerazione dell'EC8 con accelerazione di picco pari a 0.25g (10% prob. in 50 anni) e spettri ottenuti da due registrazioni near fault con suoli di Classe A e B

CONFRONTO NORME DEL TEMPO E ATTUALI

Azioni orizzontali e fattore di struttura per edifici intelaiati

$$q = H_e/H_u \quad q = (2 \mu_u - 1)^{1/2}$$



$$F_{h,DM75} = C R \varepsilon \beta W = \frac{S - 2}{100} R \varepsilon \beta W$$

$$F_{h,OPCM03} = \gamma_I a S \frac{\beta_o}{q}$$

$$q_{\text{implicito}} = \frac{a \beta_o}{\gamma_e C}$$

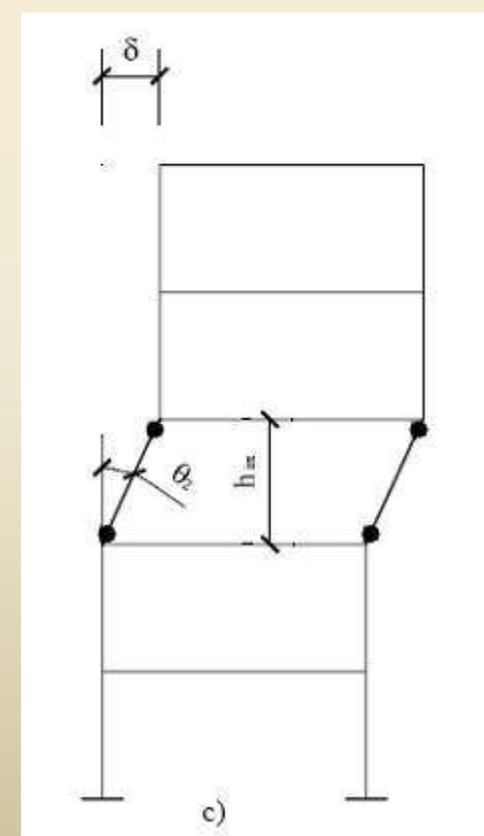
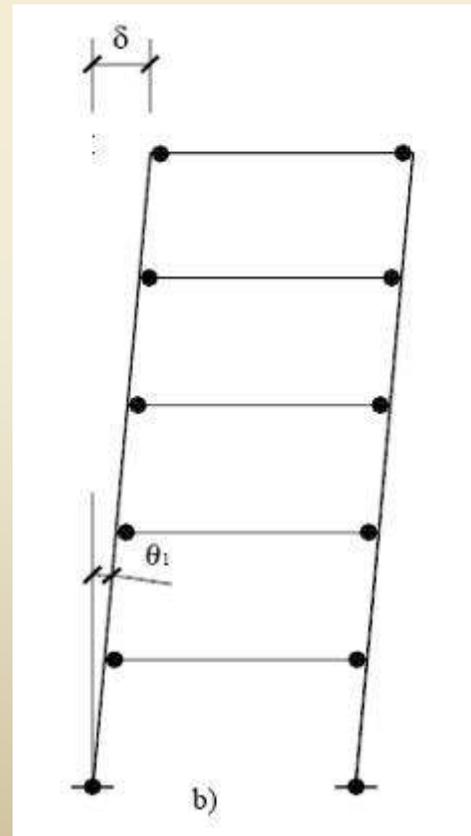
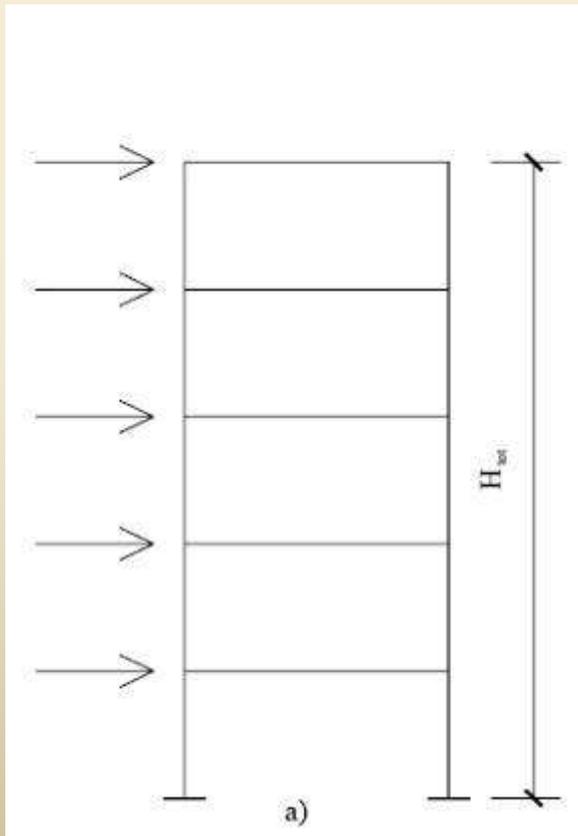
DM 03/03/75			OPCM 25/03/03- EUROCODICE 8			
categoria	C	$\gamma_e C$	zona	$\alpha = a g/g$	$\alpha \beta_o$	q implicito
			4	0,05	0,125	
III	0,040	0,060	3	0,15	0,375	6,25
II	0,070	0,105	2	0,25	0,625	5,95
I	0,100	0,150	1	0,35	0,875	5.83

SOFT STOREY E GERARCHIA DELLE RESISTENZE

D.M. 14-01-2008 (Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti) “Norme Tecniche per le Costruzioni”

NTC 7.2.1 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE

Per assicurare alla struttura un comportamento dissipativo e duttile evitando rotture fragili si fa ricorso alla gerarchia delle resistenze. Si localizzano le dissipazioni di energia in zone a tal fine progettate effettuando il dimensionamento degli elementi non dissipativi nel rispetto del criterio di gerarchia delle resistenze.



EDIFICI IN CEMENTO ARMATO



Da Google street view

Hotel Duca degli Abruzzi
L'Aquila



EDIFICI IN CEMENTO ARMATO

NTC 7.2.3 ELEMENTI SECONDARI ED ELEMENTI NON STRUTTURALI

Se la distribuzione degli elementi costruttivi senza funzione strutturale con $s > 100\text{mm}$ è fortemente irregolare in altezza deve essere considerata la concentrazione di danno ai livelli caratterizzati da significativa riduzione di tali elementi. Questo requisito si intende soddisfatto incrementando del 40% le azioni di calcolo per gli elementi verticali (pilastri e pareti) dei livelli con tali riduzioni.



Da Google street view



STAFFATURE NEI PILASTRI

NTC 7.3.6.2 Verifiche degli elementi strutturali in termini di duttilità

I singoli elementi strutturali e la struttura nel suo insieme devono possedere una duttilità coerente con il fattore di struttura adottato. Questa condizione si può ritenere soddisfatta applicando le regole di progetto specifiche e di gerarchia delle resistenze.

NTC 7.4.6.2.2

Armature trasversali nei pilastri

Nelle zone critiche le barre disposte sugli angoli della sezione devono essere contenute dalle staffe il cui passo deve essere minore di:

- $1/3$ e $1/2$ del lato minore della sezione (CD"A" e CD"B");
- 125 mm e 175 mm (CD"A" e CD"B");
- 6 e 8 volte il diametro delle barre longitudinali (CD"A" e CD"B").



NODO TRAVE-PILASTRO

NTC 7.4.6.2.3 Nodi trave-pilastro

Lungo le armature longitudinali del pilastro che attraversano i nodi non confinati devono essere disposte staffe di contenimento in quantità almeno pari alla maggiore prevista nelle zone del pilastro inferiore e superiore adiacenti al nodo. Questa regola può non essere osservata nel caso di nodi interamente confinati.



IRREGOLARITÀ IN PIANTA E IN ELEVAZIONE



NTC 7.3 Metodi di analisi

Il valore del fattore di struttura q viene calcolato dal prodotto di un valore massimo q_0 e K_R che è un fattore riduttivo che dipende dalle caratteristiche di regolarità in altezza della costruzione, pari ad 1 per costruzioni regolari in altezza e pari a 0,8 per costruzioni non regolari.

NTC 7.2.3 Elementi secondari ed elementi non strutturali

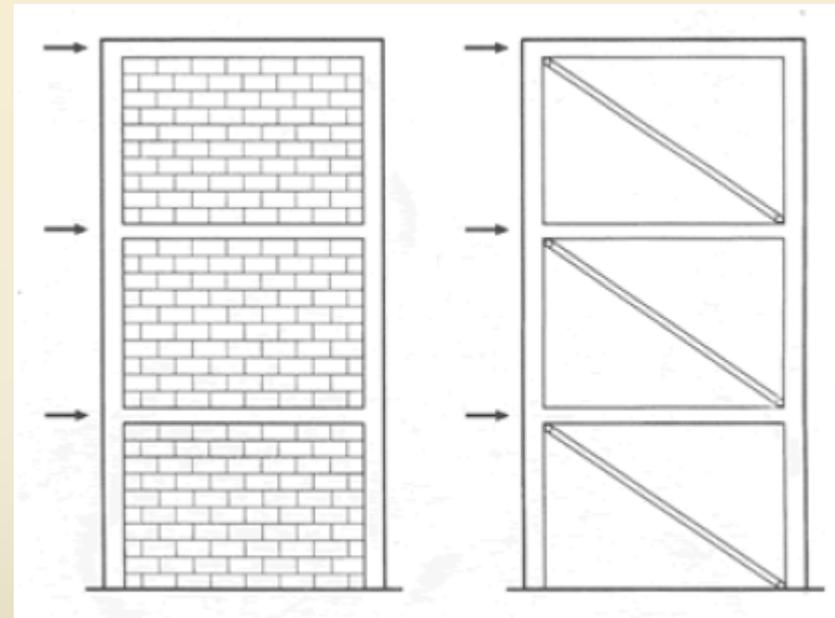
L'irregolarità in pianta degli elementi costruttivi senza funzione strutturale con $s > 100\text{mm}$ deve essere valutata e tenuta in conto. Questo requisito si intende soddisfatto se si raddoppia l'eccentricità accidentale.



MODELLAZIONE TAMPONATURE

NTC 7.2.6 MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA

Nella definizione del modello elementi strutturali secondari e non strutturali autoportanti (tamponature) possono essere rappresentati solo in termini di massa considerando il loro contributo di resistenza solo qualora possiedano rigidezza tali da modificare il comportamento del modello.



Interazione telai e pannelli murari di tamponatura analizzato con l'allegato della Circ. Min. n.65 del 10 aprile 1997

STATO LIMITE DI DANNO

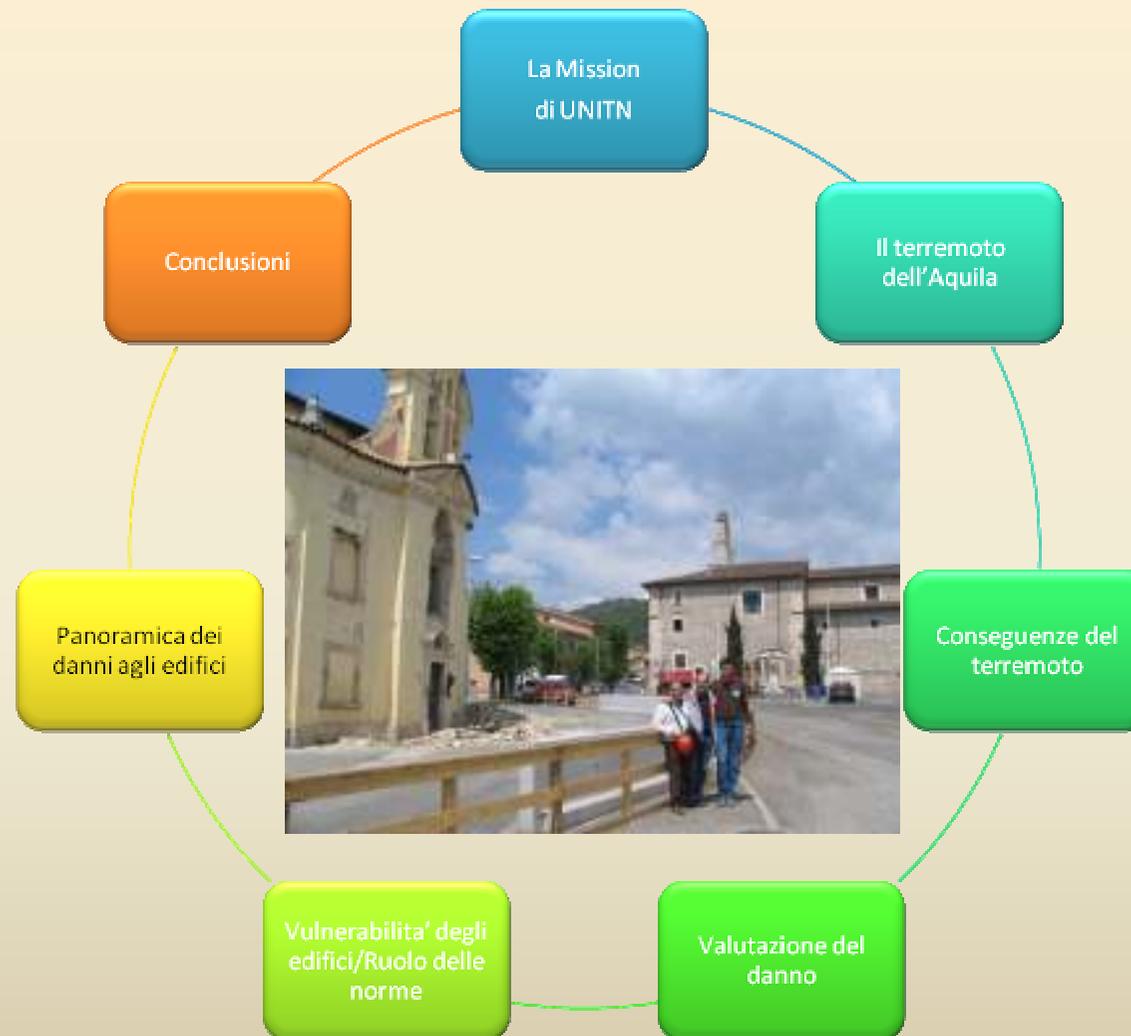
NTC 7.3.7.2 Verifiche degli elementi strutturali in termini di contenimento del danno agli elementi non strutturali

Per evitare la
temporanea
inagibilità di una
costruzione si deve
verificare che gli
spostamenti di
interpiano in
presenza dell'azione
sismica di progetto
relativa allo SLD
siano inferiori a



- a) per tamponamenti collegati rigidamente alla struttura che interferiscono con la deformabilità della stessa
- $$d_r < 0,005 h \quad (7.3.16)$$
- b) per tamponamenti progettati in modo da non subire danni a seguito di spostamenti di interpiano d_{rp} , per effetto della loro deformabilità intrinseca ovvero dei collegamenti alla struttura:
- $$d_r \leq d_{rp} \leq 0,01 h \quad (7.3.17)$$
- c) per costruzioni con struttura portante in muratura ordinaria
- $$d_r < 0,003 h \quad (7.3.18)$$
- d) per costruzioni con struttura portante in muratura armata
- $$d_r < 0,004 h \quad (7.3.19)$$

Presentazione/cont.



STRUTTURE IN MURATURA

CLASSIFICAZIONE DELLE STRUTTURE IN MURATURA

1. Costruzioni realizzata interamente in muratura (edifici storici);
2. Costruzioni con elementi verticali portanti in muratura ed elementi orizzontali realizzati da travi di materiale diverso e non adeguatamente collegati alla struttura muraria portante;
3. Costruzioni realizzate con elementi verticali e orizzontali opportunamente connessi fra di loro.

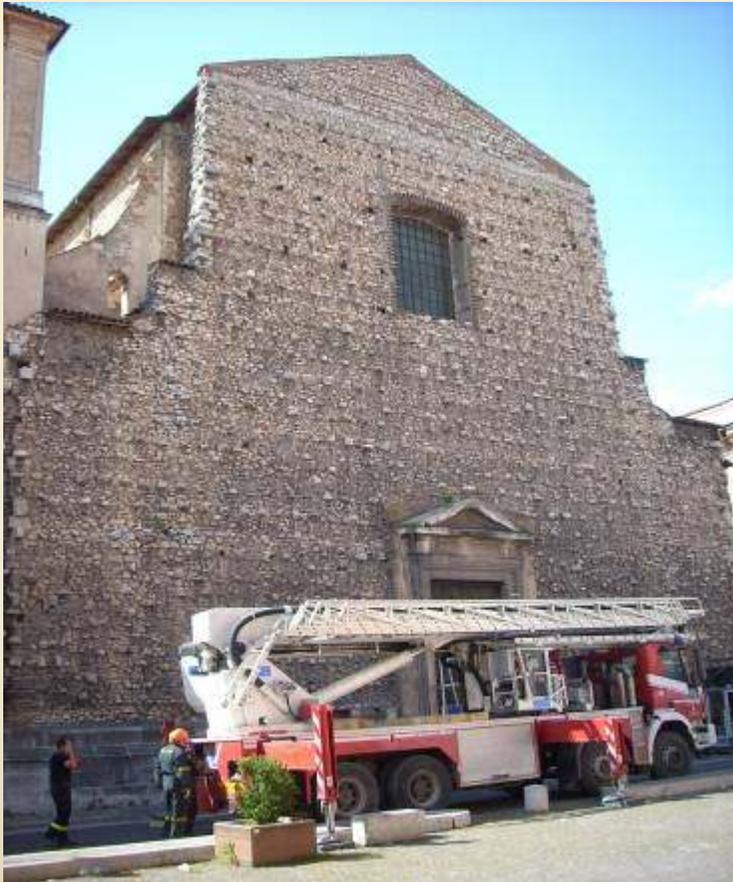
PRINCIPALI CAUSE DI DANNEGGIAMENTO

Con riferimento alle prime due tipologie le principali cause di danneggiamento sono state:

1. Bassa qualità dei materiali e delle tecniche di realizzazione;
2. Inefficienza dei collegamenti tra gli elementi orizzontali e quelli verticali;
3. Spinte orizzontali non adeguatamente contrastate;
4. Interventi di adeguamento inappropriati.

STRUTTURE IN MURATURA

COSTRUZIONI REALIZZATE INTERAMENTE IN MURATURA



Chiesa di S. Margherita detta dei Gesuiti - Struttura portante verticale in muratura



Struttura orizzontale a volta realizzata con mattoni in costa

STRUTTURE IN MURATURA

COSTRUZIONI CON ELEMENTI VERTICALI PORTANTI IN MURATURA E ORIZZONTALI IN MATERIALI DIVERSI E NON ADEGUATAMENTE CONNESSI TRA DI LORO.



Crollo di una piastra in c.a. nella Chiesa

DANNEGGIAMENTO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

INEFFICIENZA DEI COLLEGAMENTI

Crollo della copertura (travi metalliche) e del solaio del primo piano (soletta in c.a.) della sacrestia della chiesa di S. Margherita a L'Aquila da imputare alla mancanza di un adeguato collegamento fra la struttura verticale e quella orizzontale



NTC 7.8.5 Regole di dettaglio per costruzioni in muratura ordinaria

Ad ogni piano deve essere realizzato un cordolo continuo all'intersezione tra solai e pareti. Travi metalliche o prefabbricate costituenti i solai debbono essere prolungate nel cordolo per almeno la metà della sua larghezza e comunque per non meno di 12 cm ed adeguatamente ancorate ad esso.

DANNEGGIAMENTO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

SPINTE ORIZZONTALI NON CONTRASTATE

Spinta indotta da una copertura pesante non opportunamente contrastata



NTC 7.8.1.4 Criteri di progetto e requisiti geometrici

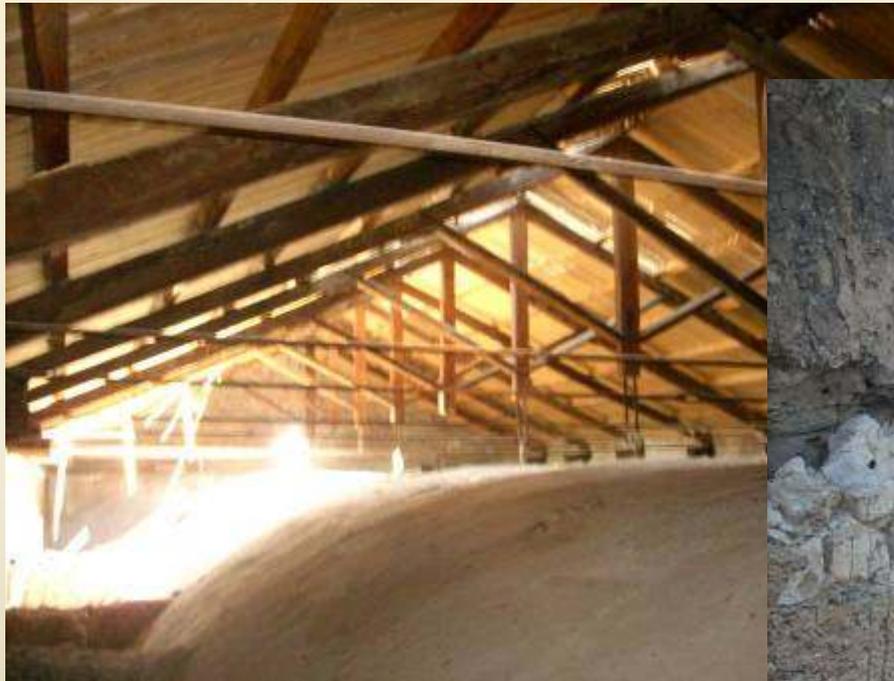
Le strutture costituenti orizzontamenti e coperture non devono essere spingenti. Eventuali spinte orizzontali, valutate tenendo in conto l'azione sismica, devono essere assorbite per mezzo di idonei elementi strutturali.



DANNEGGIAMENTO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

SPINTE ORIZZONTALI NON CONTRASTATE

Danneggiamento dei contrafforti laterali della chiesa di S. Margherita a L'Aquila dovuta alle spinte orizzontali esercitate dalle facciate, conseguenti alla presenza della volta la cui spinta orizzontale non è stata opportunamente contrastata



DANNEGGIAMENTO DELLE STRUTTURE IN MURATURA

INAPPROPRIATI INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO

Danneggiamento della volta della chiesa di S. Margherita a L'Aquila rinforzata circa 20-30 anni fa con un getto in cls senza l'opportuna eliminazione della spinta orizzontale con tiranti. Le lesioni principali sono il distacco in alcuni punti del cls della soletta dai mattoni e fessurazioni longitudinali sull'estradosso in corrispondenza delle reni e in chiave all'intradosso.



INFRASTRUTTURE

VIADOTTO AUTOSTRADALE

Scorrimento degli appoggi sulle pile del viadotto (travi semplicemente appoggiate)



EDIFICI INDUSTRIALI



Silos nella zona Industriale di Bazzano:

-Progettazione degli anni '80

-Progettazione fine anni '90



EDIFICI INDUSTRIALI

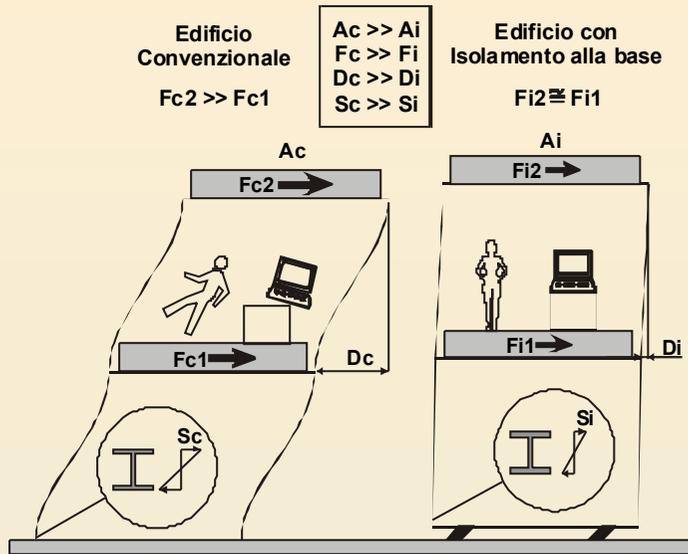


Edificio industriale vicino al campo sportivo di Bazzano con drift residui dell'1.5%.

-Progettazione fine anni '70.



PROGETTAZIONE INNOVATIVA CON ISOLAMENTO SISMICO

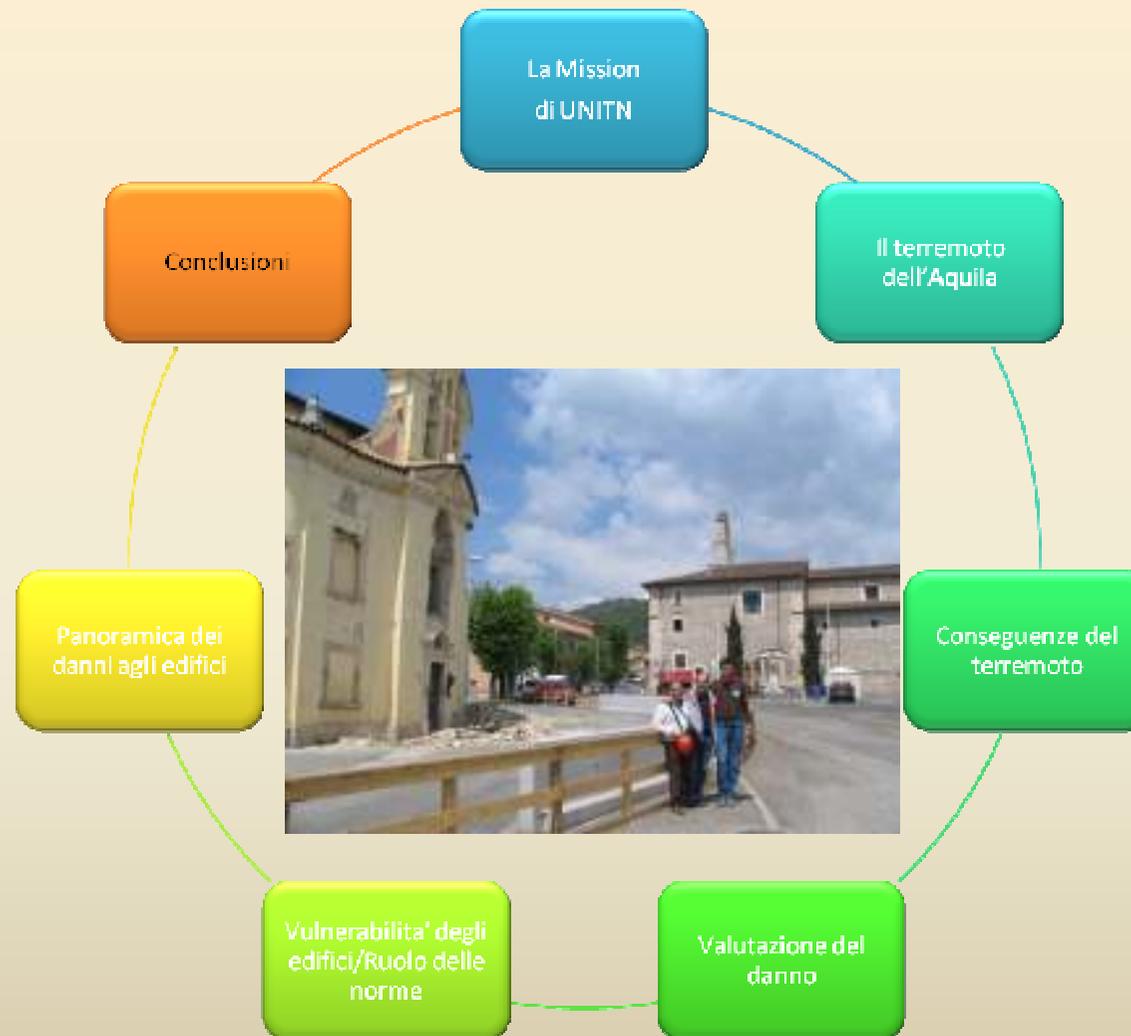


$A_c \gg A_i$
 $F_c \gg F_i$
 $D_c \gg D_i$
 $S_c \gg S_i$



-Progettazione anni 2000

Presentazione/cont.



Conclusioni

Geologia, seismicita', gestione dell'emergenza

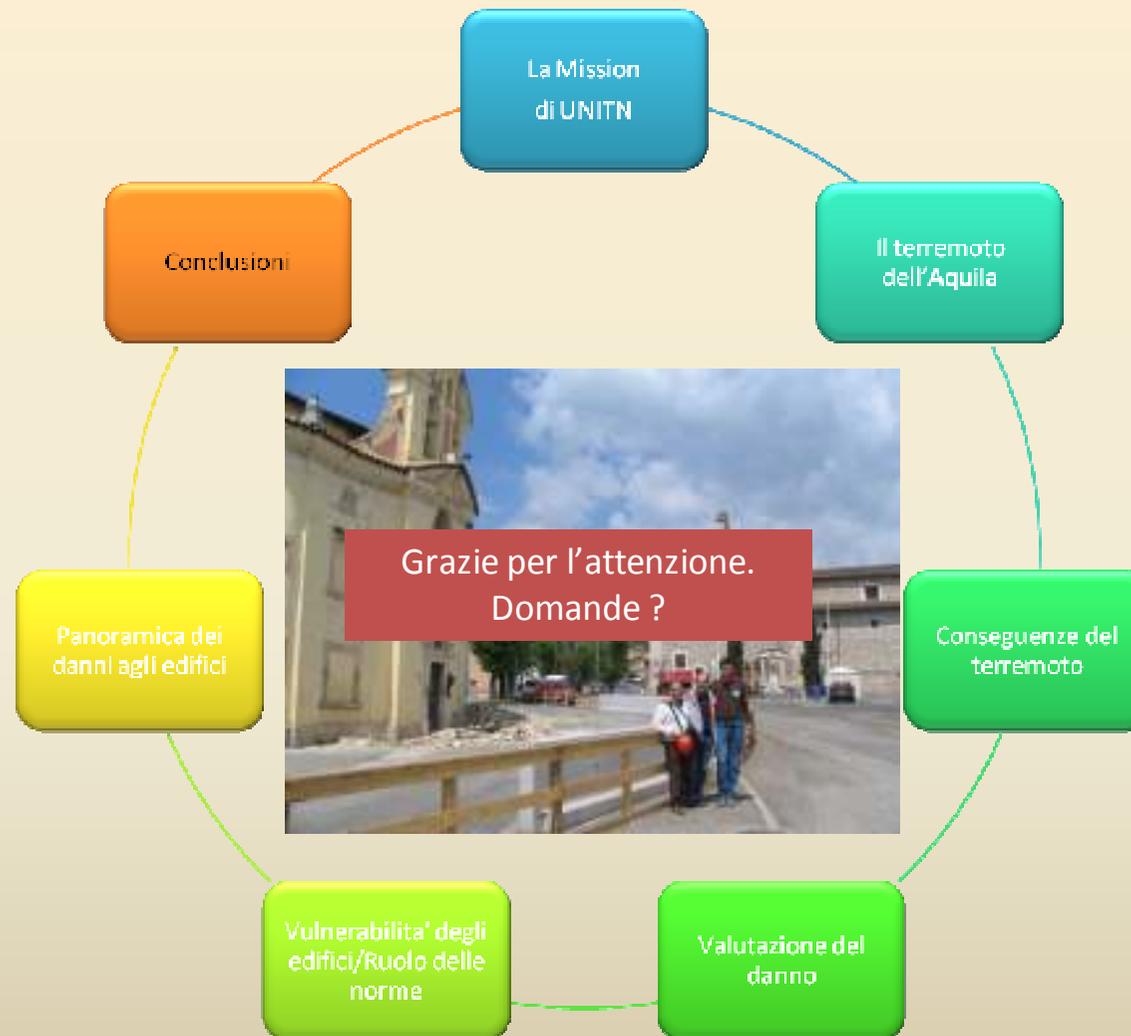
- Limitata estensione delle zone affette dai danni sia per effetto della limitata distanza focale che per effetto della configurazione geologica - valle circondata dalle montagne-
- I valori di PGA's sono compatibili con le mappe di hazard sismico, specialmente con quelli dell'ultima versione del 2006
- I piu' grandi livelli di danno sono associati agli effetti di sito, per effetto della presenza di suoli di tipo alluvionale – ad es. Onna-
- Elevato numero di sfollati con grande paura di rientrare nelle abitazioni per effetto di infondate previsioni di terremoti violenti e aftershock
- Efficiente valutazione dell'agibilita` degli edifici da parte della Protezione Civile

Conclusioni/cont.

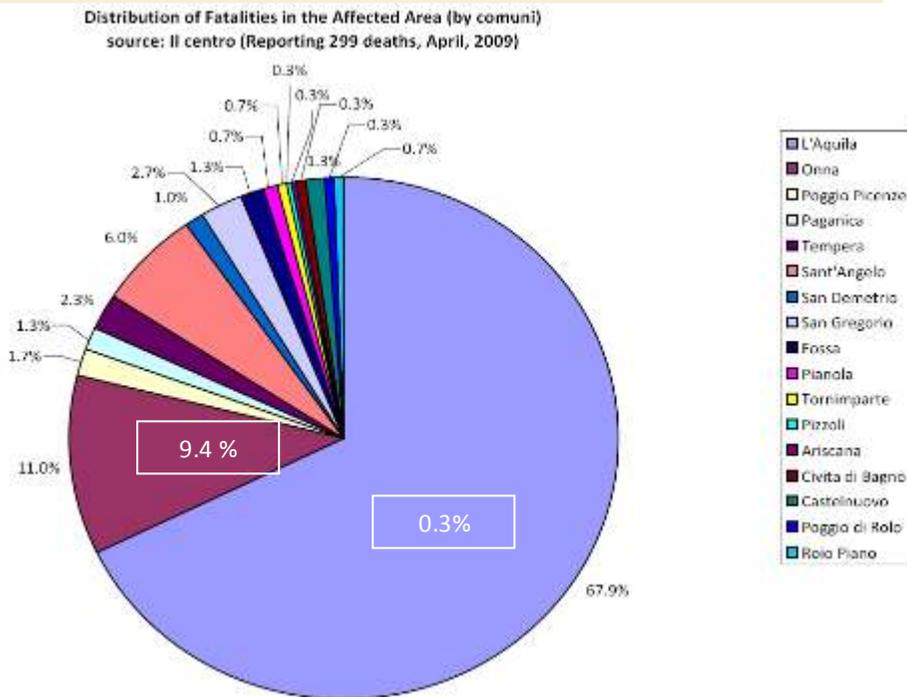
Danni agli edifici

- Collassi di edifici costruiti tra gli anni 60' e 70' per effetto della formazione di meccanismi con *soft-storey*
- Danno elevato dovuto a inadeguatezza dei dettagli e della corrosione delle barre d'armatura
- Danni alle facciate e ai muri di tamponamento dovuti a supporti insufficienti
- Grande flessibilita' degli edifici in c.a. a telaio hanno indotto elevati danni non strutturali ai primi due piani e alla caduta di oggetti al piano superiore, con significative perdite economiche dirette e indirette. Bisognerà rivisitare i limiti di spostamento di interpiano ovvero l'uso di sistemi con pareti di taglio per incrementare la rigidità strutturale
- Prestazione insufficiente delle strutture in muratura; comunque, l'uso di catene ha fornito un mezzo efficace per la mitigazione del danno nelle strutture in muratura
- Rinforzo delle strutture in muratura con pesanti piani e tetti in c.a. Cio' ha causato il collasso di diverse strutture

Presentazione/cont.



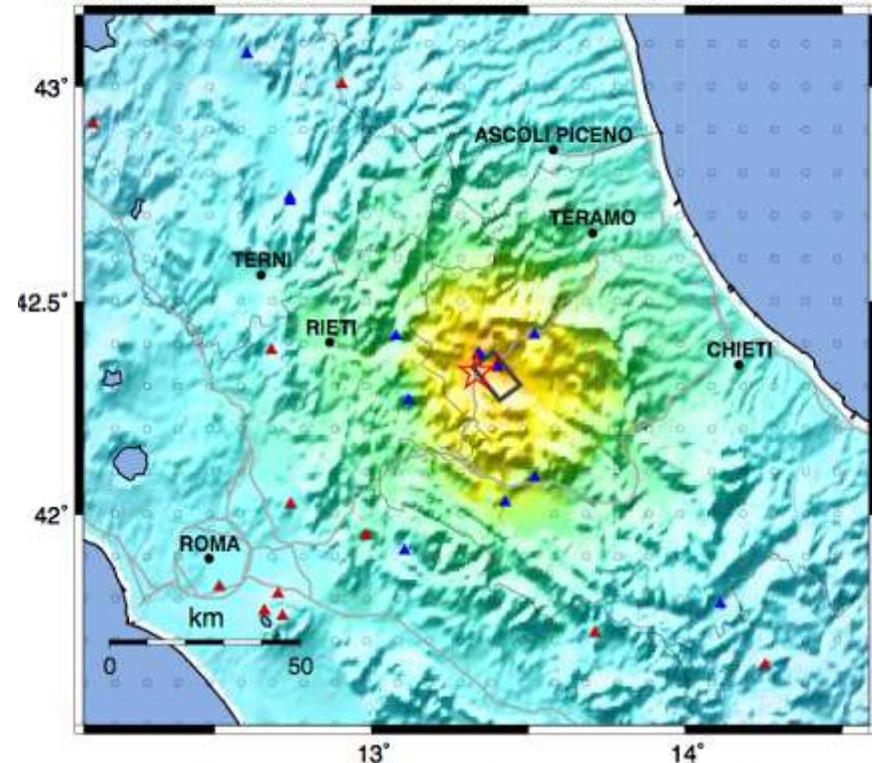
Intensita' del terremoto: mappa sismica



Source: EEFIT Report

- 299 morti
- 1500 feriti
- 50,000 edifici danneggiati
- Costo totale dei danni degli edifici:
2-3 billion euro (Air Worldwide)

INGV ShakeMap : CENTRAL ITALY - AQUILANO
Mon Apr 6, 2009 03:32:39 AM MDST M 5.8 N42.33 E13.33 Depth: 8.8km ID:2206496920



Map Version 34 Processed Wed May 27, 2009 12:08:58 PM MDST, -- NOT REVIEWED BY HUMAN

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<0.17	.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VEL.(cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-60	60-116	>116
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

DISTANZA TRA EDIFICI (MARTELLAMENTO)



NTC 7.2.2

Distanza tra costruzioni contigue

La distanza tra costruzioni contigue deve essere tale da evitare fenomeni di martellamento e comunque non può essere inferiore alla somma degli spostamenti massimi determinati per lo SLV; in ogni caso la distanza tra due punti che si fronteggiano non può essere inferiore ad $1/100$ della quota dei punti considerati misurata dal piano di fondazione moltiplicata per $a_g S / 0,5g < 1$.

PILASTRI TOZZI

NTC 7.4.4.2 Pilastri

Per escludere la formazione di meccanismi inelastici dovuti al taglio, le sollecitazioni di taglio si ottengono dall' espressione:

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{M_{C,Rd}^s + M_{C,Rd}^i}{l_p}$$

Dove l_p è la lunghezza del pilastro.

Se i tamponamenti non si estendono per l'intera altezza dei pilastri, le sollecitazioni sul pilastro nella parte priva di tamponamento sono calcolate assumendo l_p pari alla parte di pilastro priva di tamponamento.

