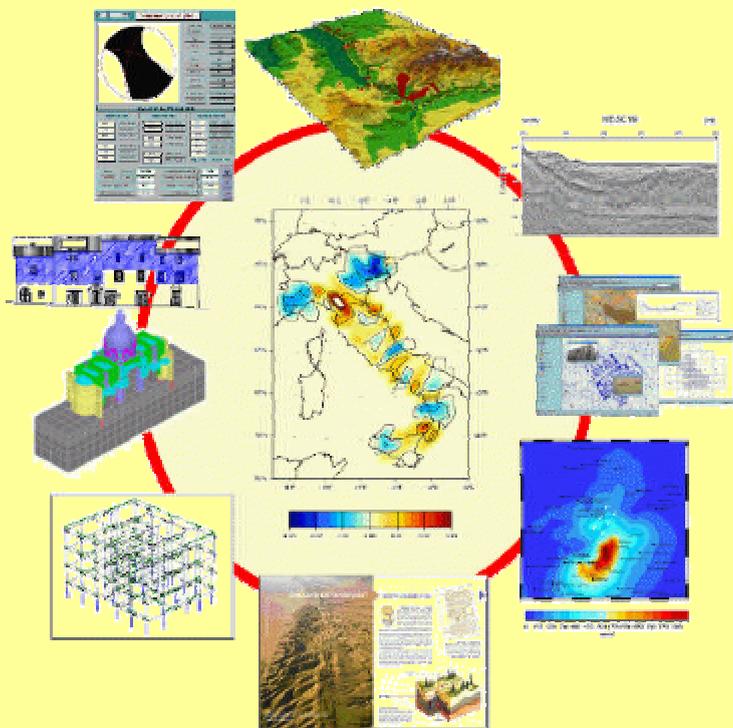




ISTITUTO NAZIONALE di GEOFISICA e VULCANOLOGIA

*Gruppo Nazionale  
per la Difesa dai Terremoti*



*Relazione  
Annuale  
del Progetto Esecutivo 2002*

*2° anno di attività  
nell'ambito del  
Programma Quadro triennale  
2000-2002 per il GNDT*

*Direzione:*

*via Nizza, 128 - 00198 Roma*

*tel.: 068555616, fax: 068546129*

*e-mail: [segr.gndt@gndt.rm.cnr.it](mailto:segr.gndt@gndt.rm.cnr.it) , sito web: <http://gndt.ingv.it>*

*Luglio 2003*

*Editing a cura di:  
Dott. Geol. Giuseppe Di Capua  
Segreteria Tecnico-Scientifica*

*Editing a cura di*  
*Dott. Geol. Giuseppe Di Capua*  
*Segreteria Tecnico-Scientifica del GNDT*  
*e-mail: [g.dicapua@gndt.rm.cnr.it](mailto:g.dicapua@gndt.rm.cnr.it)*

*Relazione Annuale del Progetto Esecutivo 2002*  
*INGV-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti - Roma, 2003, 223 pp.*

*Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti*  
*via Nizza, 128 - 00198 Roma*  
*Tel.+39-6-8555616 - Fax +39-6-8546129*  
*e-mail: [segr.gndt@gndt.rm.cnr.it](mailto:segr.gndt@gndt.rm.cnr.it) - sito web: <http://gndt.ingv.it>*

*Luglio, 2003*

# Sommario



## Introduzione

(A cura del: Prof. Claudio Eva, Direttore del GNDT)

Premessa	vii
Progetti finanziati	viii
Sito web	ix

## Attività scientifica

### *Tema 1: Valutazione del rischio sismico del patrimonio abitativo a scala nazionale*

Terremoti probabili in Italia tra l'anno 2000 e il 2030: elementi per la definizione di priorità degli interventi di riduzione del rischio sismico (A. Amato e G. Selvaggi)	3
Uno studio per la valutazione della pericolosità derivante da processi geologici sottomarini nei mari italiani: terremoti, maremoti e frane (A. Argnani)	17
Determinazione dello stile di deformazione e dello stato di sforzo delle macrozone sismogenetiche italiane (R. Barzaghi)	29
SAVE – Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani (M. Dolce e G. Zuccaro)	39
Revisione dei fondamenti teorici e sperimentali delle stime di hazard a scala nazionale (P. Gasperini)	53

### *Tema 2: Simulazione di eventi sismici e scenari di danno in aree urbane*

Sviluppo e confronto di metodologie per la valutazione della pericolosità sismica in aree sismogenetiche: applicazione all'Appennino Centrale e Meridionale (M. Cocco)	71
TRAIANO – Progetto per la stima e riduzione della vulnerabilità dell'ambiente costruito (E. Cosenza)	87

Analisi di scenario nella Liguria occidentale e soluzioni per la conservazione dei centri storici (S. Lagomarsino)	101
Simulazione di eventi sismici e scenari di danno in aree urbane (M. Maugeri)	115
Scenari di danno nell'area veneto-friulana (M. Riuscetti)	127
<i>Tema 3: Effetti dei terremoti sull'ambiente fisico e sulle opere infrastrutturali</i>	
VIA – Riduzione della vulnerabilità sismica di sistemi infrastrutturali e ambiente fisico (G. M. Calvi)	143
<i>Tema 4: Strategie per la riduzione del rischio sismico</i>	
Progettazione di reti di monitoraggio e allarme in aree marine prospicienti zone ad elevato rischio sismico. Prima realizzazione di un nodo nella Sicilia Orientale (L. Beranzoli)	159
Edu-Risk 2002 - Educazione al terremoto: un itinerario nella riduzione del rischio (R. D. Camassi e L. Peruzza)	171
Vulnerabilità dei centri storici e dei beni culturali (L. Marchetti)	179
Eduseis: un sismografo didattico come strumento per la formazione e la sensibilizzazione sul rischio sismico (V. Silvestrini)	191

## Finanziamenti

Finanziamenti per l'attività di ricerca	207
Finanziamenti per la Direzione	209
Riepilogo finanziamenti	211

# Introduzione

A cura del: Prof. Claudio Eva, Direttore del GN DT



## **Premessa**

Il Progetto Esecutivo del GNDDT si articola in una serie di progetti di ricerca sviluppati da varie unità operative sulla base del progetto triennale (Programma Quadro) approvato e finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile e precedentemente elaborato da un'apposita commissione di esperti, nominata dall'allora Sottosegretario Prof. F. Barberi.

Le attività scientifiche previste dal Programma Quadro triennale 2000-2002, che per ragioni burocratico-amministrative avrà termine nel 2003, riguardano i seguenti temi:

Tema 1: Valutazione del rischio sismico del patrimonio abitativo a scala nazionale.

Tema 2: Simulazione di eventi sismici e scenari di danno in aree urbane.

Tema 3: Effetti dei terremoti sull'ambiente fisico e sulle opere infrastrutturali.

Tema 4: Strategie per la riduzione del rischio sismico.

Sulla base delle valutazioni e dei suggerimenti del Comitato di Valutazione (Comitato dei Referees) formulati a seguito della presentazione del primo anno di attività, il Collegio di Gruppo del GNDDT ha previsto di aumentare il numero di progetti ammessi al finanziamento secondo due diverse strategie:

1. prolungare alcuni progetti annuali, particolarmente interessanti, sino alla fine del Programma Quadro;
2. mettere a bando un nuovo progetto nel tema 1 che riguardasse la vulnerabilità sismica a scala nazionale.

Tutti i progetti sono stati comunque sottoposti al giudizio dei quattro referees che ne hanno valutato sia la congruità scientifica con gli obiettivi del Programma Quadro sia quella finanziaria. Il Collegio di Gruppo li ha definitivamente approvati e per essi ha richiesto il finanziamento all'Amministrazione.

La predisposizione dei nuovi progetti ha consentito l'integrazione di alcune tematiche e ha permesso di ovviare a lacune presenti nei settori di ricerca inizialmente affrontati. L'operazione ha potuto essere portata a termine con un contenuto aumento delle spese previste a bilancio per l'anno 2002 in quanto è stato possibile utilizzare dei fondi residui di Direzione derivanti dalla disponibilità sul bilancio GNDDT di vecchi fondi CNR 1999-2000, ancora a bilancio, che è stato possibile utilizzare fino al 31 agosto 2001. I fondi INGV 2001 risparmiati sono stati quindi investiti nei nuovi progetti.

A seguito della sequenza sismica del Molise (inizio 31 ottobre 2002), il GNDDT ha immediatamente partecipato alle attività di supporto tecnico-scientifico per il Dipartimento della Protezione Civile e di rilevamento danni finalizzato ad elaborazioni scientifiche, tramite alcune Unità di Ricerca dei progetti finanziati, alcune unità di personale con contratto di collaborazione professionale ed il personale della Direzione. Le attività elencate, di seguito elencate, sono state effettuate in collaborazione con altre strutture dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, il CNR-D.A.S.T. di L'Aquila, l'Università della Basilicata e l'Università di Napoli:

- Supporto tecnico alle attività dei COM di Larino (CB) e Casalnuovo Monterotaro (FG) nell'ambito della Funzione 9.
- Monitoraggio della sequenza sismica in collaborazione con INGV.
- Rilievo vulnerabilità/danno Edilizia Pubblica e Privata nel comune di San Giuliano di Puglia (CB) – il censimento ha interessato più di 500 edifici.
- Rilievo vulnerabilità/danno dei Beni Culturali (chiese e beni storico-artistici) dei comuni interessati dal terremoto.
- Microzonazione Sismica del Comune di Ripabottoni (CB).

I dettagli delle operazioni effettuate e dei risultati preliminari degli studi compiuti sono disponibili sul sito web del GNDT (<http://gndt.ingv.it>), nella sezione "Il terremoto del Molise (31 ottobre 2002)".

## Progetti finanziati

In totale il numero dei progetti finanziati, il titolo ed il coordinatore sono indicati nella tabella sottostante.

<b>Tema 1</b>
n. 2 progetti triennali e n. 3 progetti biennali

Terremoti probabili in Italia tra l'anno 2000 e il 2030: elementi per la definizione di priorità degli interventi di riduzione del rischio sismico

(A. Amato e G. Selvaggi)

Uno studio per la valutazione della pericolosità derivante da processi geologici sottomarini nei mari italiani: terremoti, maremoti e frane

(A. Argnani)

Determinazione dello stile di deformazione e dello stato di sforzo delle macrozone sismogenetiche italiane

(R. Barzaghi) – progetto biennale

SAVE - Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani

(M. Dolce e G. Zuccaro) – progetto biennale

Revisione dei fondamenti teorici e sperimentali delle stime di hazard a scala nazionale

(P. Gasperini) – progetto biennale

<b>Tema 2</b>
n. 5 progetti triennali

Sviluppo e confronto di metodologie per la valutazione della pericolosità sismica in aree sismogenetiche: applicazione all'Appennino Centrale e Meridionale

(M. Cocco)

TRAIANO – Progetto per la stima e riduzione della vulnerabilità dell'ambiente costruito

(E. Cosenza)

Analisi di scenario nella Liguria occidentale e soluzioni per la conservazione dei centri storici

(S. Lagomarsino)

Simulazione di eventi sismici e scenari di danno in aree urbane

(M. Maugeri)

Scenari di danno nell'area veneto-friulana

(M. Ruscetti)

<b>Tema 3</b>
n. 1 progetto triennali

VIA – Riduzione della vulnerabilità sismica di sistemi infrastrutturali e ambiente fisico

(G. M. Calvi)

**Tema 4**

n. 3 progetti triennali e n. 1 progetto biennale

Progettazione di reti di monitoraggio e allarme in aree marine prospicienti zone ad elevato rischio sismico. Prima realizzazione di un nodo nella Sicilia Orientale  
(L. Beranzoli)

Edu-Risk 2002 - Educazione al terremoto: un itinerario nella riduzione del rischio  
(R. Camassi e L. Peruzza) – progetto biennale

Vulnerabilità dei centri storici e dei beni culturali  
(L. Marchetti)

Eduseis: un sismografo didattico come strumento per la formazione e la sensibilizzazione sul rischio sismico  
(V. Silvestrini)

Tutti i ricercatori coinvolti nelle attività dei diversi gruppi di ricerca hanno correttamente rendicontato l'attività svolta nel secondo anno mettendo in luce anche gli obiettivi raggiunti.

Tutte le relazioni redatte dai responsabili di progetto sono state inviate ai referees internazionali per un loro giudizio di merito.

Va sottolineato che a seguito delle modalità di erogazione dei fondi, dovute a situazioni contingenti e di bilancio, alcune Unità di Ricerca hanno potuto vedere accreditata la seconda tranche (40%) dei finanziamenti solo nel settembre 2002. Ciò ha comportato uno slittamento a marzo 2003 della rendicontazione scientifica da parte delle Unità di Ricerca.

Dal 22 al 23 Maggio 2003 si è svolta l'Assemblea Generale del GNDDT in cui sono stati presentati gli obiettivi raggiunti e sono state verificate le interrelazioni tra i diversi progetti, al fine di procedere ad un confronto dei risultati ottenuti. A tale Assemblea, a hanno partecipato tre dei quattro referees nazionali ed internazionali.

Una preliminare valutazione sui progetti ha evidenziato l'alto livello qualitativo delle ricerche ed un giudizio sostanzialmente positivo dei risultati conseguiti.

**Sito web**

Nel 2002 la Segreteria Tecnico-Scientifica ha messo a punto il nuovo sito web del GNDDT ora disponibile all'indirizzo: <http://gndt.ingv.it>

Rispetto alle vecchie pagine la veste grafica è stata totalmente modificata: sono stati ristrutturati i menù di accesso ai contenuti, sono state attivate nuove sezioni.

E' ancora possibile accedere a contenuti del vecchio sito, in particolare ai cataloghi e alle mappe ancora risidenti sul server di Milano, attraverso collegamenti ipertestuali. Sul nuovo server dell'INGV di Roma risiedono invece tutte le porzioni del sito di nuova attivazione.

Il sito web viene costantemente aggiornato e tutti i documenti ufficiali di rendicontazione vengono progressivamente inseriti in rete per la consultazione.

Sono state rese disponibili, in versione integrale, la quasi totalità delle monografie prodotte dal Gruppo negli ultimi quattro anni.

# Attività Scientifica



# Tema 1

## Valutazione del rischio sismico del patrimonio abitativo a scala nazionale



## **Terremoti probabili in Italia tra il 2000 e il 2030: elementi per la definizione di priorità degli interventi di riduzione del rischio sismico**

Coordinatori: A. Amato e G. Selvaggi

### **Introduzione**

Il rapporto dell'attività svolta nel secondo anno del progetto è suddivisa nei tre gruppi di lavoro in cui è articolato il progetto. Per gli approfondimenti metodologici e per una descrizione dei risultati si rimanda agli allegati. Gli obiettivi dei singoli gruppi per il secondo anno di attività sono riassunti di seguito:

#### **GdL 1**

Approfondimento su sorgenti in aree poco note e loro formalizzazione (task 1.1).

Analisi del ruolo dei livelli informativi di nuova introduzione (task 1.1).

Preparazione input calcoli di pericolosità (task 1.1).

Ricerche storiche in aree di lacuna (task 1.1 e 1.2).

Approfondimento punti di intensità critici per terremoti significativi (task 1.2).

Rivalutazione intensità macrosismiche a partire da dati nuovi (task 1.2).

Stima delle deformazioni geodetiche in Sicilia e in Appennino meridionale (task 1.3).

Stima del campo di deformazione sismica (task 1.3).

Deformazione verticale dall'analisi di linee di livellazione e dati geologici (task 1.3).

Selezione nuove lacune sismiche (task 1.4).

Analisi dati sismologici e geologici nelle aree di lacuna (task 1.4)

Interferogrammi differenziali e mappe di coerenza (task 1.4)

#### **GdL 2**

Catalogo strumentale integrato 1981-2000 (task 2.1)

Relazioni empiriche Md-MI (task 2.1)

Modelli 3D di velocità regionali e modello di attenuazione (task 2.1)

Database tempi di arrivo P delle linee sismiche a rifrazione 1968-2002 (task 2.2)

Modelli Vp 2-D con parametrizzazione minima e primi modelli 3-D regionali (task 2.2)

#### **GdL 3**

Calcolo leggi di attenuazione in Italia (task 3.1)

Valutazione modello attenuazione anelastica crostale e di k (task 3.1)

Stima della durata dello scuotimento efficace e di picco (task 3.1)

Informatizzazione e catalogazione schede per effetti della geologia locale (task 3.2)

Definizione geometrie bacini in lacuna sismica (task 3.2)

Stima degli effetti della geologia di superficie sull'hazard a scala nazionale (task 3.2)

Modellazione numerica degli effetti della geologia locale sullo scuotimento in aree di potenziale lacuna (task 3.2)

Analisi relazione terremoti e maremoti generati (task 3.3)

Zonazione Tsunamigenica dei mari italiani (task 3.3)

Ricerca e sistemazione dati batimetrici fascia costiera (task 3.3)

Creazione griglie preliminari per simulazione numerica (task 3.3)

Simulazione casi campione e preanalisi di massimi d'onda (task 3.3)

Analisi di dettaglio in aree campione (task 3.4)

Validazione dei modelli proposti con l'insieme dei dati osservativi (task 3.4)

Formulazione di un modello integrato (task 3.4)

## GdL 1: Il modello della sismogenesi in Italia

L'attività del GdL 1 ha avuto come obiettivo per il secondo anno la stima delle deformazioni geodetiche in Italia peninsulare, il loro confronto con le deformazioni sismiche, l'analisi di nuove sorgenti sismogenetiche e l'approfondimento di alcune di quelle già individuate attraverso nuovi dati geomorfologici e/o storici. Inoltre, il gruppo di lavoro ha continuato l'attività di identificazione e studio delle potenziali lacune sismiche. Il modello della sismogenesi in Italia deriverà dall'integrazione dei suddetti dati di base.

E' stata inoltre impostata una nuova zonazione a partire dall'analisi critica delle precedenti zonazioni sismotettoniche, usando il DISS e le informazioni sulla sismicità storica e strumentale, che sarà utilizzata per stime di hazard di tipo convenzionale.

### **Approfondimento su sorgenti selezionate in aree poco conosciute (task 1.1-1.2)**

Il catalogo DISS, la cui versione definitiva è stata distribuita nel dicembre 2001, costituisce il primo obiettivo strategico del Task 1.1. Il Database è stato distribuito su supporto CD e pubblicato su di un supplemento di *Annali di Geofisica*, che ne riassume le caratteristiche essenziali e le modalità di funzionamento (Vol. 44, 4, 2001, G. Valensise and D. Pantosti, eds.).

Il Database è costituito da sessanta sorgenti sismogenetiche supportate da dati di tipo geologico, storico e geofisico. Quattordici di queste sorgenti sismogenetiche non hanno un terremoto storico associabile e sono pertanto riconducibili a potenziali "lacune sismiche" la cui identificazione rappresenta un obiettivo scientifico primario dell'intero progetto.

Nel corso del 2002 sono state realizzate da parte del task 1.1 e 1.2 ricerche volte sia all'identificazione di nuove sorgenti sismogenetiche, sia all'approfondimento delle conoscenze su sorgenti precedentemente individuate. Si riassumono di seguito i più importanti risultati:

*Nuove sorgenti sismogenetiche da studi geologici, geomorfologici e storici*

Alta Val Tiberina. Sono state proposte due nuove sorgenti relative ai terremoti del 1917 (Monterchi-Citerna, Me 5.9) e 1789 (Val Tiberina, Me 5.6).

Valle Umbra. Sono state proposte tre sorgenti sismogenetiche responsabili dei terremoti di Foligno (1832, Ma 5.1), Bastia (1854, Me 5.6) e Montefalco (1878, Me 5.3).

Terremoto del Molise. Sono state inserite nuove sorgenti per i due terremoti del 31 ottobre (Mw 5.4) e 1 novembre 2002 (Mw 5.3), vincolate dai dati strumentali.

*Revisione di sorgenti sismogenetiche precedentemente individuate*

Sorgente di Orzinuovi. Una revisione del campo macrosismico del terremoto di Soncino del 1802 (Me 5.9) e un riesame dei rapporti tra geologia del sottosuolo e geomorfologia hanno consentito di migliorare la sorgente già proposta nel DISS 2.0 (Albini et al., 2002).

Sorgente di Mirandola (lacuna sismica?). Ciucci et al. (2002) hanno approfondito la ricerca sulla struttura tettonica responsabile delle anomalie del drenaggio relative ai fiumi Secchia e Panaro. L'integrazione tra dati di sottosuolo e osservazioni geomorfologiche ha permesso di vincolare meglio la posizione e la geometria della sorgente e di stimare uno slip rate di circa 1.7 mm/y. Burrato et al. (2003) discutono questa sorgente nel quadro della sismogenesi della Pianura Padana.

Area costiera marchigiana (lacune sismiche?). Vannoli et al. (2003) hanno svolto un'analisi geomorfologica per identificare e caratterizzare le strutture tettoniche costiere situate tra Rimini e Ancona. L'analisi del drenaggio e di terrazzi fluviali e costieri deformati ha consentito di caratterizzare meglio la geometria e la segmentazione di faglie precedentemente identificate e di confermare la presenza di due potenziali "lacune sismiche". Vannoli et al. stimano in 0.2-0.4 mm/yr lo slip rate medio delle faglie del sistema.

Bacino di Gubbio (lacuna sismica?). Pucci et al. (2003) hanno apportato nuovi contributi alle conoscenze sulle sorgenti sismogenetiche dell'area tramite rilievi di campagna, analisi di foto aeree ed elaborazioni di DEM. L'analisi svolta, integrata con recenti dati sismologici, evidenzia come il segmento a basso angolo della faglia di Gubbio sia composto da due distinte sorgenti sismogenetiche in grado di produrre terremoti di M 5.3-5.9. Mentre la più meridionale delle due è ritenuta la sorgente del terremoto del 1984, la seconda è stata identificata come potenziale "lacuna sismica".

Ricerche storiche su aree di potenziale lacuna: l'Alta Val Tiberina

I risultati ottenuti finora, sebbene preliminari (Castelli, 2002) forniscono una evidenza interessante di alcuni terremoti distruttivi sconosciuti, la cui localizzazione e dimensione deve ancora essere approfondita con ulteriori analisi e possibilmente nuovi dati. Uno dei risultati principali è l'evidenza di un terremoto distruttivo nel 1558, emerso recentemente e ora confermato come un evento che ha danneggiato Città di Castello. Tracce di alcuni altri forti terremoti sono stati trovati nelle valli dell'Arno e del Tevere nei secoli XIII, XV, XVI e XVII e sono attualmente oggetto di ulteriori ricerche.

### **Deformazioni geodetiche (task 1.3)**

E' stata conclusa l'analisi dei dati GPS acquisiti nel 2001 e nel 2002 sui monumenti IGM in Italia peninsulare e determinati i tassi di shear strain in un intervallo di 126 anni (Hunstad et al., 2003). I risultati mostrano che:

- il processo dominante in Appennino è estensione in direzione NE-SW;
- il segnale geodetico lungo la fascia tirrenica e adriatica è paragonabile con l'errore associato alle misure, fatta eccezione per il Gargano;
- *shear strain* in Appennino sono dell'ordine di  $0.5-1 \cdot 10^{-7} \text{ yr}^{-1}$ . Tale *strain*, se integrato attraverso la fascia appenninica fornisce stime del tasso di estensione dell'ordine di 2.5-5.0 mm/yr con incertezze di circa 1-1.5 mm/yr;
- I valori di *shear strain* geodetici sono stati confrontati con gli *strain* sismici osservati nello stesso intervallo temporale delle stime geodetiche. Il confronto mostra che esiste una ottima corrispondenza nelle direzioni degli assi principali dei tensori di *strain* geodetico e sismico. Il valore però differisce sensibilmente suggerendo che in Appennino si è accumulato uno *strain* elastico importante. Estendendo il confronto su una scala temporale maggiore (700 anni di deformazione sismica) si osserva che, in Appennino, a lungo termine solo il 25% della deformazione geodetica è rilasciata da terremoti.

In ultimo, nell'autunno 2002 sono stati misurati i 14 vertici IGM in Sicilia. I risultati mostrano un consistente pattern delle deformazioni geodetiche negli Iblei con tassi di deformazione dell'ordine di  $1-2 \cdot 10^{-7} \text{ yr}^{-1}$ .

E' stato concluso il lavoro sulle linee di livellazione, che fornisce un limite superiore dei movimenti verticali attraverso l'Italia.

In generale, i risultati forniscono principalmente un vincolo tettonico e si integrano con il catalogo DISS per una visione comprensiva della deformazione attiva in Italia.

### **Studi sulle potenziali lacune sismiche (Città di Castello, Val d'Agri, Melandro-Pergola) (task 1.4)**

Nelle aree campione considerate potenziali lacune sismiche (Alta Val Tiberina, Appennino campano-lucano) sono state condotte specifiche ricerche di dettaglio al fine di una caratterizzazione geometrica, strutturale e deformativa. In particolare:

- Studi sul substrato dei bacini attraverso dati di geoelettrica e stratigrafici da pozzi
- Caratteristiche sismotettoniche e cinematiche da revisione e analisi di dati sismici storici, strumentali, meccanismi focali, linee sismiche a riflessione
- Accumulo di *strain* elastico attraverso immagini InSAR

La sismicità storica si ubica in corrispondenza delle "lacune" di sismicità strumentale; quest'ultima si distribuisce nelle aree orientali rispetto al Bacino Tiberino. La distribuzione spaziale delle sequenze di Sansepolcro sono localizzate a NE del Bacino. Al momento le nostre ipotesi di lavoro sono:

1. Per analogia con l'area meridionale, lungo il bacino s'ipotizza una struttura posta sul bordo orientale orientata N130-160 con dip compreso tra 40° e 60° W immergente a cinematica distensiva. La lunghezza della struttura viene ipotizzata tra 10 e 15 km e ubicata in posizione più interna rispetto al bacino, senza arrivare in superficie, e capace di generare eventi di M massima pari a 6.

2. Gli studi sulla "Faglia Alto-Tiberina" ci portano a supporre sul bordo occidentale una struttura a direzione articolata con un dip di ~ 20° e un'estensione di ~15 km, in grado di generare eventi minori.

Per la Val d'Agri la struttura tettonica più importante sembra essere posta sul bordo orientale del bacino a vergenza tirrenica, ma non si possono escludere eventi anche sulla struttura posta sul lato opposto evidenziata dagli studi sulle sequenze sismiche.

Per il Melandro-Pergola si presuppone una struttura appenninica sub-verticale adriatico-vergente, a cinematica distensiva, posta sul bordo W del bacino.

Sono stati realizzati interferogrammi differenziali (14 per Città di Castello, 5 per la Val d'Agri) compresi tra il 1992 e il 2002 al fine di fornire uno stack per minimizzare il contributo atmosferico. E' stato realizzato un DEM con risoluzione di 20m per eliminare il residuo dovuto al contributo topografico nelle immagini InSAR. I risultati mostrano delle frange differenziali residue interpretabili come segnale e che verranno analizzate nel prossimo anno.

Con l'ausilio di software GIS sono stati sovrapposti i dati sismologici e i dati SAR alla cartografia digitale con lo scopo di integrare il contenuto informativo delle singole tecniche e dei differenti tipi di dato.

Per quanto riguarda lo studio di nuove aree di lacuna si è deciso, nell'ultimo anno di progetto, di non intraprendere nuove ricerche ma di approfondire le due aree selezionate estendendo le indagini anche alle zone limitrofe. Il motivo di tale scelta è legato sia al fatto che sono stati acquisiti nuovi dati, ancora da analizzare, ma anche per le potenzialità che gli studi finora eseguiti hanno mostrato.

### **Elementi generali verso una nuova zonazione sismica convenzionale (task 1.2)**

Come prodotto collaterale di questo GdL, abbiamo avviato la messa a punto di una zonazione sismogenetica originale: a) consistente con le conoscenze più aggiornate

della tettonica attiva e con DISS, b) in cui la dimensione delle zone sia tale che il numero dei terremoti in ciascuna zona rappresenti un campione affidabile per valutazioni statistiche. Come primo passo la zonazione ZS4, ancora usata, è stata rivista definendo una nuova zonazione ZS6, ottenuta riducendo il numero di ZS da 80 a 25, principalmente unendo ZS adiacenti con comportamento simile, ma senza ancora modificarne la geometria originale. Inoltre il catalogo CPTI (che non dovrebbe essere usato con ZS4 poichè i due hanno un differente background) è compatibile con la nuova zonazione. Per ogni nuova zona sismica sono stati determinati i relativi intervalli di completezza basati sulle evidenze storiche. Il passo successivo è stata la realizzazione di un prototipo di ZS9, dove le zone sismiche sono disegnate adottando nuovi criteri (ad esempio la Mmax). ZS9 è stato definito per l'Italia nord-orientale mentre è stata predisposta una prima bozza per l'intero territorio italiano (Stucchi et al., 2002).

### **GdL 2: Sismicità recente, modelli di velocità, attenuazione**

L'attività del gruppo di lavoro 2 aveva come obiettivo per il secondo anno di lavoro la realizzazione di un catalogo strumentale integrato fino al 2000 e la definizione di modelli tridimensionali di velocità della crosta con relativi test di risoluzione. Parallelamente (task 2.2), un obiettivo importante era la creazione del database dei tempi di arrivo delle sezioni sismiche a rifrazione acquisite sul territorio nazionale dal 1968 ad oggi e la loro integrazione negli studi sul modello di velocità tridimensionale.

### **Catalogo strumentale 1981-2002 e modelli di velocità (task 2.1 -2.3)**

Il catalogo strumentale realizzato in ambito del progetto copre il periodo 1981-2002 e comprende il maggior numero possibile di localizzazioni, magnitudo (durata) e tempi di arrivo di fasi P e S per terremoti avvenuti nella regione Italiana. Il catalogo contiene più di 73,000 terremoti localizzati e più di 700,00 fasi P e 600,000 fasi S registrate sia dalla rete nazionale dell'INGV che dalle principali reti sismiche permanenti regionali e locali (OGS-CRS, Univ. Genova, Resil Umbria, Rete Reg. Abruzzo (SSN), Rete regionale Marche, Univ. Cosenza, reti ENI-AGIP, rete INGV-OV, INGV-CT). Le localizzazioni sono state ottenute in maniera omogenea usando il codice Hypoellipse. Per ogni stringa evento viene fornita, oltre ai parametri ipocentrali, la stima degli errori, del valore finale dell'rms di localizzazione, del gap azimuthale e del numero di fasi usate per la localizzazione. Tali parametri sono ovviamente importanti per effettuare selezioni di qualità sui terremoti del catalogo.

In particolare per il periodo 1981-1996 sono state usate le fasi e le associazioni del catalogo GNDT 1981-1996. Il catalogo comprende 39723 terremoti registrati a un totale di 467 stazioni. Per il periodo 1997-2002 sono state determinate nuove associazioni degli eventi, consistenti con quelle originarie dei bollettini delle diverse reti. Sono state controllate le associazioni sia prima che dopo la localizzazione verificando i terremoti che avevano valori di residuo superiori ad una predeterminata soglia. Il data set finale di questo periodo comprende 32644 terremoti localizzati, registrati a un totale di 411 stazioni sismiche. Infine è in corso lo sviluppo delle procedure per mettere in rete e per rendere facilmente consultabile il catalogo.

A partire dai dati del suddetto catalogo, sono stati calcolati modelli di velocità 3D per la crosta ed il mantello superiore della regione Italiana.

Usando una selezione di 24246 tempi di arrivo a 717 stazioni sismiche, l'inversione

permette di ottenere una risoluzione molto alta delle immagini tomografiche. La riduzione di varianza è considerevole (~50%) e il valore finale di rms è inferiore a 0.5 s.

La risoluzione dei modelli di velocità è di circa 15 km in x e y in 2 strati crostali (8, 22 km) e in 4 strati del mantello superiore (38, 52, 66, 80 km). Il modello permette quindi una maggior definizione delle anomalie in una zona più ampia di quanto precedentemente modellato da Di Stefano et al., 1999. Il modello ottenuto fornisce un quadro geometrico delle strutture profonde che contribuisce alla comprensione della tettonica attiva nella penisola italiana. È in corso di analisi la localizzazione dei terremoti dell'intero catalogo con il modello tridimensionale.

Parallelamente alla diffusione del nuovo catalogo sismico integrato, è stata realizzata la banca dati in linea delle forme d'onda originali della Rete Sismica Nazionale Centralizzata dal 1988 ad oggi. Attualmente, il catalogo delle forme d'onda è consultabile al sito <http://waves.ingv.it>, da dove è possibile fare un *download* dei parametri ipocentrali degli eventi localizzati, dei tempi di arrivo e delle forme d'onda. Tramite il catalogo delle forme d'onda dei terremoti è in fase di studio la possibilità di calcolare in modo automatico e omogeneo le durate del segnale al fine di ottimizzare le regressioni empiriche tra durata e Ml.

### **Modelli crostali 2-D e 3-D nell'area italiana da dati di sismica attiva (task 2.2)**

Durante il secondo anno di attività svolta nell'ambito del progetto, è stato completato il picking dei tempi di primo arrivo delle onde P individuati sulle sezioni sismiche a rifrazione che sono state acquisite nel territorio italiano dal 1968 ad oggi e la costruzione del database contenente tali tempi di arrivo e altre informazioni relative a ciascun profilo.

In particolare sono stati eseguiti i picking dei tempi di arrivo su 419 sezioni sismiche registrate lungo le linee relative ai seguenti progetti: Sicilia 72, Etna 77, Sicilia 80, Sicilia 84, Puglia 72, Calabria 70, Calabria 72, Calabria 79, Tirreno 71, Appennini 74, Toscana 78, Bolsena, DSS79-80, Crop03, Umbria 81-84, Btp 91, Sardegna 82, Ecors 85, Ecors 87, Alp 75, Friuli 78, Sudalp 77, Appennini 83-85, EGT 83, EGT 86, Appennini 87, Bardi 87, Lisa, Cropmare 94, Tomoves 94 e Tomoves 96. Delle 419 sezioni che sono state analizzate, 40 erano state acquisite in configurazione fan.

Alcuni dei dati contenuti nel set di dati sono sezioni a rifrazione (WARR) ad elevata densità, come per esempio i dati relativi ai progetti Lisa e Cropmare. Queste sezioni sono state acquisite nel 1994 congiuntamente con i dati a riflessione quasi verticale (NVR) per mezzo di stazioni sismiche a 3 componenti ubicate lungo la costa italiana. Le sezioni sismiche relative agli altri esperimenti erano state registrate per mezzo di strumenti analogici e quindi sono state successivamente digitalizzate e controllate dall'ex Istituto del CNR, IRRS, (Biella et al., 1994; Osculati et al., 1995; Ferrari et al., 1998; Corsi 1999a; Corsi 1999b) e recentemente processate dall'Istituto IDPA.

L'individuazione dei tempi di primo arrivo delle fasi P è stata eseguita manualmente utilizzando un algoritmo che è stato implementato in ambiente Matlab (vedi allegato al task 2.2).

Sulle sezioni DSS e WARR che sono state analizzate sono stati identificati 11820 tempi di primo arrivo di onde P, che sono stati inseriti nel database con gli errori ad essi associati, le funzioni 1D velocità-profondità calcolate per ciascun profilo ed altre

caratteristiche importanti di ogni sezione sismica. Il database è stato realizzato mediante il software Microsoft Access.

I tempi di arrivo che sono stati correlati sono fasi Pg e Pn relative a onde di penetrazione rispettivamente nella crosta superiore e nel mantello superiore e l'errore medio è 0.025 s.

Per ciascuna curva tempo-offset inserita nel database è stato calcolato un modello di velocità monodimensionale. Le funzioni velocità-profondità sono state determinate usando tre diversi metodi di modellazione: un modello che assume un gradiente di velocità costante, un modello con gradiente di velocità variabile e un modello a strati. Al fine di effettuare analisi tomografiche sia a scala regionale sia locale, sono stati determinati i modelli monodimensionali di velocità medi relativi ad alcune aree, che potrebbero costituire il modello iniziale per l'inversione tomografica. In questo caso sono stati calcolati soltanto i modelli a gradiente costante e variabile, che sono stati ottenuti sia invertendo la dromocrona media relativa all'area, sia mediando le funzioni velocità-profondità associate a ciascun profilo della stessa area. Infine, le fasi Pg e Pn del catalogo sono state integrate con il catalogo strumentale e sono in corso inversioni congiunte dei due dataset.

### **GdL 3: Leggi di attenuazione, effetti della geologia locale, modelli di pericolosità**

Il lavoro svolto dal gruppo di lavoro 3 ha riguardato la determinazione delle leggi di attenuazione regionali del moto del suolo, degli effetti della geologia a scala nazionale, dei modelli di pericolosità sismica "time dependent" e della pericolosità dei maremoti.

#### **Leggi di attenuazione regionali (task 3.1)**

Considerato che le caratteristiche delle propagazione crostale non cambiano all'aumentare della magnitudo, e che registrazioni *strong-motion* vengono effettuate molto di rado, abbiamo utilizzato la grande mole di registrazioni *weak-motion* che proviene dal monitoraggio della sismicità di fondo per quantificare le leggi di attenuazione per il *ground motion* a scala regionale.

Le regressioni sono state effettuate su data sets molto importanti di registrazioni *weak-motion*, sia sui valori di picco delle forme d'onda filtrate passabanda, sia sulle ampiezze di Fourier (Malagnini et al., 2000, 2002). I dettagli metodologici sono illustrati nell'allegato al task 3.1.

Insieme ai valori di picco ed alle ampiezze di Fourier viene quantificata, in tutte le bande di frequenza, la durata dello scuotimento significativo in funzione della distanza ipocentrale. Quest'ultima informazione è utilizzata, attraverso lo strumento della Random Vibration Theory (RVT) per modellare i valori di picco in funzione di frequenza e distanza ipocentrale, ovvero per ottenere stime di PGA, PGV, PSA.

Le regioni investigate nel 2002 sono le Alpi Orientali ed Occidentali (Malagnini et al., 2002a,b, Morasca et al., 2002, per un totale di 18,000 forme d'onda da 1800 eventi, e ~6,000 registrazioni da 962 terremoti, rispettivamente), Sicilia Orientale (117 eventi, 1420 serie temporali, Scognamiglio et al., 2002) e l'Appennino Centrale (circa 521 eventi, 8079 sismogrammi, selezionati per il momento da un set di dati di circa 2000 terremoti e ~60000 forme d'onda disponibili). Alcune ricerche svolte nella regione dell'Appennino Centrale sono state effettuate in collaborazione con il progetto GNDDT

“Sviluppo e confronto di metodologie per la valutazione della pericolosità sismica in aree sismogenetiche: ...” (coord. M. Cocco).

Per quanto riguarda un'altra regione d'Italia che si intendeva studiare, la Garfagnana, sono stati selezionati 605 eventi, per un totale di circa 3000 sismogrammi. Il preprocessamento è stato effettuato e i risultati saranno disponibili nel terzo anno.

### **Effetti della geologia di superficie a scala nazionale (task 3.2)**

Rispetto ai tre obiettivi previsti per questo task, l'attività si è svolta come descritto nel seguito:

1) Le schede inviate ai Comuni italiani nel primo anno sono già state compilate per una percentuale pari a circa il 23% del totale, una parte di esse è stata trasmessa all'INGV direttamente via Internet, una parte tramite posta su supporto cartaceo. E' stata sviluppata una pagina web interattiva per la raccolta online dei dati, che consente ai tecnici dei Comuni di compilare il questionario direttamente online. In questo modo il materiale è subito archiviato in un data base, in cui verranno successivamente inseriti i dati dell'archivio cartaceo.

2) Utilizzando la carta geologica 1:500.000, le litologie affioranti sono state suddivise in tre delle classi previste dall'EC8 (terreni di tipo A, B, e C, corrispondenti rispettivamente a roccia, sedimento consolidato e sedimento inconsolidato). Si è effettuata una zonazione geologica del territorio nazionale sulla base delle tre classi, usando un grigliato di 250 metri. E' stata messa a punto una procedura che, partendo da una mappa di hazard di PGA “hard rock” a scala nazionale (periodo di ritorno 475 anni), costruisce lo spettro di risposta elastico EC8 (pseudo-accelerazione) sul grigliato prestabilito tenendo conto della classificazione dei terreni di superficie. Attraverso gli spettri EC8 così costruiti, per ogni punto della griglia vengono calcolati i seguenti parametri di hazard : PGA, intensità di Housner, valore dello spettro di risposta a 0.3, 1 e 2 sec. A titolo di esempio, la figura mostra la variazione che si osserva nell'intensità di Housner quando in una mappa a scala nazionale si considera la geologia affiorante.

Per valutare criticamente i risultati prodotti, si è innanzitutto effettuato un confronto con carte geologiche di maggiore dettaglio (1:10000 e 1:5000).

Utilizzando il metodo del *Confusion Matrix* si è verificato che l'imprecisione nei limiti geologici derivante dalla scala 1:500.000 è intorno al 20% per i terreni di tipo B + C, ma può raggiungere il 40% per i terreni di tipo A. Inoltre, considerati separatamente, i terreni di tipo B e C appaiono spesso intercambiabili. Ci si propone ora di effettuare un secondo test, ben più importante, per valutare quanto nella pratica sia corretto incrementare il livello di protezione sulla base di una stima che prescindendo da indagini su scala locale. Sono state prese in considerazione le mappe di intensità di alcune aree (Friuli, Irpinia, Umbria-Marche, Lazio-Abruzzo) per verificare se dai piani quotati emergano anomalie di cui si possa trovare riscontro nelle stime teoriche.

3) Tra le aree di lacuna, si è lavorato sulla zona Città di Castello – San Sepolcro. Si sono ricostruiti due profili attraverso la Val Tiberina per tener conto delle variazioni in larghezza e profondità della valle stessa. Si è anche predisposta una procedura che, seguendo l'approccio di Pergalani et al. (2000) calcola l'incremento dello spettro di

risposta a probabilità uniforme dovuto alla colonna stratigrafica al sito. Le modellazioni numeriche e il calcolo dei parametri di hazard sono in corso.

### **Pericolosità per i maremoti (task 3.3)**

Il gruppo di lavoro del Task 3.3, composto da INGV e Università di Bologna, si occupa della realizzazione di una carta di pericolosità per i maremoti. Una delle aree più interessanti dal punto di vista tsunamigenico è quella della Sicilia orientale e delle coste tirreniche della Calabria, dove si è concentrata l'attività del secondo anno. Il gruppo ha portato a termine il reperimento di dati batimetrici e geomorfologici per la fascia costiera oggetto di studio e ha provveduto alla digitalizzazione di gran parte del materiale raccolto. E' stato portato a termine uno studio dettagliato del maremoto del 1693 per esaminare l'impatto che un evento analogo avrebbe oggi nella stessa area. In particolare è stata fatta una ricostruzione storica accurata dell'urbanizzazione delle località costiere coinvolte, allo scopo di definire la reale mappa di inondazione. Sulla base della ricostruzione e utilizzando mappe tematiche del territorio attuale (mappe catastali, piani regolatori generali, carte dell'Agro, piani territoriali paesistici, ecc.) sono state individuate le strutture che possono essere definite "punti deboli" in caso di un'inondazione paragonabile a quella del 1693.

Parallelamente, il gruppo di lavoro si è occupato della simulazione di maremoti nello stretto di Messina e dello studio di metodi per il calcolo del run-up e del draw-dawn di onde generate da terremoti. Nel primo caso è stato preso in esame il maremoto di Messina del 1908 effettuando ricerche sulla faglia sorgente. Sono state portate a termine simulazioni numeriche del maremoto in una nuova griglia numerica a maglie triangolari per mezzo di un codice di mesh building sviluppato in loco. I risultati mostrano che una faglia sorgente che si prolunga a sud dello stretto nello Ionio almeno fino alla latitudine di Giardini Naxos produce infatti un maremoto più compatibile con le osservazioni (Tinti ed Armigliato, 2003). Questa conclusione conferma studi precedenti condotti sul maremoto dagli stessi autori (Tinti e Armigliato, 2001) e studi recenti compiuti sull'analisi congiunta di dati sismologici e geodetici. Un ulteriore importante elemento al centro della ricerca è stato lo studio del legame tra la deformazione del fondo marino e la generazione di maremoti. Si è indagata l'influenza della topografia superficiale nella zona sorgente sul calcolo delle deformazioni del fondo marino, che a loro volta producono il maremoto. A tale scopo sono stati condotti studi preliminari utilizzando un codice agli elementi finiti per il calcolo di spostamenti e sforzi in un mezzo elastico sviluppato dall'Unità di Ricerca di Bologna. Si è calcolato l'effetto lungo alcuni profili ortogonali alla faglia sorgente del maremoto di Messina (ipotesi di Capuano et al., 1988) e si è trovato conferma che la topografia di superficie caratterizzata da forti gradienti (in pochi chilometri si passa dalle vette della Sila nella Calabria meridionale a profondità superiori a 1000 m nello Stretto) ha un notevole effetto sul calcolo degli spostamenti (Armigliato e Tinti, 2002). Lo studio della propagazione di un maremoto in prossimità della costa è stato condotto mediante metodi analitici generalizzando soluzioni classiche che erano state elaborate da Carrier e Greenspan per le equazioni non lineari di shallow water negli anni 50-60. Si è riusciti infatti a trovare soluzioni esatte relative a perturbazioni iniziali che sono simili a quelle prodotte da terremoti con sorgente vicino alla costa. Lo studio è in fase di svolgimento. Fino ad ora si è potuto dimostrare che in tali circostanze le formule proposte da Synolakis (1987) e largamente utilizzate ancora

oggi in letteratura per la stima del run-up non possono essere applicate quando la sorgente è vicino alla costa (Tonini, 2002).

### Pericolosità “time-dependent” (task 3.4)

Rispetto ai tre obiettivi previsti per questo settore, l'attività si è svolta come segue:

1) Nel secondo anno sono stati applicati ad aree campione modelli probabilistici per la valutazione della pericolosità sismica dipendente dal tempo, studiati nel primo anno. Si tratta di modelli dipendenti: a) solo dall'ultimo evento (processi di rinnovo); b) dall'intera storia sismica della regione (processi di rilascio di sforzo). Nel primo caso, tali distribuzioni sono state applicate a quattro zone Italiane: Friuli, Umbria, Irpinia e Stretto di Messina; per esse si sono calcolate le probabilità condizionate di accadimento di un evento qualunque al tempo  $t$  misurato a partite da  $t_0$ , tempo trascorso dall'ultimo evento. Le elaborazioni si basano sul catalogo CPTI e sulla zonazione ZS4 (eventi considerati: magnitudo  $M_a \geq 4$ ). La mistura Esponenziale+Weibull evidenzia: una possibile correlazione tempi-magnitudo per il Friuli; un comportamento poissoniano per l'Umbria; un comportamento tendenzialmente bimodale per l'Irpinia; un comportamento nettamente bimodale per lo Stretto di Messina. Nel secondo caso, sono state esaminate due regioni: l'arco calabro e la zona dell'Irpinia-Sannio-Matese, cioè, con riferimento alla zonazione ZS4, le zone dei due insiemi  $\{65, \dots, 72\}$  e  $\{58, 62, 63, 64\}$ . Sono state esaminate diverse versioni dei modelli di rilascio di sforzo, da quella di base in cui un unico processo fisico agisce nell'intera regione, al cosiddetto modello "independent" in cui diversi processi fisici, con differente tasso di accumulo, sono presenti in sottoregioni, al modello "linked" che ammette la possibilità di interazioni positive o negative tra le diverse zone. Resta un problema aperto identificare regioni a cui associare tali modelli; la scelta dovrebbe essere compiuta sulla base di considerazioni geologiche, ma anche tenendo conto del numero di osservazioni disponibili rispetto al numero di parametri da stimare.

2) Relativamente alla validazione dei modelli proposti abbiamo proseguito nell'applicazione del criterio di credibilità che consente di giudicare quale, fra alcuni modelli candidati, sia il migliore ai fini della stima di una particolare grandezza di hazard sismico. L'indagine in un campo di realtà congetturali, sufficientemente vasto da considerarsi esaustivo ai fini pratici, consente di scegliere il modello miglior stimatore. Poiché la grandezza da stimare è variabile nel tempo, tipicamente l'*hazard rate* nella modellazione dei *renewal processes*, si è perciò provveduto ad implementare i codici di calcolo per definire l'errore come contributo integrale e giungere alla preferibilità di uno fra i modelli candidati anche nel caso di hazard variabile nel tempo.

3) Il modello integrato per il calcolo della pericolosità sismica è stato strutturato in relazione ai dati disponibili, ed è migliorabile/modificabile in relazione alle nuove conoscenze. Si compone di diversi livelli di modelli di sorgenti, quantificati con percorsi differenziati, e inseriti in una struttura complessiva di albero logico. Tutte le stime di scuotimento sono riferite al periodo tradizionale  $T=475$  anni, con l'utilizzo della relazione di attenuazione della PGA di Ambraseys et al., 1996, senza deviazione standard. Tale scelta infatti è resa necessaria dall'esigenza di poter comparare i risultati con i prodotti precedenti, ma verrà modificata nelle elaborazioni

del modello finale per recepire i risultati del Task 3.1. Il modello integrato è costituito da: un livello definito Background, in cui la sismicità di basso grado ( $M < 5.5$ ) è stata caratterizzata a partire dal catalogo strumentale nel periodo 1981-1996 realizzato da precedenti progetti GNDT, ad oggi il prodotto più omogeneo e completo disponibile, sia riguardo la stima della magnitudo, sia per localizzazioni e copertura del territorio nazionale; un livello definito DISS che recepisce le sorgenti catalogate nel Database of Potential Sources, accettando l'ipotesi progettuale di sorgenti di geometria e magnitudo caratteristica note. I problemi maggiori riguardano la quantificazione dei tempi di ritorno associati, per i quali è necessario un ulteriore approfondimento con gli operatori del Gruppo di Lavoro 1; ulteriori problemi riguardano la sovrapposizione spaziale di sorgenti, e la rappresentazione geometrica dei dati storici di peggior qualità (sorgenti circolari), escluse per il momento dall'analisi. Le sorgenti DISS sono state suddivise in due sottolivelli, rispettivamente di sorgenti storiche e di sorgenti geologiche, in relazione alle informazioni disponibili: le sperimentazioni time-dependent sono per ora limitate al livello DISS geologiche, ma non entrano nella composizione ad albero logico dei tre livelli di modelli di sorgenti. La mappa presenta un aspetto più frammentato dei prodotti tradizionali, con un significativo influsso dovuto alle proiezioni del livello di sismicità di background. E' in corso il tentativo di vincolare i modelli di sismicità in relazione alle osservazioni geodetiche. Per maggiori dettagli si faccia riferimento alla relazione di obiettivo depositata, e ai documenti ivi citati.

## Conclusioni

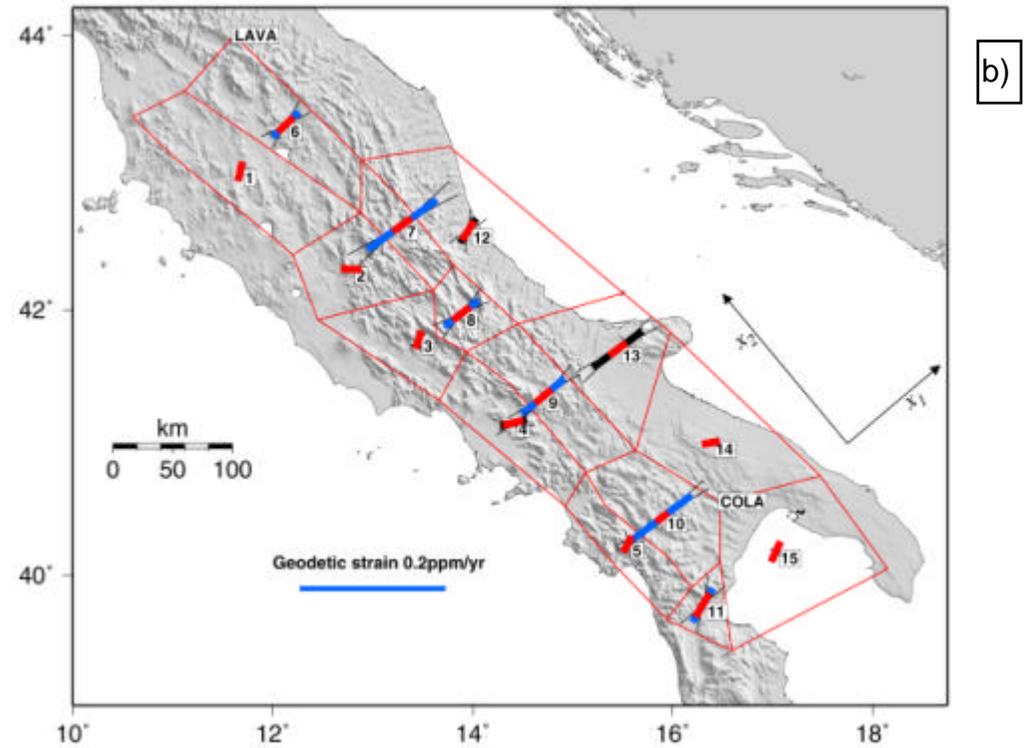
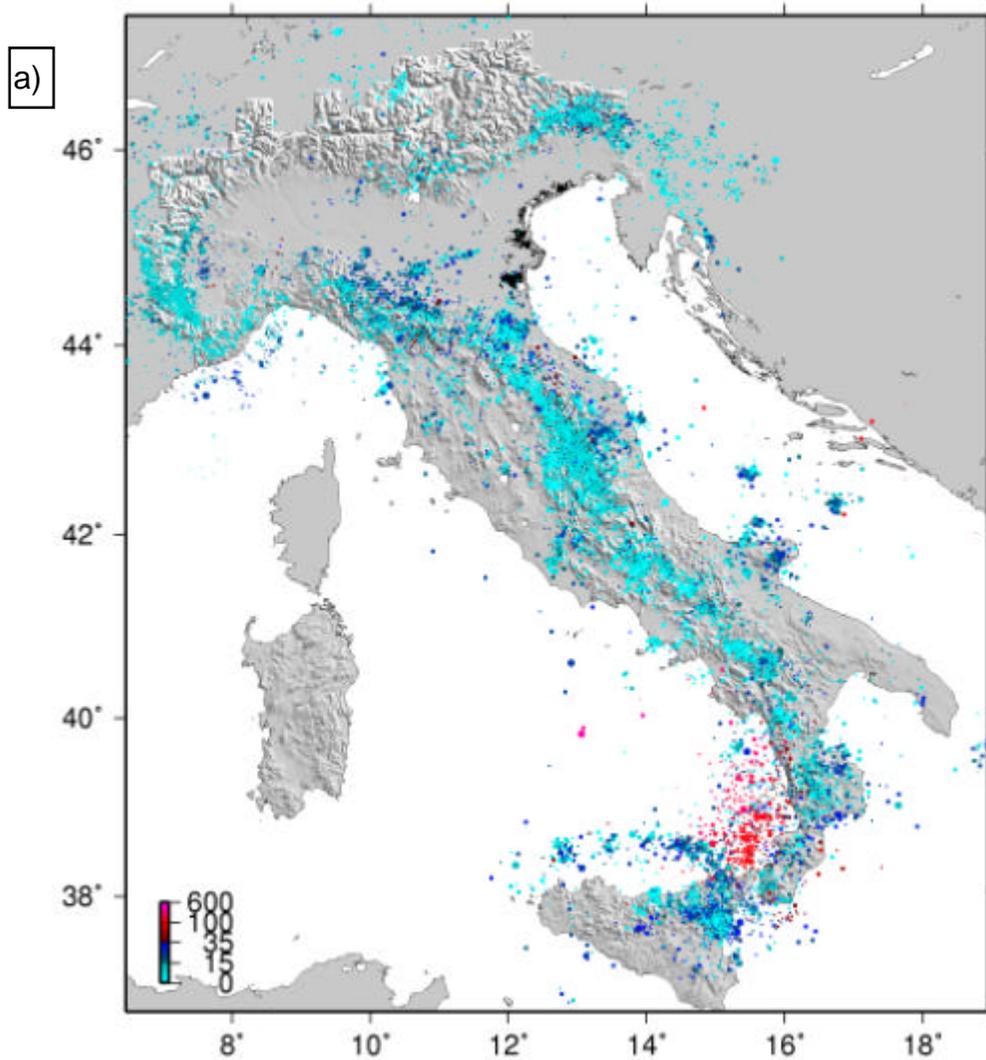
Alla conclusione del secondo anno di attività, gli obiettivi prefissati sono stati quasi tutti raggiunti. Tra questi, una versione aggiornata del catalogo delle sorgenti sismogenetiche (DISS) con l'inserimento di diverse nuove faglie in aree poco note. La revisione delle fonti storiche ha evidenziato alcuni forti terremoti appenninici precedentemente sconosciuti. Allo stesso tempo, sta procedendo lo studio di dettaglio delle due aree identificate come potenziali lacune, attraverso il confronto di diverse metodologie. Un importante vincolo al modello della sismogenesi in Italia sta derivando dalle campagne GPS sulla rete di triangolazione IGM dell'800, che ha fornito risultati originali in Appennino centro-meridionale e in Sicilia. Queste stime saranno usate nel terzo anno del progetto per vincolare i calcoli di pericolosità. Un altro prodotto del secondo anno di attività è il catalogo integrato della sismicità strumentale esteso al 2002, che con i suoi oltre 70.000 terremoti localizzati fornisce un'immagine molto dettagliata delle strutture attive in Italia. E' stato anche realizzato un database dei tempi di arrivo P delle campagne di sismica attiva dagli anni '60 ad oggi, che è in corso di integrazione con i dati citati dei terremoti per vincolare meglio i modelli di velocità crostale e le localizzazioni 3-D.

Inoltre, è in corso di realizzazione una nuova zonazione sismica della regione italiane, basata sulle informazioni sismologiche e geologiche frutto dei diversi task del progetto, che verrà utilizzata per mappe di pericolosità "convenzionali". E' proceduto significativamente il lavoro sulle leggi di attenuazione regionali, basati su grandi quantità di forme d'onda del moto del suolo weak- e strong-motion. I risultati mostrano variazioni significative delle caratteristiche della propagazione delle onde sismiche nelle diverse aree esaminate, che possono quindi influenzare lo scuotimento in maniera importante. E' stato completato nel secondo anno l'invio delle

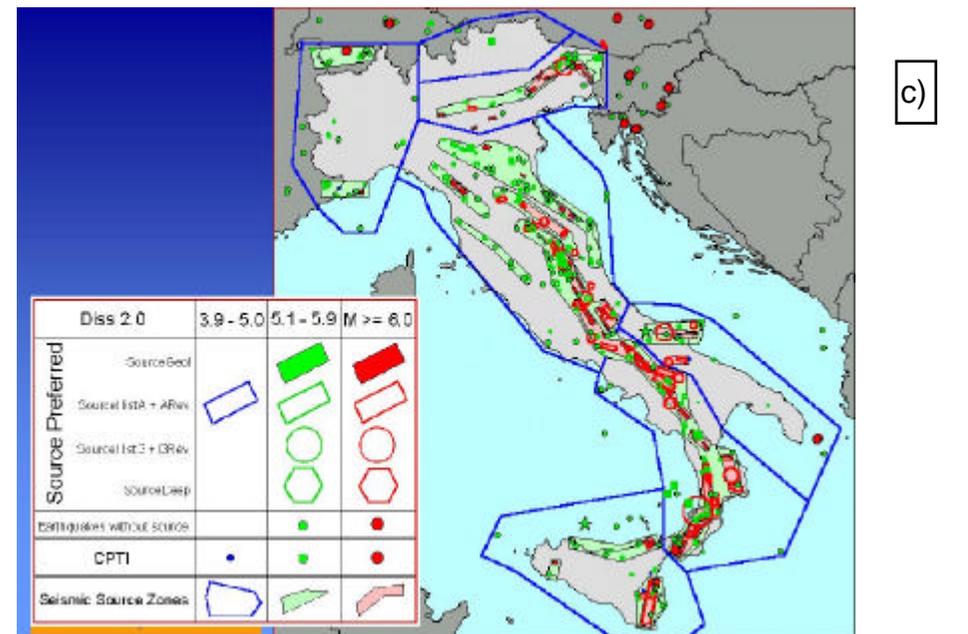
schede sugli effetti della geologia locale agli oltre 8000 comuni italiani; la raccolta ha raggiunto per ora il 23% del totale. Ancora nell'ambito della stima degli effetti di sito a scala nazionale è stata messa a punto una procedura che, partendo da una mappa di hazard di PGA "hard rock", costruisce lo spettro di risposta elastico EC8 (pseudo-accelerazione) sul grigliato prestabilito tenendo conto di una classificazione semplificata dei terreni di superficie, ottenuta nel progetto sulla base della carta geologica al 500.000. Si sono fatti progressi significativi verso la realizzazione di una carta di pericolosità per i maremoti, concentrandosi particolarmente sulla Calabria e la Sicilia, sia raccogliendo nuovi dati che sviluppando simulazioni numeriche.

Nello sviluppo delle metodologie per il calcolo della pericolosità "time-dependent", sono stati applicati modelli probabilistici ad alcune aree campione per la valutazione della pericolosità sismica dipendente dal tempo, sia dall'ultimo evento (processi di rinnovo) che dall'intera storia sismica della regione (processi di rilascio di sforzo). È stato predisposto un primo modello integrato per il calcolo della pericolosità sismica, basato sui dati strumentali e delle faglie disponibili al momento. La mappa ottenuta nel secondo anno, che sarà migliorata nel terzo anno del progetto inserendo nuovi vincoli dagli altri prodotti del progetto (stime di deformazione sismica e geodetica, sismicità storica e strumentale), mostra un aspetto più frammentato delle mappe note, mostrando l'influenza non trascurabile della sismicità "di fondo".

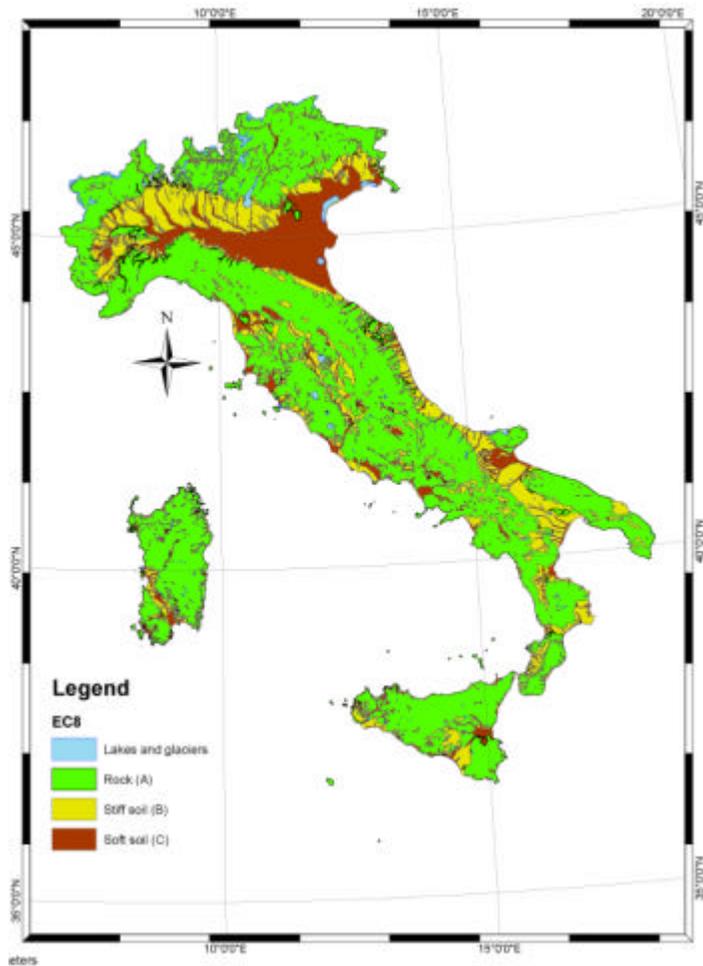
All'inizio del terzo anno, sono oramai disponibili quasi tutti i dati di base inizialmente previsti. Questi serviranno per costruire o raffinare le mappe di *hazard* convenzionali e quelle dipendenti dal tempo, che costituiscono l'obiettivo finale del progetto. A questo scopo verrà ampiamente utilizzato il GIS del progetto, costruito nei primi due anni con tutti i dati finora disponibili per effettuare più efficacemente confronti tra diverse basi di dati.



a) localizzazioni epicentrali del catalogo strumentale integrato 1981-2002; b) Shear strain geodetici (blu=estensionale; nero=compressionale) plottati nella direzione degli assi principali del tensore di strain; c) proposta per una nuova zonazione sismica del territorio nazionale derivata dall'analisi della sismicità storica, dal catalogo DISS e dal catalogo della sismicità strumentale

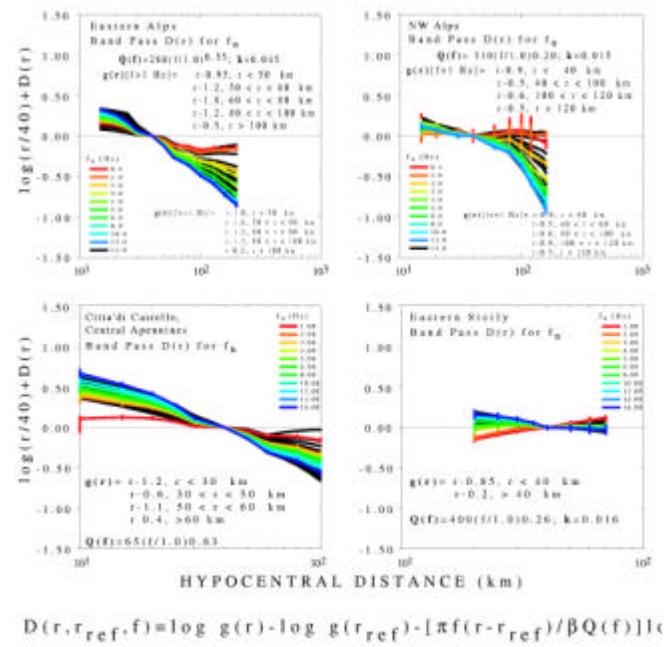


a)

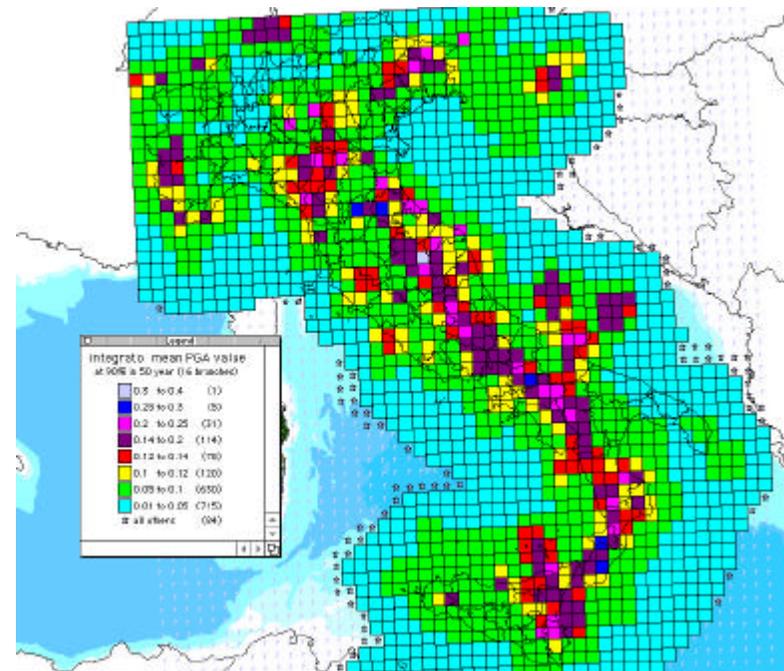


a) Carta della geologia a scala nazionale in accordo con EC8; b) Ciascuno dei 4 riquadri mostra le relazioni di attenuazione empiriche ottenute per le Alpi Orientali, Alpi Occidentali, Sicilia Orientale e Appennino Centrale; c) PGA (g) al 90% di probabilità in 50 anni usando le leggi di attenuazione di Ambraseys et al. (1996). La sismicità è modellata usando CSTI, sorgenti storiche e geologiche del DISS

b)



c)



## **Uno Studio per la Valutazione della Pericolosità derivante da Processi Geologici Sottomarini nei Mari Italiani: Terremoti, Maremoti e Frane**

Coordinatore: Dott. Andrea Argnani

### **Introduzione**

L'Italia si colloca in un'area geologicamente giovane e molto attiva dal punto di vista tettonico. I terremoti e le eruzioni vulcaniche, come pure l'intensa erosione dei suoi giovani rilievi, sono processi geologici normali in questo contesto, ma possono assumere un connotato di pericolosità per gli effetti che hanno sulla popolazione e sulle opere civili. È importante sottolineare che anche le aree marine che circondano l'Italia sono sede di processi geologici che possono presentare un potenziale rischio civile, ambientale ed ecologico.

La valutazione del rischio legato ad un evento geologico è legata a fattori quali la densità della popolazione e la natura dei manufatti in una data area; tuttavia, una buona conoscenza del contesto tettonico nel quale l'evento si origina e delle modalità con le quali gli effetti si propagano nello spazio e nel tempo sono ugualmente importanti. In quest'ottica, lo studio dell'assetto tettonico delle aree marine dove è stata riscontrata attività sismica può contribuire significativamente alla valutazione dei rischi geologici e riveste un particolare interesse per il presente progetto.

L'unità **IGM1** ha come obiettivo lo studio della neotettonica che interessa la scarpata della Sicilia orientale, una regione sismicamente attiva che non è stata adeguatamente studiata sino ad ora. L'unità **IGM2** ha come obiettivo lo studio delle relazioni esistenti fra terremoti e instabilità dei sedimenti nell'Adriatico centrale. Gli aspetti che riguardano, invece, processi di tsunami, dovuti sia a rotture di faglia sia a frane sottomarine, sono invece curati dall'unità **UNIBO**, che si occupa della modellazione numerica di tali processi.

In aggiunta, è stato organizzato un incontro informale fra l'unità **IGM1** e i partecipanti al progetto "**Progettazione di reti di monitoraggio e allarme in aree marine prospicienti zone ad elevato rischio sismico. Prima realizzazione di un nodo nella Sicilia Orientale**" (Coordinatore Laura Beranzoli) allo scopo di scambiare informazioni rilevanti sulle aree marine al largo della Sicilia orientale. In particolare, i risultati delle prime registrazioni effettuate dalla stazione sismica posta al largo di Catania potrebbero consentire una migliore localizzazione delle faglie sismicamente attive presenti a mare.

## SOTTOPROGETTI

### 1) Individuazione e caratterizzazione di strutture tettoniche a potenziale sismogenico e tsunamigenico sulla scarpata della Sicilia orientale

Responsabile: Andrea Argnani

#### Assetto Geologico

La ripida scarpata della Sicilia orientale mette a contatto, nello spazio di pochi chilometri, la stretta piattaforma marina siciliana e il profondo bacino ionico. Questo elemento morfologico, la cui origine tettonica è stata da tempo riconosciuta (Scandone et al., 1981; Casero et al., 1984), è sede di una intensa sismicità, documentata sia nei cataloghi storici sia dalle recenti registrazioni strumentali. I disastrosi terremoti che hanno colpito a più riprese Catania, Messina e le città' della Calabria meridionale sono quasi certamente da associarsi al sistema di strutture tettoniche presenti in mare (Bianca et al., 1999). Inoltre, i maggiori tsunami che hanno interessato le coste italiane, con onde alte fino a 13 metri (Dicembre 1908), hanno avuto origine in quest'area (Tinti, 1991; Piatanesi & Tinti, 1998). Un'altro aspetto di interesse nel quadro geologico regionale riguarda le relazioni che, secondo alcuni autori, possono intercorrere fra l'attività tettonica del sistema di faglie della scarpata di Malta e l'attività vulcanica dell'Etna (Hirn et al., 1997).

#### Obiettivi

Recenti acquisizioni di dati morfobatimetrici da parte dell'IGM hanno messo in luce la presenza di rotture che interessano il fondale marino e che sono imputabili a fagliazione attiva. Tuttavia, il sistema di faglie nella zona è piuttosto complesso e la geometria delle strutture è nota solo a grandi linee. Lungo la scarpata della Sicilia orientale sono stati infatti acquisiti alcuni profili sismici a riflessione con obiettivi profondi, finalizzati ad investigare aspetti quali la struttura crostale della scarpata e le sue relazioni col bacino ionico (STREAMERS, Hirn et al., 1997 e CROP Mare, Catalano et al., 2000) o la natura delle aree antistanti l'Etna (ETNASEIS, Cernobori et al., 1996).

I profili sismici pubblicati e la sismica monocanale IGM mostrano la presenza di scarpate di faglia e di bacini sedimentari collegati all'attività delle faglie. I sedimenti che riempiono questi bacini mostrano geometrie di crescita che registrano l'attività delle faglie, in termini di entità del rigetto e di età relativa. Le mappe delle faglie presenti lungo la Scarpata Ibleo-Maltese nell'offshore di Augusta e Siracusa (Hirn et al., 1997; Bianca et al., 2000) sono tuttavia basate su un grigliato di profili molto rado.

Per ovviare a queste difficoltà è stato pianificato ed effettuato un rilievo regionale di sismica multicanale, facendo uso dei dati pubblicati (Cernobori et al., 1996; Hirn et al., 1997; Bianca et al., 1999), dei profili sismici monocanale acquisiti dall'IGM negli anni '70, e della morfobatimetria di dettaglio recentemente acquisita nell'ambito del Progetto Strategico (1996).

#### Campagna MESC 2001

La campagna di acquisizione sismica multicanale è stata effettuata dal 27 Luglio al 16 Agosto a bordo della N/O Urania e ha portato all'acquisizione di circa 2500 km di

profili sismici. L'acquisizione è stata effettuata con un cavo Teledyne a 48 canali con intertraccia di 12.5 m e con un cannone G.I. Soderia in configurazione armonica (105 + 105 c.i.) come sorgente sismica. La distanza di sparo di 50 m ha portato ad una copertura del 600%. Grazie alle ottime condizioni meteomarine, che hanno limitato i disturbi ambientali, la qualità dei dati acquisiti si può considerare buona. Nonostante una riduzione del tempo-nave richiesto sono state acquisite quasi tutte le linee di progetto nelle due zone di interesse (vedi figure con le tracce dei profili). Le linee sismiche acquisite sono state elaborate secondo una sequenza standard, fino alla migrazione in tempi. Allo scopo è stato utilizzato il software Disco/Focus della Paradigm.

Nell'ambito di questa crociera di acquisizione è stata anche compresa la zona di mare antistante l'Etna, nella quale si trova la parte più distale del fianco orientale del vulcano. Questo consentirà di osservare la parte basale dell'edificio ed eventualmente di stabilire se l'elevato gradiente topografico della scarpata Ibleo-Maltese perturba lo stato di equilibrio del vulcano (McGuire, 1996). Lo studio delle geometrie delle strutture tettoniche presenti nell'incrocio fra l'allineamento della Scarpata di Malta e l'edificio vulcanico dell'Etna possono anche contribuire a chiarire le relazioni fra attività tettonica e attività vulcanica che sono state ipotizzate per la regione etnea (e.g., Hirn et al., 1997).

Inoltre, nell'ambito dell'interazione con lo studio del vulcanismo e della pericolosità a questo associata, si è ritenuto importante investigare anche quella che si può considerare come la prosecuzione della scarpata Ibleo-Maltese nell'Arco Eoliano, ovvero, l'allineamento Salina -Vulcano a direzione NNO-SSE (Barberi et al., 1974; Lanzafame and Bousquet, 1997). L'obiettivo è l'individuazione di trend strutturali regionali che possono controllare l'attività vulcanica e influenzare la stabilità degli edifici.

### **Risultati preliminari**

Il sistema di faglie che caratterizza la scarpata della Sicilia orientale è ben risolto dai profili sismici acquisiti e mostra una complessità superiore a quanto sino ad ora riconosciuto dagli studi precedenti (Cernobori et al., 1996; Hirn et al., 1997; Bianca et al., 1999; Nicolich et al., 2000).

La mappa strutturale semplificata della scarpata della Sicilia orientale e delle aree marine limitrofe illustra la posizione delle strutture neotettoniche rispetto alla Scarpata di Malta. Le strutture riconosciute si impostano sopra alle unità deformate che costituiscono l'Arco Calabro esterno. Il prisma di accrezione dell'Arco Calabro esterno sovrascorre in parte la Scarpata di Malta almeno fino alla latitudine di Siracusa. La maggior parte delle strutture riconosciute presenta direzioni NNW-SSE, comparabili con quelle della Scarpata di Malta, ad eccezione del monte sottomarino Alfeo, che presenta invece direzione NNE-SSW. Le faglie estensionali. Nell'insieme si individua una fascia deformata con le strutture ubicate più orientali che presentano caratteri di faglie estensionali riattivate successivamente in contrazione. In almeno un caso una di queste faglie estensionali riattivate passa verso sud a una ampia zona di sollevamento dove le evidenze di estensione sono mancanti. Le faglie estensionali posizionate a occidente nella fascia deformativa non presentano, invece, riattivazioni contrazionali.

In generale la Scarpata di Malta rappresenta l'elemento morfologico dominante dell'area e appare come una ripida scarpata immergente a est e parzialmente ricoperta in onlap dai sedimenti suborizzontali del bacino ionico. Nell'area al largo della Sicilia la Scarpata di Malta può essere suddivisa in due parti aventi differenti caratteristiche tettoniche (Argnani and Bonazzi, 2002; Argnani et al., 2003).

a) Il segmento posto a nord di Siracusa è caratterizzato dalla presenza di faglie estensionali a direzione NNW-SSE immergenti verso est che si collocano lungo il rilievo della Scarpata di Malta. Queste faglie terminano rapidamente verso sud, dove la deformazione si trova invece 20-30 km a est della scarpata ed è caratterizzata da ampie aree di sollevamento allungate in direzione NNW-SSE che sembrano bordate da faglie inverse. Le geometrie di crescita osservate nei sedimenti più superficiali indica l'attività recente di queste strutture.

b) Nel segmento posto a sud di Siracusa la Scarpata di Malta non sembra interessata da fagliazione recente. In quest'area si può osservare uno spesso pacchetto di riflessioni che passa dalla scarpata al bacino adiacente. Le litologie attribuibili a questo pacchetto di riflessioni sono state campionate nella scarpata meridionale del monte sottomarino Alfeo. Lo studio di questi campioni ha messo in luce la presenza di facies pelagiche di età giurassica (Rossi and Borsetti, 1977).

## Bibliografia

- Amato A., Azzara R., Basili A., Chiarabba C., Cocco M., Di Bona M. and Selvaggi G. (1995) - Main shock and after shocks of the December 13, 1990 Eastern Sicily earthquake. *Annali di Geofisica*, 38, 255-266.
- Argnani A., and Bonazzi C. (2002) - The neotectonics of the Eastern Sicily slope and its geodynamic significance. *Geophysical Research Abstracts*, EGS XXVII General Assembly, Nice, 21-26 April 2002.
- Argnani A., Bonazzi C. and the MESC 2001 Crew (2003) - Tectonics of Eastern Sicily Offshore: Preliminary Results from the MESC 2001 Marine Seismic Cruise. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, in press.
- Barberi F., Innocenti F., Ferrara G., Keller J. & Villari L. (1974) - Evolution of Eolian arc volcanism (Southern Tyrrhenian Sea). *Earth Planetary Science Letters*, 21: 269-276.
- Bianca M., Monaco C., Tortorici L. and Cernobori L. (1999) - Quaternary normal faulting in southeastern Sicily (Italy): a seismic source for the 1693 large earthquake. *Geoph. J. Intern.*, 139, 370-394.
- Casero P., Cita M.B., Croce M. & De Micheli A. (1984) - Tentativo di interpretazione evolutiva della scarpata di Malta basata su dati geologici e geofisici. *Mem. Soc. Geol. It.*, 27, 233-253.
- Catalano R., Franchino A., Merlini S. and Sulli A. (2000) - A crustal section from the Eastern Algerian basin to the Ionian ocean (Central Mediterranean). *Mem. Soc. Geol. It.*, 55, 71-85.
- Cernobori L., Hirn A., McBride J.H., Nicolich R., Petronio L., Romanelli M. & STREAMERS/PROFILES Working Groups (1996) - Crustal image of the Ionian basin and its Calabrian margins. *Tectonophysics* 264, 175-189.
- Giardini D., Palombo B. and Pino N.A. (1995) - Long-period modelling of MEDNET waveforms for the December 13, 1990 Eastern Sicily earthquake. *Annali Geofisica.*, 38, 267-282.
- Hirn A., Nicolich R., Gallart J., Laigle M., Cernobori L. & ETNASEIS Scientific Group (1997) - Roots of Etna volcano in faults of great earthquakes. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 148, 171-191.
- Lanzafame G. and Bousquet J.C. (1997) - The Maltese escarpment and its extension from Mt. Etna to the Aeolian Islands (Sicily): importance and evolution of a lithosphere discontinuity. *Acta. Vulcan.*, 9, 113-120.
- McGuire W.J. (1996) Volcano instability: a review of contemporaneous themes. In, *Volcano instability on the Earth and other Planets*, W.J. McGuire, A.P. Jones & J. Neuberg (eds), *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 110, 1-23.
- Piatanesi A. & Tinti S. (1998) - A revision of the 1693 eastern Sicily earthquake and tsunamis. *J. Geoph. Res.* 103, 2749-2758.

- Rossi S. and Borsetti A.M. (1977) - Dati preliminari di stratigrafia e di sismica del Mare Ionio settentrionale. Mem. Soc. Geol. It., 13, 251-259.
- Scandone P., Patacca E., Radoicic R., Ryan W.B.F., Cita M.B., Rawson M., Chezar H., Miller E., McKenzie J. & Rossi S. (1981) - Mesozoic and cenozoic rocks from the Malta Escarpment (central Mediterranean). AAPG Bull., 65, 1299-1319.
- Tinti S. (1991) - Assessment of tsunami hazard in the Italian seas. Natural Hazards 4, 267-283.

## 2) Deformazione dovuta a processi di fuga di fluidi dei depositi tardo-olocenici di prodelta dell'Adriatico

Responsabile: Fabio Trincardi

### Introduzione

Lo scopo del presente sottoprogetto consiste nello studio dei rischi legati a frane sottomarine in Adriatico Centrale per contribuire a definire:

- i fattori predisponenti che rendono potenzialmente instabile un accumulo di sedimenti superficiali, con particolare attenzione all'assetto stratigrafico dei depositi successivamente mobilizzati e alla morfologia delle deformazioni risultanti;
- i meccanismi di innesco che danno origine a episodi di destabilizzazione e trasporto gravitativo lento o catastrofico;
- la ricorrenza di tali eventi, attraverso lo studio di depositi gravitativi sottomarini a partire dall'ultimo massimo glaciale fino a tempi recenti e storici.

Tra i vari fattori predisponenti, è fondamentale tenere conto 1) dell'influenza dell'ultimo ciclo di variazione di livello del mare, che determina in quali settori di margine continentale si ha il massimo accumulo di sedimenti clastici in ogni intervallo di tempo e 2) dell'importanza di fluttuazioni climatiche a scala breve (1000 anni o meno) nel definire intervalli di aumentata velocità di sedimentazione e, indirettamente, potenziale instabilità.

### Sottoprogetto Frane Sottomarine

Gli obiettivi del sottoprogetto (limitato all'Adriatico Centrale a causa delle riduzioni di *budget* rispetto al progetto originario) possono essere così riassunti:

- determinare la distribuzione spaziale dei depositi di frana sottomarina, o altri tipi di deformazione dei sedimenti, avvenuti a partire dall'ultimo massimo glaciale, quando il livello del mare globale era 120 m più basso dell'attuale;
- determinare la distribuzione e l'età di faglie ed altre strutture deformative attive durante lo stesso intervallo di tempo nelle stesse aree;
- definire le aree a più alta velocità di sedimentazione durante l'ultimo massimo glaciale, la successiva risalita di livello del mare e l'attuale stazionamento alto (che ha caratterizzato gli ultimi 5.500 anni);
- studiare la morfologia di depositi affetti da possibile deformazione senza o con limitata traslazione, anche attraverso l'acquisizione di dati batimentrici multibeam ad altissima risoluzione.

Questo rapporto comprende due parti: la prima riguarda le evidenze di frane sottomarine e deformazioni di sedimenti *in situ* in relazione alla presenza, orientazione e crescita di strutture tettoniche, attraverso l'analisi di un denso grigliato

di profili sismici a riflessione; la seconda parte presenta una revisione di tutte le evidenze di deformazione di sedimenti in situ o con traslazione (frane sottomarine e altri depositi da trasporto in massa) entro gli spessi depositi del cuneo progradazionale tardo olocenico attraverso l'analisi di dati morfobatimetrici, di stratigrafia sismica e di campionatura.

#### Frane, instabilità gravitativa e deformazione tettonica durante il tardo Quaternario

Profili sismici ad altissima risoluzione permettono di riconoscere strutture superficiali e di piccole dimensioni che possono essere attribuite a deformazione tettonica durante il Quaternario superiore in Adriatico Centrale. Si è riconosciuta una successione di quattro sequenze deposizionali sovrapposte, ognuna registrante un ciclo di variazione climatica ed eustatica a scala di 100 mila anni circa. Nell'insieme, le quattro sequenze registrano gli ultimi 450 mila anni e sono principalmente costituite da depositi regressivi che registrano fasi prolungate di caduta del livello marino. Queste sequenze precedono l'ultimo massimo glaciale (Stadio Isotopico 2) e il successivo intervallo trasgressivo e di stazionamento alto tardoquaternario (che comprende ca. gli ultimi 18 ky). L'età delle superfici che delimitano le quattro sequenze regressive è definita da analisi multi-proxy di numerose carote marine, tephro-cronologia e datazioni  $^{14}\text{C}$  (per gli ultimi 35 ky). Sono inoltre state datate le principali strutture di crescita tettonica attive durante gli ultimi ca. 400 ky. Si tratta di anticlinali, sinclinali e faglie ad alto angolo di modesto rigetto.

#### Frane e instabilità gravitativa durante il tardo Olocene

Sulla piattaforma adriatica il cuneo fangoso tardo olocenico si è formato negli ultimi 5.5 ka e mostra una distribuzione di spessori parallela alla costa (fino a 35 m nel depocentro) che riflette la vicinanza dei sistemi fluviali appenninici e la dominante circolazione geostrofica del bacino. L'impregnazione di gas è diffusa fino a pochi m sotto il fondo soprattutto nella zona di topset a profondità minori di 25 m. Questo spesso cuneo di fango (depositatosi a tassi nell'ordine di 1 cm/anno) è interessato dalla presenza di geometrie interne molto complesse (ondulazioni sub-parallele alla costa e rilievi di fango) su una porzione consistente della propria estensione. Si tratta di strutture la cui origine è dibattuta anche su altri margini continentali e, secondo alcuni autori, implica una combinazione di deformazione meccanica e rapida sedimentazione con generazione di strutture da corrente a grande scala. Il nostro obiettivo è definire se, e in che misura, queste strutture possono essere attribuite a deformazione gravitativa dei sedimenti. Risolvere questo problema è particolarmente rilevante soprattutto in zone di prodelta prossime alla costa (come nel caso adriatico) perchè l'eventuale evidenza di instabilità nei sedimenti può definire aree di rischio che investono aree e infrastrutture costiere. Si tratta di un problema complesso che richiede l'uso integrato di profili sismici ad alta risoluzione, rilievi batimetrici multibeam e indagini sui sedimenti (a scopo stratigrafico e di caratterizzazione delle loro proprietà fisiche). Il nostro lavoro nell'ambito del GNDDT è complementare ad un progetto finanziato dalla Unione Europea (COSTA) ed ha contribuito con l'acquisizione di due rilievi batimetrici ad alta risoluzione (Simrad EM3000 multibeam) in due aree rappresentative (150 km<sup>2</sup> e 190 km<sup>2</sup> rispettivamente al largo di Ortona e Vieste) e caratterizzate da contrastanti spessori e stili deformativi entro il cuneo fangoso tardo olocenico (Fig. 1 e 2).

Una crescente attenzione viene dedicata allo studio di strutture simili a quelle individuate in Adriatico. Il vantaggio di quest'area sta nel fatto che queste possibili strutture deformative si trovano a profondità comprese tra 30 e 90 m e possono quindi essere studiate tramite profili sismici ad altissima risoluzione (50 cm di risoluzione verticale) e griglie batimetriche con risoluzione spaziale da 1 a 5 m. Le strutture (e in particolare i rilievi di fango) identificati in Adriatico potrebbero essere più diffusi sui margini continentali di quanto fino ad ora riconosciuto per due possibili ragioni: 1) queste strutture rappresentano una fase di transizione nella deformazione dei sedimenti prima che avvenga un completo distacco e traslazione, 2) se presenti a profondità maggiori, le stesse strutture non potrebbero essere risolte e apparirebbero come una serie di iperboli di diffrazione lateralmente giustapposte.

### 3) Studio modellistico di tsunami

Responsabile: Stefano Tinti

Le attività di ricerca del secondo anno del progetto triennale dell'Unità di Ricerca dell'Università di Bologna (**UNIBO**) si è articolata su due fasi distinte condotte in parallelo: le simulazioni numeriche di maremoti generati da terremoti e lo studio di maremoti indotti da frane.

Per quanto riguarda il primo argomento, sono stati presi in considerazione due maremoti storici: il maremoto calabro del 1905 e quello della Sicilia Orientale del 1693. L'analisi del maremoto del 1905 è stata completata. Il terremoto provocò più di 550 vittime e circa 300.000 senzatetto. Il maremoto non fu disastroso, ma grande abbastanza da produrre effetti che furono osservati sulle coste calabre e nella parte tirrenica dello Stretto di Messina. Come si verifica per molti altri terremoti con sorgente sottomarina o vicino alla costa, l'identificazione della faglia sorgente mediante i tradizionali metodi sismici presenta delle difficoltà, e pertanto era ragionevole attendersi che le simulazioni numeriche del maremoto potessero fornire uno strumento di indagine molto utile. I risultati della ricerca sono stati illustrati in un articolo (Piatanesi e Tinti, 2002). Nella nostra analisi si sono esaminate tre possibili faglie sorgente che dalla letteratura si sa che sono attive: la faglia di Vibo Valentia, di Lamezia e di Capo Vaticano. Esse determinano una esclusiva o predominante subsidenza del fondo marino e di conseguenza una iniziale depressione della superficie del mare. I risultati conseguiti fino ad ora provano che la faglia di Lamezia deve essere scartata perché potrebbe generare un maremoto troppo debole. Comunque non è possibile discriminare fra le due faglie rimanenti, in quanto entrambe sono in grado di produrre maremoti significativi e consistenti con le osservazioni. Anche se l'accordo con i dati sperimentali non è completo, si ritiene infatti che per migliorarlo sia sufficiente intervenire sui parametri di sorgente con un tuning adeguato. Un risultato rilevante degli studi sul maremoto calabro riguarda ciò che si è ricavato sulle caratteristiche di propagazione delle onde nel bacino del Basso Tirreno. Dalle simulazioni risulta che, indipendentemente dall'orientazione della faglia sorgente, una quantità considerevole dell'energia prodotta nel Golfo di Sant'Eufemia rimane imprigionata in una stretta fascia costiera e si propaga verso nord. Invece, le coste meridionali sono protette dal Capo Vaticano. Inoltre, si vede

che le isole Eolie riescono a limitare la propagazione del maremoto verso ovest ed a proteggere le coste del Palermitano. Infine, si può osservare che il maremoto non penetra in modo significativo nello Stretto di Messina, in quanto l'ingresso settentrionale dello stretto è largo solo pochi chilometri e poco profondo, il che provoca più una riflessione dell'energia verso il Tirreno che una trasmissione verso sud.

Le simulazioni dell'evento del 1693 sono in fase di completamento. Si utilizza una griglia a elementi finiti con risoluzione eterogenea e particolarmente fine nelle zone sotto costa in modo da studiare gli effetti delle onde nella fascia costiera e specialmente nella baia di Augusta, che subì notevoli danni da parte del maremoto. La faglia sorgente utilizzata per questi studi è quella proposta dal Progetto Catania del GNDT, ma presto verranno prese in considerazione le faglie identificate dall'Unità di Ricerca **IGM1** nel corso di campagne marine condotte nell'ambito del presente progetto. In realtà in questi studi preliminari l'attenzione era rivolta più agli aspetti della propagazione delle onde verso costa ed alla loro interazione con i moli che delimitano il porto di Augusta che alla generazione al largo. Gli studi compiuti mostrano che i moli foranei hanno un effetto schermo rispetto al maremoto, e ciò è in parte sorprendente: infatti da quanto si sa dalle osservazioni dei maremoti nel Pacifico i moli dei porti, che pur sono assai efficaci a smorzare le onde di vento, non sono in grado di ridurre l'impatto delle onde di tsunami. Perciò, il risultato che è stato ottenuto deve essere ulteriormente approfondito.

In accordo con il programma del progetto, la ricerca ha anche trattato il terremoto tsunamigenico di Messina del 1908. Le simulazioni del maremoto confermano i risultati di studi precedenti, cioè che la sorgente del maremoto non può essere confinata entro lo Stretto: la faglia compatibile con le osservazioni del maremoto è più lunga di quelle dedotte per inversione di dati sismici e geodetici negli anni '80.

I risultati precedenti sono stati presentati all'Assemblea Generale ESC tenuta a Genova nel settembre 2002 e in un articolo scientifico (Tinti e Armigliato, 2003).

La seconda fase della ricerca riguarda lo studio dei maremoti generati da frane e prevede lo sviluppo di un codice basato su un approccio Lagrangiano per descrivere la dinamica del corpo di frana. L'unità **UNIBO** ha fatto uso di un codice 1D sviluppato negli anni passati. Nel secondo anno è stata continuata la ricerca condotta nel primo anno: il codice 1D è stato esteso a 2D, cioè è stato modificato per trattare casi di corpi franosi avente scala trasversale non trascurabile rispetto alla longitudinale. Si è continuata l'analisi del caso emblematico della frana del Vajont (1963): la massa è stata suddivisa da una griglia 2D di blocchi, invece che da una catena 1D, blocchi che interagiscono l'un l'altro. Si è implementato un codice che risolve le equazioni del moto in un sistema di coordinate curvilinee: nelle equazioni si tiene conto dell'attrito sulla superficie di scivolamento, ma anche della resistenza opposta alla massa franante da parte dell'acqua: questo termine non può essere trascurato per il caso del Vajont, dal momento che la massa ha spostato tutta l'acqua contenuta nel bacino artificiale provocando la nota tragedia, e naturalmente è un termine molto importante anche per le frane che producono maremoti. Simulazioni con il codice 2D sono in via di completamento. I risultati relativi al caso del Vajont sono stati presentati nell'Assemblea Generale dell'EGS svoltasi a Nizza nell'aprile del 2002 (Tinti et al., 2002).

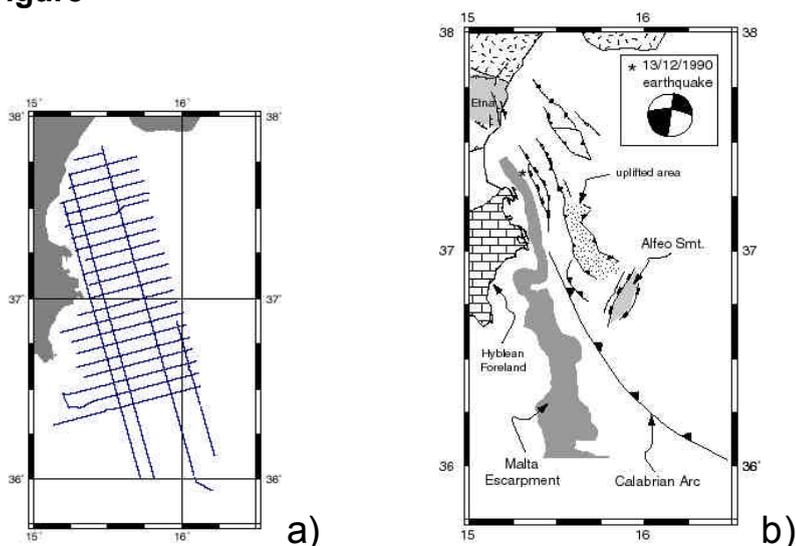
## Bibliografia

- Piatanesi A., Tinti S., 2002, Numerical modeling of the September 8, 1905 Calabrian (southern Italy) tsunamis, *Geophys. J. Int.*, 150, 271-284.
- Tinti S., Armigliato A., 2003. The use of scenarios to evaluate the tsunami impact in south Italy, (submitted to *Marine Geology*).
- Tinti S., Armigliato A., Pagnoni G., Tsunami hazard related to the occurrence of large earthquakes along the coasts of Calabria and Sicily (southern Italy), ESC XXVIII General Assembly, Genoa, 1-6 September 2002
- Tinti S., Zaniboni F., Manucci A., Bortolucci E., 2002, A 2D block model for landslide simulation: an application to the 1963 Vajont case, *Geophysical Research Abstracts*, vol. 4, EGS XXVII General Assembly, 21-26 April 2002.

## Conclusione

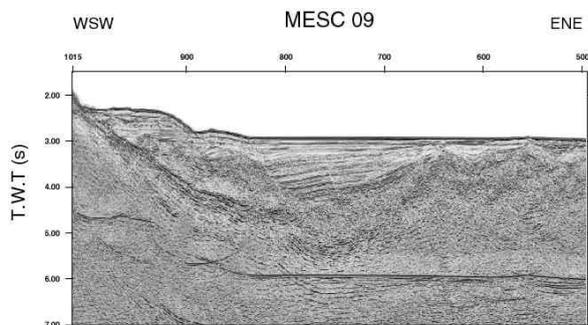
Il lavoro sino ad ora effettuato dall'Unità **IGM1** ha permesso di delineare con maggior precisione la geometria del sistema di faglie presente nella scarpata della Sicilia orientale (Argnani and Bonazzi, 2002; Argnani et al., 2003). Il quadro strutturale che si ottiene è significativamente diverso da quanto precedentemente descritto nella letteratura e consente una miglior caratterizzazione dell'attività sismica nell'area, oltre ad offrire spunte interpretativi sulla tettonica regionale. L'analisi dei dati sismici continua con l'obiettivo di preparare delle mappe degli spessori dei sedimenti plio-quadernari che riempiono i bacini sedimentari. Questo permetterà di individuare le aree depocentrali e i segmenti di faglia che mostrano una maggiore attività cumulativa. Inoltre, le geometrie di faglia ottenute sono utilizzate dall'unità **UNIBO** per implementare ulteriori modelli numerici, attualmente in corso, per il terremoto del 1693 con annesso maremoto. Le faglie precedentemente utilizzate (Piatanesi and Tinti, 1998), infatti, erano solo ipotetiche e mancavano di vincoli geologici. Gli aspetti riguardanti la deformazione e la destabilizzazione dei sedimenti tardo-olocenici dell'Adriatico centrale sono l'oggetto dello studio condotto dall'unità **IGM2**. In particolare, sono stati investigati il ruolo della fuoriuscita di fluidi sulla destabilizzazione e l'espressione morfologica dovuta a tali processi.

**Unità IGM1 - Figure**



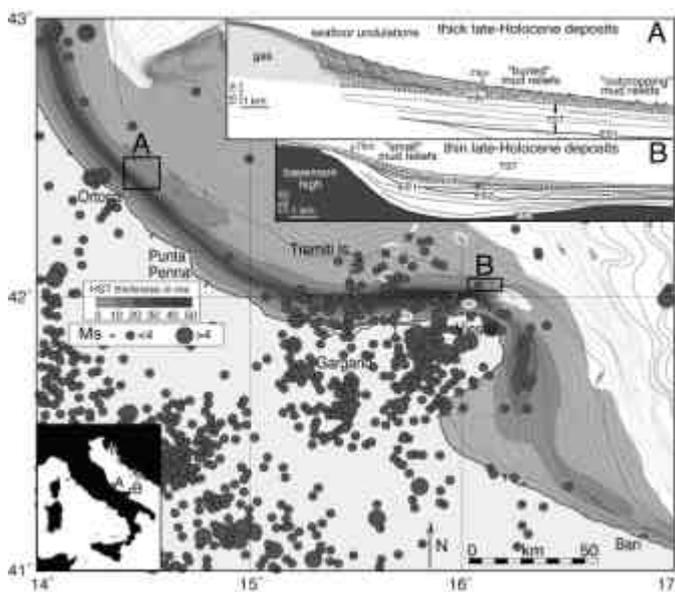
**a)** Mappa dei profili sismici acquisiti durante la campagna MESC 2001 lungo la scarpata della Sicilia orientale.

**b)** Mappa strutturale semplificata dell'area della scarpata della Sicilia orientale. Le unità affioranti dell'Arco Calabro sono indicate dal pattern a tratti sparsi, mentre l'avampaese ibleo è rappresentato dal pattern a mattoni. Le linee decorate con trattini o rettangoli rappresentano faglie estensionali, mentre quelle con i triangoli le faglie inverse e i sovrascorrimenti. Rattivazioni in contrazione di faglie estensionali sono indicate dalla compresenza di simboli estensionali e contrazionali. Un rilievo morfologico che raggiunge 3 km si realizza lungo la Scarpata di Malta. L'insero mostra il meccanismo focale del terremoto del 13 Dicembre 1990 (Giardini et al., 1995; Amato et al., 1995).

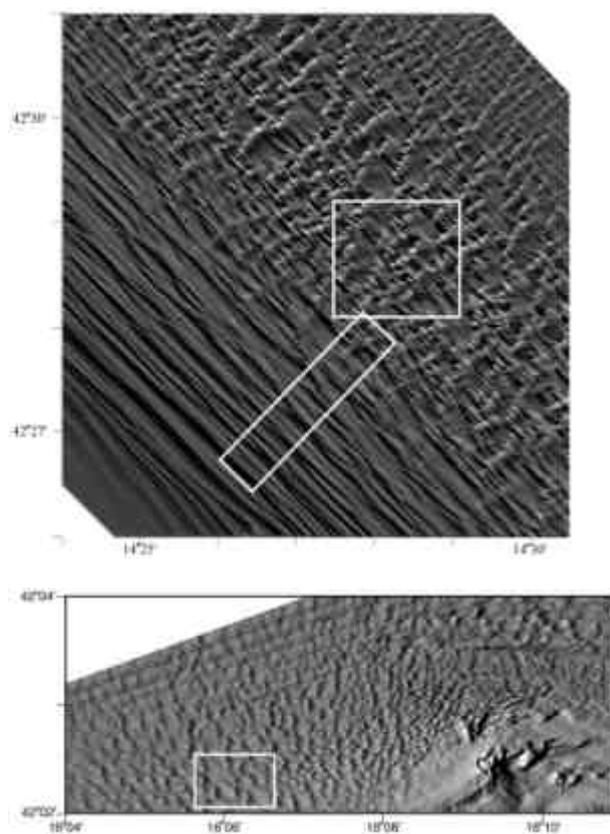


Esempio di profilo sismico migrato attraverso la scarpata della Sicilia orientale. Si notino le faglie estensionali immergenti verso est e il bacino sedimentario associato, a forma di semi-graben.

Unità IGM2 - Figure



**Figura 1.** Spessori del cuneo fangoso tardo-Olocenico ed epicentri dei terremoti storici (1000-2002 AD) <http://emidius.mi.ingv.it/>. Gli inserti A e B mostrano il differente assetto geologico nelle due aree dove i rilievi di fango sono presenti alla base del HST di Figure 2.



**Figura 2.** Batimetria Swath ottenuta dal rilievo con EM3000 al largo di Ortona (in alto, A) and Vieste (in basso, B). In entrambe le aree l'entità del rilievo diminuisce verso il largo. A): orientazione preferenziale NE-SW di cluster di rilievo al largo delle ondulazioni parallele (angolo in basso a sinistra). B): orientazione preferenziale N-S di cluster di rilievo con creste parallele che diventano via via più evidenti verso est, attorno a un alto di basamento (angolo in basso a destra) ubicato a NE del promontorio garganico.



## **Determinazione dello stile di deformazione e dello stato di sforzo dell'arco calabro**

Coordinatore: prof. Riccardo Barzaghi

### **Introduzione**

Durante l'ultimo anno, le ricerche delle quattro UR coinvolte nel progetto sono state fortemente coordinate così da definire in modo adeguato le attività volte a definire lo stile di deformazione dell'Arco Calabro. Come descritto nel progetto, questa analisi è stata condotta sia a scala regionale che a scala locale. L'obiettivo principale di questa ricerca è quello di integrare, a queste scale, modelli geofisici e geodetici per una corretta integrazione delle due discipline. Come è ben noto infatti, le osservazioni di carattere geodetico basate sul GPS possono fornire informazioni utili all'affinamento di modelli di tipo geofisico. Inoltre, si sono avuti primi contatti con altri gruppi di ricerca che partecipano a questo progetto del GNDDT (in particolare con il gruppo coordinato da Amato) al fine di condividere metodiche di ricerca e di iniziare una più stretta collaborazione su problemi scientifici di comune interesse. Le attività svolte nel corso del secondo anno sono state realizzate anche con il concorso della Regione Calabria che ha mostrato vivo interesse per questo tipo di indagini scientifiche. Grazie a questa interazione, è stato possibile pianificare l'istituzione di una nuova stazione permanente GPS, situata vicino a Crotona, che verrà realizzata e gestita dalla Regione Calabria.

### **Le attività scientifiche svolte nel corso del 2002**

Per quanto riguarda gli aspetti geodetici della ricerca, sviluppati dalla UR del Politecnico di Milano e da quella dell'Università di Trento, ci si è concentrati su problemi di tipo metodologico. In particolare, si è studiato a fondo quale sia l'impatto della variazione del centro di fase (PCV) delle antenne nelle misure di precisione. E' in corso da tempo, all'interno della comunità geodetica, un dibattito serrato su questo argomento. Ciò è di particolare rilevanza nel caso di osservazioni GPS in reti non permanenti nelle quali può accadere che vengano utilizzate antenne diverse da una campagna all'altra. Diventa quindi determinante stabilire se vi siano variazioni sensibili nella lunghezza delle baseline indotte da questi cambi di antenna. Usualmente, per la modellizzazione del PCV si utilizzano i parametri forniti dall'UNAVCO (<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL>): tali parametri sono detti "relativi" per via della tecnica che viene utilizzata nello stimarli. Recentemente, la GEO++ ha stimato, utilizzando una differente metodica, i cosiddetti parametri "assoluti" del PCV (<http://anton.geopp.de/gnpcvdb>) che sono anche dipendenti dall'azimut (contrariamente a quelli "relativi" che dipendono solo dall'elevazione dei satelliti). Per verificare la affidabilità dei due diversi tipi di parametri, si è realizzato un apposito esperimento. Una base molto corta di 4 metri è stata monumentata su una struttura in cemento armato posta sul tetto del Politecnico di Milano. Nei due punti di questa base si è realizzato un centramento forzato per il montaggio delle antenne in modo da evitare segnali spuri legati allo stazionamento. Per una base di queste dimensioni si può ritenere che l'impatto di fenomeni fisici correlati spazialmente (per

esempio quelli legati alla troposfera) sia del tutto trascurabile cosicché le variazioni nella baseline possono essere direttamente collegate al cambio di antenna. Nel corso di tutte le prove effettuate, si è mantenuta fissa una antenna (MICROCENTERED L1/L2 TRIMBLE) mentre si sono montate antenne di diverso tipo all'altro estremo della base. Gli esperimenti fino ad ora condotti sono stati effettuati con tre differenti MICROCENTERED L1/L2 TRIMBLE e con una COMPACT L1/L2 TRIMBLE. Per ogni coppia di antenne si sono fatte osservazioni per quattro giorni consecutivi: l'analisi dei dati è stata fatta con il Bernese 4.2 utilizzando sia i parametri "relativi" che quelli "assoluti". Ciò che si è potuto verificare è che i parametri di tipo "relativo" forniscono risultati peggiori di quelli "assoluti" nel caso in cui si siano utilizzati tipi differenti di antenna. Infatti, usando le tre antenne MICROCENTERED non si sono avute variazioni significative della baseline, sia con i parametri "relativi" che con quelli "assoluti". Al contrario, si sono evidenziate variazioni sensibili (fino a 5 mm nella componente Z) nel caso di utilizzo dell'antenna COMPACT con analisi dati basata sull'utilizzo dei parametri "relativi". Tuttavia, nella stessa configurazione, non si hanno variazioni apprezzabili della baseline se, in fase di elaborazione, vengono utilizzati i parametri "assoluti". Dunque, da questi primi test appare abbastanza chiaro che per misure di alta precisione si possono effettuare cambi di antenna solo se nell'elaborazione dei dati si usano i parametri "assoluti" del PCV. Naturalmente, questo è solo un test preliminare che deve essere ulteriormente confermato. A tal fine sono in programma nuove sperimentazioni del tipo fin qui descritto con antenne ZEPHYR GEODETIC TRIMBLE e con una seconda COMPACT L1/L2 TRIMBLE.

Inoltre, la UR del Politecnico di Milano ha sviluppato una ricerca volta a definire quale sia l'impatto delle correlazioni temporali tra soluzioni giornaliere di stazioni permanenti GPS nelle compensazioni di questi dati. E' noto infatti che siano presenti auto e cross correlazioni tra le componenti X, Y e Z delle soluzioni giornaliere. Ciò può essere direttamente verificato mediante la stima empirica di auto e cross correlazioni che mostrano l'esistenza di correlazioni fino a dieci-quindici giorni. Usualmente, però, queste correlazioni non vengono considerate nella stima delle soluzioni settimanali e nel calcolo dei parametri di velocità.

Ciò comporta una sovrastima delle precisioni delle soluzioni così ottenute che risultano essere troppo ottimistiche. Nel quadro del progetto GNDT, la UR del Politecnico di Milano, in cooperazione con l'Università "La Sapienza" e con l'INGV, ha definito una metodologia originale che permette di considerare tali correlazioni (R. Barzaghi et al., 2002). E' stato condotto un primo esperimento pilota utilizzando i dati di tre anni (1998, 1999, 2000) di quattro stazioni permanenti della rete ASI: Matera, Noto, Cagliari e Medicina. Le coordinate giornaliere di Medicina, Noto e Matera sono state derivate fissando le coordinate ITRF97 di Cagliari. La stima delle baseline giornaliere è stata effettuata in modo omogeneo per tutti e tre gli anni e per tutte le stazioni coinvolte utilizzando la procedura QIF del Bernese 4.2. Dopo aver rimosso un trend lineare sui tre anni si è proceduto alla stima delle auto e cross covarianze empiriche che sono state poi interpolate con opportune funzioni modello. Come primo passo, si è deciso di considerare solo le autocovarianze per semplicità di modellizzazione e trattamento dati. Ciononostante, si è potuto provare che l'impatto delle sole autocovarianze è comunque rilevante poiché gli s.q.m. delle quantità stimate sono più elevati di quelli che si ottengono trascurando le correlazioni. Come esempio, si può considerare quello della stima delle velocità ( nei termini delle

componenti Nord, Est e Up) della stazione di Matera negli anni 1998 e 2000 (l'anno 1999 è stato scartato perché nel corso di quell'anno è stato effettuato un cambio di antenna).

	Stime 1998 (senza correlazioni)	Stime 1998 (con correlazioni)	Stime 2000 (senza correlazioni)	Stime 2000 (con correlazioni)
$V_{\text{North}}$ (mm/y)	15.7±0.8	16.1±1.3	17.2±0.7	16.3±0.9
$V_{\text{East}}$ (mm/y)	18.6±0.8	15.4±1.4	19.8±0.7	18.6±1.1
$V_{\text{Up}}$ (mm/y)	3.4±3.4	3.4±1.4	0.1±3.1	2.1±1.1

Come si può notare, gli s.q.m. delle velocità stimate senza correlazioni sono molto piccoli nelle componenti piane e molto grandi nella quota. Il comportamento di queste stesse quantità è marcatamente differente nel caso in cui si considerino le correlazioni poiché gli s.q.m. sono molto più omogenei nelle tre componenti. Questa linea di ricerca sembra quindi promettente: nel prossimo futuro, si tenterà di includere nel modello stocastico usato per la compensazione anche le crosscovarianze tra le componenti in modo da considerare completamente tutte le correlazioni esistenti.

Infine, come già detto all'inizio, sarà presto monumentata una nuova stazione permanente GPS nell'area di Crotona (si veda la Fig. 1). Il sito GPS è stato definito in stretta collaborazione con le UR dell'Università di Milano e di Trieste. Questa stazione permanente GPS sarà realizzata seguendo standard qualitativi elevati, ponendo in stazione l'antenna su un pilastro di cemento armato fondato su roccia (che nell'area si trova a 1-2 m al di sotto del piano di campagna). Inoltre, si realizzerà una piccola rete di livellazione geometrica nell'intorno del punto, così come fatto per la stazione permanente di Nocera. In tal modo si potranno evidenziare instabilità locali che devono essere separate dal segnale di tipo geodinamico.



Figura 1. Il sito scelto per la stazione GPS di Crotona.

Durante il secondo anno del progetto, si sono inoltre sviluppate ricerche di carattere geofisico condotte dalla UR dell'Università di Trieste, dedicate ad una più accurata definizione del sistema litosfera-astenosfera nell'Arco Calabro (inclusi il mar Tirreno

meridionale ed il mar Jonio) ed al confronto dei risultati con i modelli geologici, geochimici e petrologici disponibili in letteratura. Le curve di dispersione delle velocità di fase e di gruppo contengono informazioni relative alla crosta ed al mantello superiore.

La tomografia delle onde di superficie è effettuata applicando l'algoritmo di Yanovskaya e Ditmar (1990). Mappe 2D dei dati di dispersione, discretizzati su una griglia di  $1^\circ \times 1^\circ$ , sono state ottenute per periodi tra 10 e 100 s. Ogni cella di  $1^\circ \times 1^\circ$  è caratterizzata da una curva caratteristica di dispersione di velocità di gruppo e di fase. L'inversione non-lineare porta, cella per cella, alla definizione di un modello strutturale medio. Un'interpretazione globale delle proprietà litosferiche ottenute è stata data tenendo in considerazione modelli geodinamici e petrologici, nonché studi geochimici relativi alle province vulcaniche del Plio-quadernario. I risultati principali sono riassunti nelle figure allegate, ove sono state prese in considerazione tre sezioni particolarmente rappresentative. Nell'area centrale del mar Tirreno meridionale sono stati riconosciuti una Moho molto superficiale e, subito sotto il lid, una zona caratterizzata da onde S a bassa velocità in corrispondenza dei grandi edifici vulcanici (Magnaghi, Marsili and Vavilov) che caratterizzano il bacino, mentre velocità elevate delle onde S sono state evidenziate nella zona che separa Marsili da Magnaghi-Vavilov. In corrispondenza delle Isole Eolie, del Vesuvio, di Ischia e dei Campi Flegrei e dell'Etna è stato identificato uno strato di "mantle wedge", che rappresenta la sorgente dei rispettivi magmi provenienti dal mantello più superficiale. Nel caso dell'Etna, questo strato è in accordo con l'ipotizzata presenza di una finestra astenosferica che alimenta il vulcano. Nell'area Calabria, risulta molto evidente il raddoppio litosferico, ed altrettanto evidente è la subduzione della litosfera Adriatica-Jonica al di sotto del Vesuvio e dei Campi Flegrei, e della litosfera Jonica verso Nord-Ovest, al di sotto del Tirreno Meridionale. All'interno della litosfera Jonica è stata rilevata la presenza di uno strato di velocità relativamente ridotta, che potrebbe essere ricondotto alla serpentizzazione delle peridotiti durante la fase estensionale del Giurassico. I risultati principali di queste indagini sono descritti nelle tre figure, poste in coda al testo, nelle quali si analizzano tre sezioni.

Infine, la UR della Università degli Studi di Milano ha focalizzato la propria attività di ricerca sulla analisi generale delle modalità di arretramento della fossa di retro-arco durante il processo di subduzione di litosfera oceanica, e alla modellistica geofisica dei tassi di deformazione responsabili della sismicità registrata in prossimità delle principali regioni di subduzione, con l'obiettivo di applicare in una fase successiva tale metodologia allo studio della deformazione litosferica in prossimità dell'arco Calabro, dove evidenze geofisiche suggeriscono che l'arco arretri per puro collasso gravitazionale della litosfera subdotta nel mantello astenosferico, allo scopo di raggiungere un confronto della deformazione ricavata da tali modelli geodinamici con la deformazione geodetica ottenuta attraverso il sistema di stazioni GPS permanenti e non monumentate nell'area dell'Arco Calabro.

Durante questa fase iniziale della ricerca sono stati utilizzati modelli bidimensionali agli elementi finiti, sviluppati in pianta verticale, per studiare sia l'arretramento dell'Arco per collasso gravitazionale sia lo stile di deformazione nel cuneo di mantello sotto la litosfera sovracorrente. La deformazione del sistema litosfera-astenosfera durante la subduzione è determinata risolvendo, in una geometria cartesiana bidimensionale di forma rettangolare, il sistema accoppiato di equazioni per il bilancio

dell'energia e del momento per un fluido incompressibile, con viscosità dipendente principalmente dalla temperatura. Il confronto fra i valori predetti dal modello per alcuni osservabili superficiali, quali il flusso di calore, la topografia e le anomalie gravimetriche in prossimità della fossa, con i corrispondenti valori osservati ha permesso la definizione di un modello termomeccanico generale per la subduzione oceanica di riferimento che potrà essere utilizzato per la applicazione all'Arco Calabro durante il secondo anno del progetto. Tale studio generale ha evidenziato, fra l'altro, il ruolo cruciale che ha l'innescò di un processo di arretramento della fossa nel controllare il successivo stile di deformazione della litosfera subdotta, sia a piccole che a grandi profondità. In particolare, un arretramento della fossa in superficie si riflette in profondità con una diminuzione della naturale verticalizzazione della litosfera subdotta, che impatta in maniera significativa la topografia, la anomalia gravimetrica e lo sforzo in superficie. L'attività di ricerca sviluppata durante questo primo anno di ricerca è risultata in una tesi di Laurea, già discussa nell'anno accademico 2001-2002 (Titolo: Modellizzazione Termomeccanica della Deformazione litosferica profonda in corrispondenza delle regioni di subduzione e implicazioni sul regime di sforzo superficiale; Tesista: Catia Rizzetto.); in una tesi in corso (Effetti della subduzione sul campo di gravità superficiale. Applicazione all'Arco Calabro; Tesista: Elisa Spelta); e in due manoscritti sottomessi per la pubblicazione su riviste internazionali:

## Conclusioni

Durante il secondo anno del progetto, si è studiata e modellizzata la struttura geofisica dell'Arco Calabro.

I modelli così stimati saranno poi verificati mediante confronto con la deformazione ottenuta con il GPS che verrà ricavata sia dalla rete di stazioni permanenti che dalle reti GPS non permanenti.

Inoltre, sarà presto operativa una nuova stazione permanente GPS sita a Crotone che, assieme alle stazioni già esistenti di Nocera e Piano Lago (CS), permetterà di definire un modello di deformazione geodetica più preciso per tutto l'Arco Calabro.

Ulteriormente, si è studiata in dettaglio la metodologia di analisi dati GPS al fine di ottenere stime affidabili delle quantità di interesse. In particolare, si è quantificato l'impatto del PCV in misure di precisione, mostrando che la ripetibilità dei risultati può essere migliorata con l'uso dei parametri "assoluti" al posto di quelli "relativi". Infine, si sono studiati modelli stocastici in grado di considerare le correlazioni esistenti nelle soluzioni giornaliere di stazioni GPS permanenti: ciò ha permesso di ottenere stime realistiche delle precisioni con le quali sono stimate le velocità delle stazioni stesse.

## Bibliografia

- R. Barzaghi, A. Borghi, M. Crespi, G. Pietrantonio, F. Riguzzi, 2002. GPS permanent network solution: the impact of temporal correlations. Hotine-Marussi Symposium on Mathematical Geodesy, Matera, 17-21 June 2002. Submitted for publication in the Proceedings of the meeting.
- Bowin, C., Warsi, W., and Milligan, J., 1981. Free-Air gravity anomaly map of the world. Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Massachusetts 02543. Published by The Geological Society of America.

- Della Vedova, B., Marson, I., Panza, G.F., and Suhadolc, P., 1991. Upper mantle properties of the Tuscan- Tyrrhenian area: a framework for its recent tectonic evolution. *Tectonophysics*, 195: 311-318.
- Doglioni, C., Innocenti, F., and Mariotti, G., 2001. Why Mt. Etna? *Terra Nova*, 13: 25-31.
- Gvirtzman, Z., and Nur, A., 1999. The formation of Mount Etna as the consequence of slab rollback. *Nature*, 401: 782-785.
- Marson, I., Panza, G.F., and Suhadolc, P., 1995. Crust and upper mantle models along the active Tyrrhenian rim. *Terra Nova*, 7: 348-357.
- Mongelli, F., Zito, G., Castaldi, G., Celati, R., Della Vedova, B., Fanelli, B., Nuti, M., Pellis, G., Squarci, P., and Taffi, L., 1991. Geothermal regime of Italy and surrounding seas. In: *Terrestrial heat flow and the lithosphere structure*. Cermak V. and Rybach L. eds, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1991.
- Yanovskaya T.B. and Ditmar P.G. (1990). Smoothness criteria in surface-wave tomography. *Geophys. J. Int.*, 102, 63-72.
- M. Marotta and C. Rizzetto, 2002. The role of rool-back on the style of subduction. Submitted to *Tectonics*.
- A. M. Marotta and R. Sabadini, 2002. Strain Rate in Europe and the signature of tectonics and Glacial Isostatic Adjustment. Submitted to *Earth and Planetary Science Letters*.

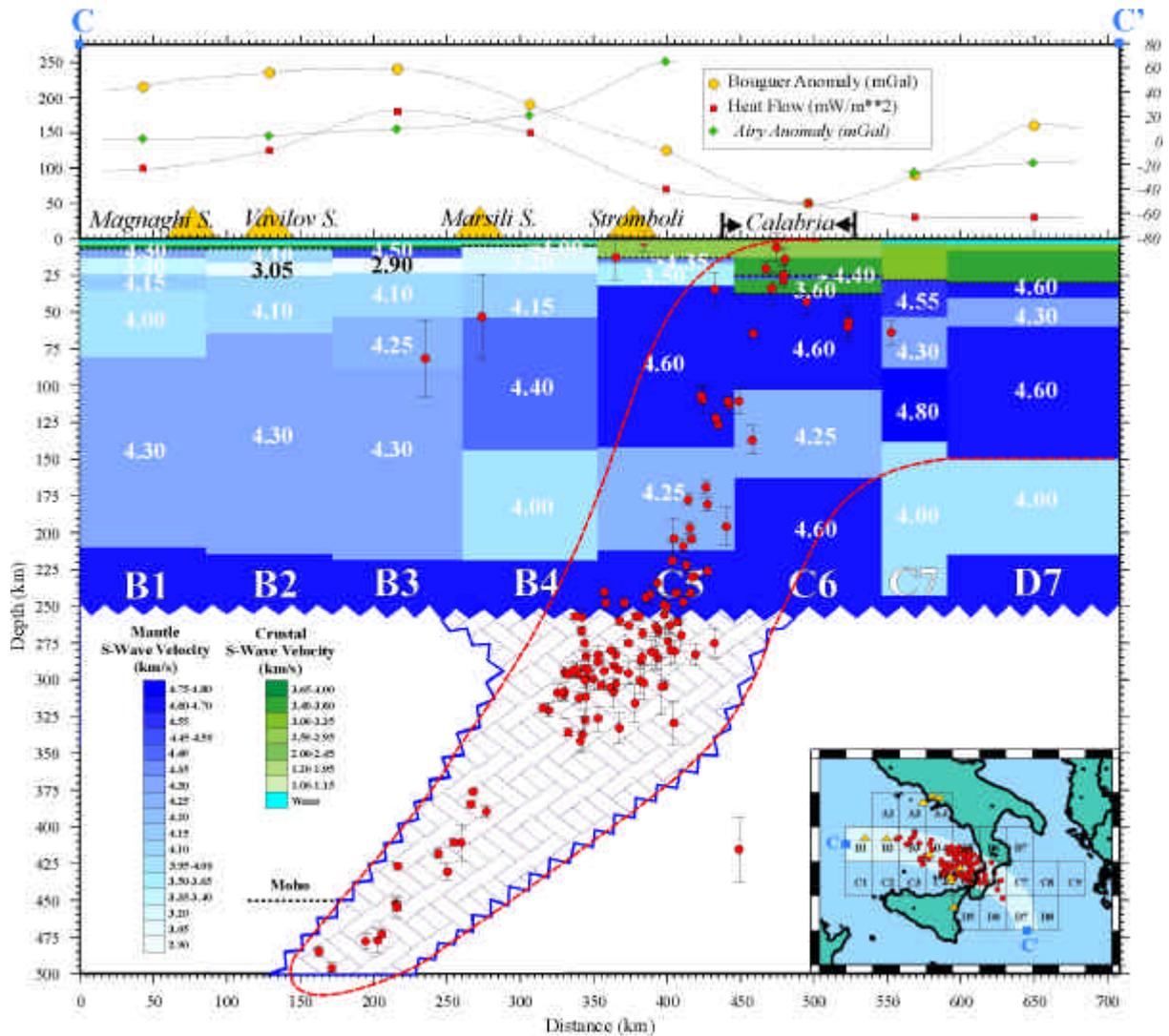


Figura 2 Sezione verticale lungo GC', estesa fino a 500 km di profondità. La sismicità superficiale, intermedia e profonda definita nel catalogo ISC, con le relative barre d'errore, è stata sovrapposta alla sezione. Gli eventi appartengono ad una banda larga circa 100 km centrata lungo il profilo GC', indicata in azzurro chiaro nella pianta. La linea rossa tratteggiata evidenzia lo slab. I valori medi del flusso di calore (Della Vedova et al., 1991; Mongelli et al., 1991), dell'anomalia di Bouguer (Marson et al., 1995) e dell'anomalia di Airy (Bowin et al., 1981) sono mostrati nella parte superiore della figura (la scala in corsivo, sulla destra, è per l'anomalia di Airy). Da Est ad Ovest i triangoli identificano la posizione degli edifici vulcanici di Magnaghi-Vavilov, Marsili e Stromboli. Nella pianta, sono anche evidenziate le posizioni dei vulcani attivi nell'area tirrenica.

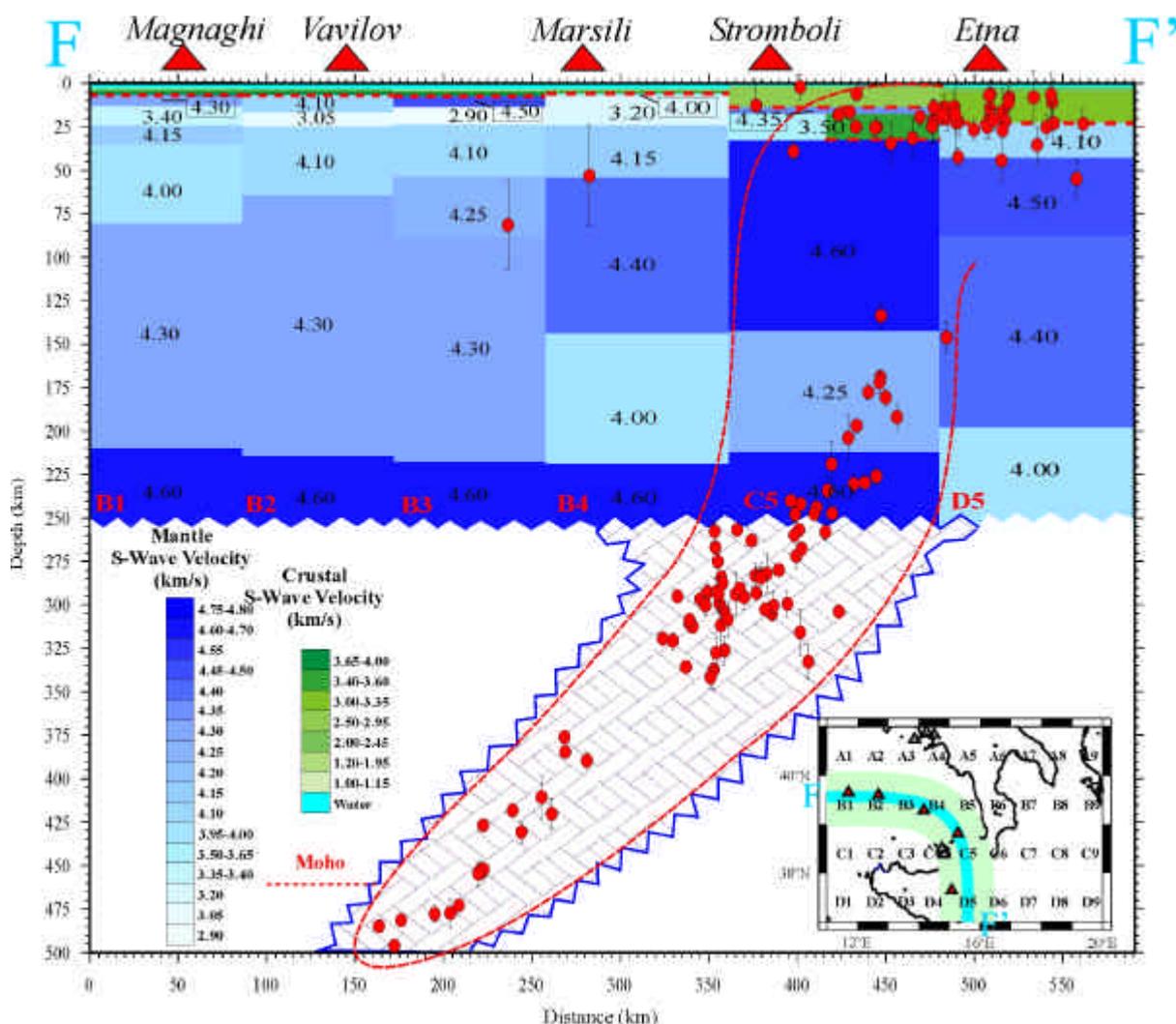


Figura 3 Sezione verticale lungo F-F', estesa fino a 500 km di profondità. La sismicità superficiale, intermedia e profonda definita nel catalogo ISC, con le relative barre d'errore, è stata sovrapposta alla sezione. Gli eventi appartengono ad una banda larga circa 100 km centrata lungo il profilo FF', indicata in azzurro chiaro nella pianta. La linea rossa tratteggiata evidenzia lo slab. Parte dello strato "Janus" nella cella C5 è assegnata alla crosta e parte al mantello in base alla distribuzione della sismicità. Da Est ad Ovest i triangoli identificano la posizione degli edifici vulcanici di Magnaghi-Vavilov, Marsili e Stromboli ed Etna. Nella pianta, sono anche evidenziate le posizioni dei vulcani attivi nell'area tirrenica (in rosso quelli attraversati dalla sezione F-F'). Il quadro riproduce bene le caratteristiche principali dello schema proposto da Doglioni et al. (2001).

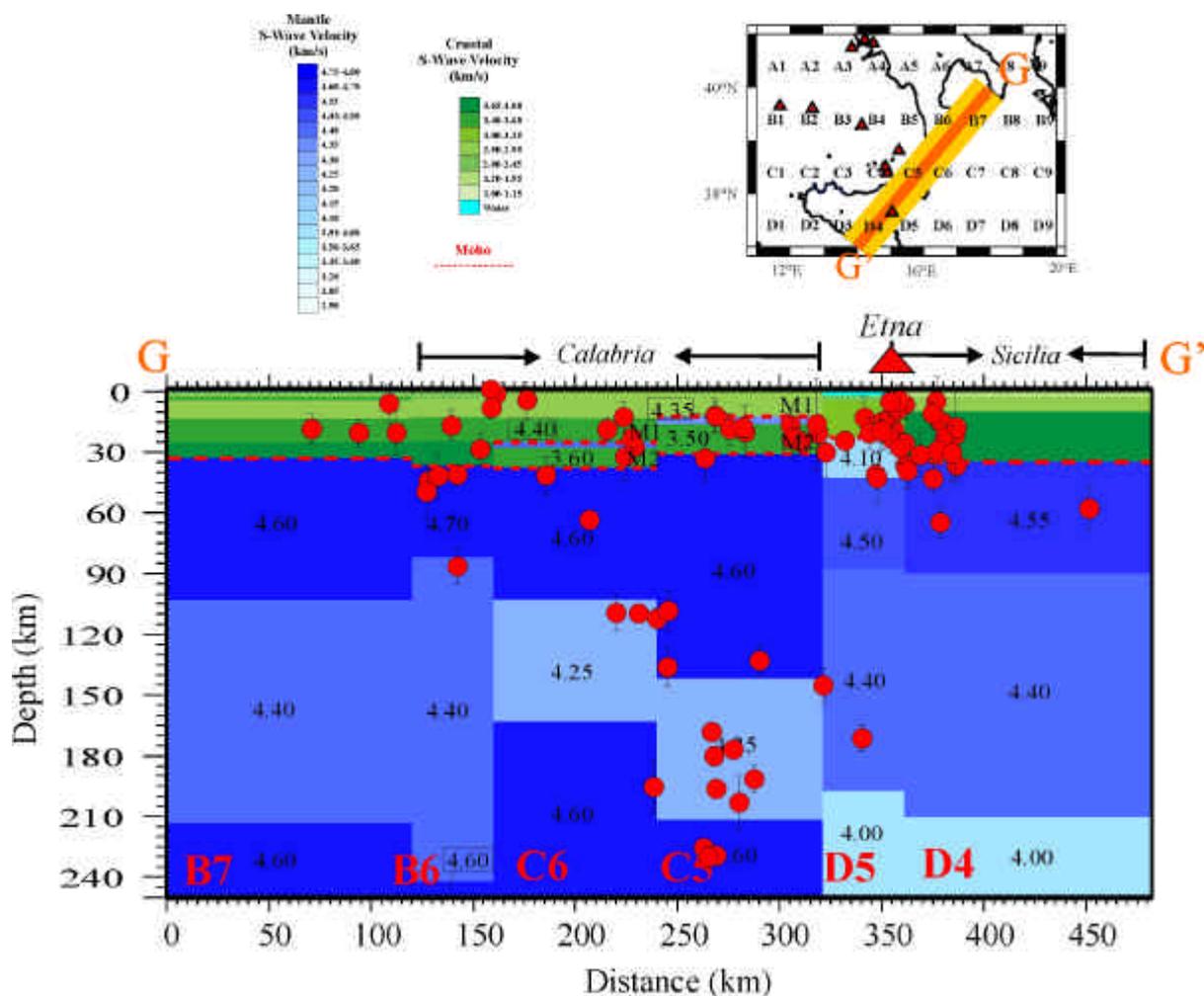


Figura 4 Sezione lungo GG'. La sismicità superficiale, intermedia e profonda definita nel catalogo ISC, con le relative barre d'errore, è stata sovrapposta alla sezione. Gli eventi appartengono ad una banda larga circa 100 km centrata lungo il profilo GG'. Il triangolo indica la posizione dell'Etna. Nella pianta, sono anche evidenziate le posizioni dei vulcani attivi nell'area tirrenica. Il quadro riproduce bene la finestra astenosferica nella cella D5 in corrispondenza del vulcano Etna, in accordo con quanto proposto da Gvirtzman and Nur (1999), ma esclude il possibile flusso di mantello ad Est della Calabria.



## **SAVE - Strumenti Aggiornati per la Vulnerabilità sismica del patrimonio Edilizio e dei sistemi urbani**

Coordinatori: Prof. Mauro Dolce e Prof. Giulio Zuccaro

### **Introduzione**

Gli obiettivi fondamentali del progetto, come previsto nella proposta approvata, sono:

- Realizzazione di mappe aggiornate di vulnerabilità e rischio sismico del patrimonio edilizio abitativo, del patrimonio degli edifici pubblici censiti nell'ambito dei Lavori Socialmente Utili nell'Italia Meridionale e di altre iniziative, del patrimonio monumentale di alcune porzioni territoriali di particolare pregio ambientale e monumentale (parchi), di mappe di vulnerabilità di piccoli sistemi urbani.
- Completamento e razionalizzazione delle più importanti basi di dati esistenti, particolarmente di quelle relative ai LSU.
- Confronto sulle basi dati di cui sopra e miglioramento delle metodologie di valutazione della vulnerabilità per le diverse tipologie costruttive (edilizia ordinaria, monumentale e storica, chiese), ai fini di una loro integrazione e armonizzazione.
- Sviluppo di modelli per la valutazione delle perdite indirette e delle conseguenze socio-economiche dei terremoti;

Il Progetto SAVE è stato nominalmente attivato nel settembre 2002. La presente rendicontazione, pertanto, è relativa a circa sette mesi di attività. Inoltre lo svolgimento del progetto è, in buona parte, connesso alla piena disponibilità dei dati LSU e dei fondi di ricerca. Entrambi tali presupposti sono venuti a mancare per motivi diversi e indipendenti dalla volontà dei coordinatori. I dati originali LSU in forma cartacea, di cui solo una parte è informatizzata, non sono stati ancora disponibili, in parte per motivi collegati alle problematiche sorte a seguito del crollo della scuola di S. Giuliano, in parte per un trasferimento di competenze nell'ambito del Dipartimento della Protezione Civile. Il problema è solo recentemente in corso di risoluzione, ciò permettendo l'avvio di quelle attività di completamento e razionalizzazione delle basi di dati relative ai LSU. I fondi della ricerca sono stati accreditati al responsabile del progetto solamente alla fine del 2003, e il trasferimento dei fondi alle unità di ricerca è avvenuto in tempi molto recenti, per la concomitanza con il periodo di chiusura del bilancio. Non è stato pertanto possibile dare inizio ad attività onerose.

Nel contempo si è verificato il Terremoto del 31.10 – 01-11.2002 che ha colpito Molise e Puglia. Questo terremoto rappresenta un ottimo test per alcune metodologie di rilievo e valutazione della vulnerabilità, il cui miglioramento rappresenta uno degli obiettivi principali del progetto, e per un ampliamento del database esistente di vulnerabilità e danno degli edifici.

Per i motivi sopra esposti, si è cominciato ad operare in maniera difforme dall'ordine temporale previsto, inserendo organicamente nel progetto una serie di attività di messa a punto di strumenti di vulnerabilità, rilievo e analisi dei dati relativi al terremoto del Molise, utilizzando i dati già disponibili per svolgere le elaborazioni sul DB dei LSU, iniziando la raccolta dati per lo svolgimento delle attività successive.

## **Task 1. Inventario e Vulnerabilità del Patrimonio Edilizio Residenziale del territorio nazionale, mappe di rischio e perdite socio-economiche**

*Responsabile scientifico:* Giulio Zuccaro

Come accennato in premessa, il terremoto del Molise ha suggerito di alterare il programma di lavoro previsto, per trarre vantaggio da una pronta ed attenta analisi degli effetti prodotti dal sisma e dall'immediata sperimentazione sul campo di alcuni nuovi strumenti di valutazione della vulnerabilità in fase di studio.

Nel novembre 2002 un gruppo di lavoro coordinato dai Proff. Dolce e Masi dell'Università di Basilicata e dal Prof. Zuccaro dell'Università di Napoli ha svolto un rilievo sistematico delle caratteristiche tipologiche e del danno degli edifici di San Giuliano. Il rilievo, finanziato dal GNDT, aveva la finalità principale di individuare le cause della anomala concentrazione dei danni verificatisi a San Giuliano. I dati sono stati raccolti mediante la scheda AeDES, opportunamente integrata, e la scheda Medea.

Metodologia: La raccolta dati è stata condotta a tappeto su tutti gli edifici di San Giuliano, con l'obiettivo di poter disporre di un set completo di dati, omogenei ed affidabili attraverso cui poter stimare parametri di valutazione della vulnerabilità e/o agibilità operate con metodi differenti.

Primi risultati: L'esame preliminare dei dati tipologici e di danno ha mostrato che l'abitato di San Giuliano poteva essere suddiviso in 5 zone omogenee. Nell'ambito di tali zone, oltre che per l'intero patrimonio edilizio, sono state individuate le distribuzioni delle tipologie strutturali verticali ed orizzontali. Gli edifici hanno prevalentemente struttura verticale in muratura (oltre il 70%), spesso di scarsa qualità, e con solai in legno o acciaio (oltre il 50%). Sulla base delle caratteristiche della struttura verticale ed orizzontale è stata stimata la vulnerabilità sismica su base tipologica e sono stati preparati scenari di danno per le intensità  $I_{EMS} = VI, VII$  e VIII. Il danno è stato classificato secondo le indicazioni della European Macroseismic Scale del 1998. Nelle 5 zone sono state poi individuate le distribuzioni del danno rilevato e confrontate con quelle del danno stimato. I dati rilevati mostrano la presenza di elevati livelli di vulnerabilità sismica e di danneggiamento nell'intero centro abitato, ma con forti differenze tra le diverse zone. Le prime analisi, basate anche sul confronto tra danni stimati e rilevati, indicano che il danno osservato nel centro storico va attribuito essenzialmente alla vulnerabilità degli edifici. Al contrario, nella zona che si sviluppa lungo il Corso Vittorio Emanuele, il forte danneggiamento verificatosi, ben superiore a quello osservato nel centro storico, non può essere attribuito alla sola vulnerabilità ma anche agli effetti di amplificazione locale che potrebbero aver avuto un ruolo significativo. Analisi approfondite sono in corso per individuare il ruolo dei diversi fattori.

In merito alle correlazioni tra Danno, Tipologie e Meccanismi di Collasso, dalle prime analisi si sono confermate le correlazioni individuate dalla scheda MEDEA. Inoltre i meccanismi a più alta vulnerabilità sono risultati quelli da ribaltamento fuori del piano, che hanno mostrato alte frequenze nelle tipologie di classe più debole "A". Tuttavia anche per classi di minor vulnerabilità tipo "B" e "C" il meccanismo da ribaltamento è risultato il più pericoloso, mentre i meccanismi più frequenti in assoluto, ma con distribuzioni del danno più modeste, sono risultati quelli di collasso a taglio nel piano, segnale di una qualità modesta delle murature (v. diagramma). E' stato altresì prodotto un GIS per San Giuliano, per i tematismi che ne deriveranno anche ai fini di

studi microzonal. L'UR del GNDT-AQ ha svolto con simili modalità ed obiettivi una specifica indagine nel comune di Casalnuovo Monterotaro (FG), soggetto ad una scossa di 7° MCS. Questo comune è stato seguito nella fase di emergenza in maniera particolare dalla suddetta UR, curando anche la sistemazione dei dati di base proveniente dal censimento di agibilità sismica (Scheda AEDES), attraverso la formazione di un data base e la sua georeferenziazione. L'analisi effettuata su questa base di dati, anche attraverso le rappresentazioni GIS, ha fornito interessanti spunti, sia per quel che riguarda la procedura di valutazione di agibilità e danno, sia per le correlazioni tra vulnerabilità e danneggiamento. I diagrammi riportati in appendice mostrano i risultati di prime elaborazioni ottenute dai dati disponibili.

Il lavoro di completamento dell'informatizzazione dei dati di inventario raccolti nei progetti LSU/96 e LSUBis, relativi all'Italia centromeridionale, da svolgere essenzialmente sulla base dei documenti conservati presso il Dipartimento della Protezione Civile, nonché l'attività di verifica ed omogeneizzazione con le altre banche dati già disponibili in Italia, a causa delle difficoltà anzidette, è stato solo recentemente avviato, e non sono ancora disponibili riscontri di fattibilità. Tuttavia sono in corso le attività di integrazione dei dati già disponibili, ovvero della Banca Dati delle tipologie strutturali di 78 Comuni d'Italia sviluppata dal Centro di Ricerca LUPT dell'Università di Napoli in occasione di due precedenti progetti finanziati dal SSN (35 Comuni) e dal GNDT-CNR (43 Comuni) con i dati relativi:

- a 18 Comuni in area vesuviana raccolti dal LUPT in occasione di un precedente progetto finanziato dal GNDT-OV-INGV.
- a 3 comuni della caldera dei Campi Flegrei, la cui raccolta e sistematizzazione sono in corso di completamento per un altro progetto finanziato dal GNV-INGV
- a 20 Comuni dell'area Potentina e di 3 dell'area del Pollino messi a disposizione dal DiSGG dell'Università della Basilicata.
- 18 Comuni del Matese, ad opera del GNDT-AQ.
- alla città di Catania, raccolti in occasione dell'omonimo progetto del GNDT-CNR.

Sono infine in corso di reperimento e verifica di compatibilità altri dati di siti italiani.

Si sono individuati criteri di selezione e rappresentatività dei centri abitati da includere nella banca dati e sono in corso contatti con l'ISTAT in merito alla disponibilità dei dati del censimento 2001 per valutarne l'impiego nella seconda fase del progetto. Infine si stanno effettuando indagini presso gli Uffici Comunali competenti, attraverso la compilazione ex novo del protocollo guidato di intervista, per migliorare la banca dati di caratterizzazione tipologico strutturale a scala nazionale.

Per quanto riguarda le attività previste nel progetto relative alla vulnerabilità degli edifici ordinari in muratura e in c.a. e al miglioramento degli strumenti di analisi della vulnerabilità e del danno, il contributo del primo anno, oltre a quanto svolto in occasione del terremoto del Molise, ha riguardato la rassegna delle metodologie di valutazione della vulnerabilità con particolare riferimento all'esperienza italiana. Le ricerche condotte nella seconda metà degli anni '90 hanno chiarito il quadro concettuale di riferimento, fornito una nuova procedura di primo livello per la misura dei fattori di vulnerabilità e del danno sismico agli edifici ordinari (Scheda AeDES),

fornito valutazioni di vulnerabilità media comunale a partire da dati ISTAT, ritarato Matrici di Probabilità di Danno per classi di vulnerabilità ed intensità MCS.

E' stato ipotizzato nell'ambito della presente ricerca un possibile più diretto riferimento per quanto riguarda sia le classi di vulnerabilità sia l'intensità alla Scala Macrosismica Europea EMS98. A tale scopo è stata prodotta una prima ipotesi di classificazione compatibile con EMS98 basata sui dati di AeDES, modificando una precedente proposta discussa nell'ambito di un Gruppo di lavoro del SSN.

Per quanto riguarda le valutazioni delle perdite umane, dei danni e delle perdite indirette, si è dato inizio a diverse attività di seguito sintetizzate.

Sono in corso le prime valutazioni dell'impatto connesso alle perdite economiche dirette ed indirette ed alle perdite sociali (persone coinvolte) per l'evento di S.Giuliano. Sono, altresì, in corso stime attraverso correlazioni danno - costi di riparazione e miglioramento, tarate per differenti livelli di danno strutturale e non strutturale.

Si stanno individuando modelli di valutazione delle perdite indirette derivanti da interruzione di attività (industria, commercio, turismo, etc.), attraverso indicatori della banca dati del "Sistema Starter", che raccoglie più di 1000 indicatori territoriali a livello provinciale, di cui 600 con il dettaglio comunale, che alimenta il modello statistico. Tale modello, basato su tecniche di analisi multivariata, verrà calibrato su di un'area pilota, recentemente interessata da un evento sismico, di cui saranno valutate le condizioni pre e post evento (struttura urbanistica dell'area, qualità degli immobili, livelli di produzione nei tre settori economici, etc.); quindi sarà testato su altre aree pilota al fine di stabilizzare le stime dei parametri di regressione e quindi di valutare su scala nazionale i costi annui indiretti derivanti da distruzione e/o interruzione di attività.

Si stanno individuando funzioni di correlazione danno – tipologia – perdite umane e si stanno raccogliendo dati relativi a precedenti eventi sismici in Italia e nel mondo.

## **Task 2. Vulnerabilità degli edifici pubblici e strategici dell'Italia centro-meridionale e meridionale**

*Responsabile scientifico: Mauro Dolce*

Le attività previste per il primo anno del progetto sono: a) analisi ed estensione della base di dati esistente con finalità statistiche e di razionalizzazione; b) caratterizzazione delle tipologie strutturali prevalenti nelle scuole e negli ospedali; c) Raccolta di ulteriori informazioni sugli edifici destinati all'Istruzione e all'uso Civile per classi tipologiche; d) inizio dell'attività di valutazione «analitica» della vulnerabilità delle scuole e degli ospedali attraverso la raccolta ed un primo esame degli elaborati progettuali. Tutte queste attività sono state iniziate e portate ad un buon livello di avanzamento, ad eccezione dell'attività a), per i motivi esposti nell'introduzione, e limitando la raccolta e le valutazioni relative ai punti b) e d) ai soli edifici destinati all'Istruzione, per i motivi specificati nel seguito. È stata, inoltre, anticipato l'inizio delle attività per l'affinamento delle metodiche di rilevamento e valutazione di vulnerabilità, di pertinenza del secondo anno del progetto.

Il censimento di vulnerabilità degli edifici pubblici, strategici e speciali ha interessato le regioni Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia (provincia di Foggia) e la Sicilia Orientale. I dati sono stati raccolti mediante le schede di

vulnerabilità di 1 e 2° livello del GNDD e informatizzati in una banca dati che comprende oltre 42.000 edifici. Le destinazioni d'uso sono state classificate in Istruzione (49,6%), Civile (26,8%), Sanità (9,7), Militare (4,7), Mobilità e trasporti (3,8), Tecnologico a rete (2,6), Religioso (1,8, non include le chiese). Il 37,9% degli edifici sono in muratura, il 59,4% in c.a., l'1,9% in acciaio. Gli edifici in muratura sono stati rilevati mediante la scheda di 2° livello, mentre gli altri sono stati rilevati prevalentemente con quella di 1° livello. Per le finalità del progetto di ricerca è stato svolto un controllo sul data base, che ha evidenziato la presenza di dati incompleti o non corretti relativi a circa l'1,5% di edifici, da verificare e, eventualmente, correggere attraverso un riscontro sulle schede originali.

Relativamente agli altri obiettivi finalizzati all'approfondimento delle caratteristiche tipologiche e di vulnerabilità, è stato programmato un lavoro di analisi specifica dei dati, complessivamente e disaggregati territorialmente per regioni e province. Si è iniziato dagli edifici per l'Istruzione, complessivamente 20.890, di cui 7.379 (35,3%) in muratura, 13.041 (62,3%) in c.a. 384 in acciaio (1,9%), privilegiando gli edifici in muratura, sia per la loro più elevata vulnerabilità, sia per la maggiore quantità di informazioni disponibili (scheda di 2° livello). Circa l'80% degli edifici per l'istruzione in muratura ha meno di 4 piani (23% un piano, 29% due, 28% tre). Oltre il 50% ha un volume inferiore a 2500 mc e circa il 10% supera i 10.000 mc. Il 90% circa risulta costruito prima del 1970 e il 28,5% risale a prima del 1945. La scheda di primo livello contiene la descrizione delle tipologie costruttive delle strutture verticali, dei solai, delle scale e delle coperture. Attraverso l'elaborazione di queste informazioni, è stata svolta una prima caratterizzazione tipologica, che evidenzia la presenza di alcune tipologie prevalenti di strutture verticali, differenziate territorialmente (v. mappa e diagramma). Le murature di tipo G (Blocchi di tufo o pietra squadrata – 37,9%), L (Mattoni 24,8%) e C (Pietra sbozzata – 12,7%) sono quelle più frequenti sull'insieme degli edifici. Nelle singole regioni si osservano differenze quantitative e la presenza significativa di tipologie particolari, legate alla storia e alle tradizioni costruttive locali.

Le informazioni sulle caratteristiche tipologiche sono state utilizzate anche per raggruppare gli edifici in classi di vulnerabilità secondo due diverse modalità, ed in particolare secondo la definizione delle classi di vulnerabilità della scala EMS. Anche questo tipo di lettura della qualità strutturale evidenzia importanti differenze regionali.

La scheda di secondo livello permette di valutare un indice di vulnerabilità  $I_v$  degli edifici in muratura, in una scala da 0 a 100, attraverso la sommatoria di 11 punteggi associati a 11 parametri che influenzano il comportamento sismico. Sono state calcolate le distribuzioni dei valori dell'indice in ambiti territoriali a diversa scala. Il campione esaminato ha, nel complesso, una vulnerabilità media pari a 21,5, con una coda verso i valori superiori e valori massimi fino a 80. Gli edifici con  $I_v > 50$  sono 229 (3% circa). Sono state inoltre analizzate alcune significative correlazioni tra  $I_v$  e le classi di vulnerabilità EMS, come illustrati nei grafici allegati. Prossimamente verranno effettuate ulteriori elaborazioni, volte a migliorare la valutazione dell'indice di vulnerabilità, sia riesaminando il modello additivo sinora utilizzato, sia integrando le informazioni della scheda di 2° livello con quelle della scheda di 1° livello, ad esempio per considerare la presenza di interventi di adeguamento.

Contemporaneamente si è proceduto all'acquisizione di informazioni e documentazione su un campione ristretto di edifici destinati all'Istruzione. Tale attività è stata agevolata dalla maggiore attenzione degli enti locali verso il problema delle

scuole, determinata dal crollo della scuola di S.Giuliano. Grazie ad una convenzione con la Provincia di Potenza, l'UR UNIBAS ha potuto reperire le informazioni di dettaglio riguardanti circa 130 edifici scolastici appartenenti alla provincia di PZ (scuole medie superiori) ed ai relativi comuni (materne, elementari e medie inferiori). Su tutti questi edifici sono stati effettuati, o sono in corso di effettuazione, sopralluoghi, saggi e rilievi geometrici, e sono stati raccolti, qualora reperibili, i documenti progettuali, esecutivi e di collaudo, informazioni su interventi e trasformazioni subiti nel tempo, eventuali danni prodotti da terremoti recenti. È stata inoltre applicata una procedura di valutazione della resistenza sismica, che permette di determinare la PGA che determina le condizioni di collasso. Su parte di essi verranno effettuate in futuro una serie di indagini sui materiali (carotaggi, prove sclerometriche e ultrasoniche sui calcestruzzi, saggi approfonditi sulle murature) volti a determinare le loro effettive caratteristiche meccaniche e a migliorare ulteriormente le valutazioni di vulnerabilità. Il campione delle scuole medie superiori è costituito per metà da edifici progettati senza criteri antisismici (v. diagrammi). Circa l'80% degli edifici sono in c.a., poco più del 10% in muratura, mentre è sporadica la presenza di edifici in acciaio. Circa l'80% degli edifici ha volume superiore ai 2000 m<sup>3</sup> e più del 40% supera i 5000 m<sup>3</sup>. Prevalgono gli edifici costruiti prima del '70 o dopo l'80, che complessivamente superano l'80%. Abbastanza diverse sono le caratteristiche del campione di edifici scolastici, relativo alle scuole materne, elementari e medie inferiori. Gli edifici sono più piccoli, con una larga percentuale di edifici in muratura (35%) ed una minore percentuale di edifici costruiti dopo l'80 (circa il 15%). In generale, si può dire che il campione disponibile è ben distribuito in tutte le caratteristiche che possono influire sulla vulnerabilità, e costituisce un'ottima base dati per l'approfondimento delle analisi di vulnerabilità. Peraltro è ancora in corso il reperimento della documentazione di altri edifici di diverse regioni (Molise, Abruzzo, Toscana, Campania, etc.) che permetteranno di estrapolare ad un campione più ampio i risultati delle analisi di dettaglio. L'ampia disponibilità di edifici a destinazione scolastica, e dunque la possibilità di approfondire le relative valutazioni di vulnerabilità, rende opportuna e necessaria una rimodulazione del programma, anche in relazione alla riduzione del 30% dei fondi destinati al progetto SAVE, rimodulazione nella quale le attività di studio su edifici destinati alla Sanità vengono limitate alle sole analisi tipologiche sul database LSU. Su una buona parte degli edifici delle scuole medie superiori sono state applicate e sono in corso di applicazione due procedure di valutazione quantitativa della vulnerabilità valide, rispettivamente, per gli edifici in c.a. e per quelli in muratura. Le due procedure, messe a punto per sfruttare al massimo le informazioni disponibili, comunque parziali e talvolta imprecise, partono dall'osservazione delle caratteristiche tipologiche prevalenti, che permettono di predefinire meccanismi di collasso di piano, sia per entrambe le tipologie strutturali. Per quanto riguarda gli edifici in muratura, le tipologie prevalenti, con solai quasi sempre in c.a., fanno escludere la possibilità di collassi fuori del piano, riconducendo l'analisi alla valutazione della resistenza nel piano delle pareti murarie. Per quanto riguarda gli edifici in c.a., si tiene in conto il contributo positivo delle tamponature murarie, qualora efficaci. Le procedure, implementate in un foglio elettronico, sono in corso di perfezionamento, attraverso l'applicazione ai casi concreti in esame. Un importante possibilità di verifica sia delle potenzialità della scheda AEDES, per l'agibilità e il danno, sia delle valutazioni di

vulnerabilità presenti nel database LSU può scaturire dall'analisi dei dati di danno raccolti su edifici scolastici in Molise, a seguito del terremoto. Su queste schede sono riportate sia informazioni tipologiche che dati di danneggiamento, che rendono possibile la determinazione delle correlazioni danno-tipologia. Si prevede di iniziare al più presto tale attività.

### **Task 3. Inventario e vulnerabilità del patrimonio monumentale dei parchi dell'Italia centro-meridionale e meridionale**

*Responsabile scientifico:* Sergio Lagomarsino

Nel primo anno è stata svolta l'attività prevista dal progetto, incentrata in particolare su due differenti obiettivi: 1) la revisione critica delle metodologie applicabili a scala territoriale sull'edilizia monumentale, attraverso uno stato dell'arte dei modelli di vulnerabilità disponibili in letteratura; 2) l'acquisizione dei dati di vulnerabilità censiti nell'ambito del progetto LSU-Parchi. La revisione critica delle metodologie disponibili per un'analisi di vulnerabilità sul costruito monumentale ha tenuto presente alcune prerogative: l'esigenza di censire e analizzare una numerosa popolazione di manufatti, su una scala territoriale ampia; il valore storico-architettonico, che impone un approccio di maggiore dettaglio rispetto a quello normalmente in uso nell'analisi di vulnerabilità del costruito ordinario; la necessità di una validazione dei modelli tramite danni sismici effettivamente rilevati. E' per questa ragione che, a prescindere dal livello di dettaglio dell'analisi, i dati che devono essere raccolti attraverso la schedatura devono essere correlati agli aspetti costruttivi, tipologici e materici che l'osservazione dei danni prodotti dai terremoti ha evidenziato come determinanti nel giudizio sulla vulnerabilità. La revisione metodologica ha portato ad articolare l'analisi di vulnerabilità secondo 3 livelli, con modelli di vulnerabilità diversi, che rappresentano, però, una sorta di approfondimento progressivo, basato sul maggiore dettaglio dei dati disponibili. Il primo livello di analisi è quello che si basa su dati poveri; in questo caso l'approccio deve essere necessariamente tipologico, ovvero la vulnerabilità è principalmente determinata dall'appartenenza del monumento ad una data tipologia (palazzo, chiesa, torre, castello, ecc.). Il modello individuato come più efficace e versatile è quello sviluppato nell'ambito del Progetto TRAIANO (che fa parte di questo Programma Quadro del GNDT); esso si basa sull'attribuzione di un indice di vulnerabilità al singolo manufatto, definito in funzione della tipologia dell'edificio monumentale ed affinato attraverso punteggi modificatori, in relazione ad alcuni parametri facilmente rilevabili (stato di manutenzione, qualità dei materiali, regolarità strutturale, ecc.). Il modello si basa su una scheda molto semplice e rappresenta quindi uno strumento di veloce ed immediata applicazione sul territorio, che permette di elaborare scenari di danno per una qualsiasi tipologia monumentale.

Il limite della metodologia di primo livello è che la vulnerabilità viene vista in termini globali; l'osservazione dei danni al costruito monumentale ha invece posto in evidenza come, data la complessità architettonica di tali manufatti, le caratteristiche costruttive (fasi costruttive, trasformazioni, ecc.) e la scarsa resistenza a trazione della muratura, il danneggiamento e collasso si verifichi spesso localmente. Un modo efficace per trattare il problema è scomporre la costruzione in macroelementi,

porzioni della fabbrica riconoscibili architettonicamente e caratterizzate da una risposta sismica sostanzialmente autonoma.

L'analisi di secondo livello deve quindi essere impostata ancora su un approccio tipologico-qualitativo, ma la valutazione è più dettagliata in quanto: a) è riferita ai singoli macroelementi e non alla costruzione nel suo complesso; b) i parametri di vulnerabilità sono analizzati nei riguardi di meccanismi di collasso, riconosciuti a seguito dell'osservazione sistematica dei danni di passati terremoti.

Tale approccio è oggi possibile solo per le chiese, che rappresentano tuttavia oltre l'80% del patrimonio monumentale italiano; la UR di Genova ha redatto una metodologia che si basa sulla rielaborazione della scheda utilizzata nel rilievo dei danni a seguito degli ultimi eventi sismici italiani<sup>1</sup> (Lunigiana e Garfagnana, Reggio Emilia, Pollino, Lazio, Umbria e Marche e Val Tiberina, Asti ed Alessandria) ed in alcune campagne di analisi di vulnerabilità preventiva (progetto LSU-Parchi, progetto Molise). Avendo a disposizione oltre 6000 rilievi di chiese danneggiate dal terremoto è stato possibile definire delle matrici di probabilità di danno, per diverse classi di vulnerabilità. Gli istogrammi ottenuti sono risultati essere ben approssimati dalla distribuzione binomiale, caratterizzata da un unico parametro, il danno medio  $d$ :

$$P_k = \frac{5!}{k!(5-k)!} d^k (1-d)^{5-k} \quad (1)$$

L'andamento del danno medio al variare dell'intensità macrosismica  $I$ , per le diverse classi di vulnerabilità (associate ad un valore dell'indice di vulnerabilità  $V_I$ , ottenibile dalla compilazione della scheda), è molto regolare e ben rappresentato da un'espressione analitica<sup>2</sup>:

$$d = 2.5 \cdot \left[ 1 + \tanh \left( \frac{I + 6.25 \cdot V_I - 13.1}{2.3} \right) \right] \quad (2)$$

L'approccio per macroelementi e meccanismi di collasso si presta alla definizione di un terzo livello di analisi, basato su valutazioni della vulnerabilità sismica a base meccanica. Tale approccio deve comunque mantenere i caratteri di un'analisi semplificata, al fine di essere applicabile in modo automatico e comunque su un numero significativo di manufatti, anche se ridotto rispetto a quello tipico dei metodi di I e II livello, per rispettare l'ambito territoriale delle analisi di vulnerabilità. La soluzione individuata è quella di un uso dell'analisi limite dell'equilibrio, sfruttando i teoremi statico e cinematico applicati alla muratura, pensata come corpo rigido non resistente a trazione; il sisma è quindi considerato come una forza statica orizzontale, proporzionale alle masse, ed il moltiplicatore di collasso che si ottiene rappresenta l'accelerazione spettrale. Questo approccio consente di valutare, con pochi parametri geometri e tipologici, una curva di capacità per il macroelemento, stimando l'efficacia di alcuni presidi antisismici (catene, contrafforti, ecc.). I metodi di

<sup>1</sup> Podestà S., "Risposta sismica d'antichi edifici religiosi in muratura: sviluppi di nuovi modelli per l'analisi di vulnerabilità", Tesi di dottorato, Università di Pavia, 2001.

<sup>2</sup> Lagomarsino S., Podestà S., Seismic vulnerability of ancient churches. Part 2: statistical analysis of surveyed data and methods for risk analysis, paper submitted to *Earthquake Spectra*.

/// livello rappresentano anche uno strumento di validazione e taratura dei metodi qualitativi di // livello, altrimenti basati solo sull'interpretazione dei danni osservati.

L'evento sismico, che ha colpito l'area molisana nell'ottobre-novembre del 2002, ha determinato un impegno diretto della UR a supporto del COM di Larino (Funzione 9). Tale attività ha consentito di applicare criticamente i diversi strumenti schedografici, sia quello istituzionale (GU) sia quelli messi a punto dalla UR. A seguito dell'analisi critica delle metodologie esistenti, eseguita nel progetto e descritta nel precedente paragrafo, era emersa la necessità di apportare alcune variazioni alla scheda utilizzata in occasione del terremoto Umbria-Marche; il terremoto del Molise ha rappresentato l'occasione per operare tali modifiche e verificare immediatamente sul campo l'applicabilità e la validità del nuovo strumento schedografico.

Uno dei punti critici della vecchia scheda era proprio nella vulnerabilità, essendo questa stata pensata prevalentemente per un rilievo del danno<sup>3</sup>; in essa, per ogni meccanismo di collasso, erano individuati rigidamente due indicatori di vulnerabilità, sul cui giudizio spesso vi erano inevitabili incertezze e talvolta non esaurienti della notevole varietà di situazioni presenti nel costruito storico. Nella nuova scheda, il rilievo della vulnerabilità viene condotto secondo un duplice approccio: indicatori di vulnerabilità e presidi antisismici. Se la presenza di un contrafforte o di una catena può essere vista come un presidio antisismico capace di contrastare l'attivazione e l'evoluzione di un meccanismo, la presenza di elementi spingenti o la presenza di carichi concentrati su una volta rappresentano una fonte di vulnerabilità (nella versione precedente, i presidi erano volti in negativo, chiedendo al rilevatore di esprimersi sull'assenza di questi; il tutto risultava poco chiaro e, in alcuni casi, concettualmente non corretto). Per ogni meccanismo di danno è stata inserita nella scheda una lista di presidi e di indicatori di vulnerabilità, che è possibile in ogni caso integrare con particolari costruttivi specifici della fabbrica (a giudizio del rilevatore).

Una seconda modifica è stata l'estensione del numero dei meccanismi di danno da 18 a 28; questo si è reso necessario, in particolare, per le chiese di grosse dimensioni, nelle quali sono presenti ed assumono rilievo molti macroelementi (transetto, cappelle laterali, protiro, ecc.). Una maggiore articolazione dei meccanismi nei vari macroelementi consente di graduare meglio il peso dei danni locali nella valutazione di danno complessiva; inoltre, si limitano le incertezze nella compilazione e le arbitrarietà, generate nella vecchia scheda dalla sua eccessiva sintesi. Anche se la nuova scheda appare più lunga ed articolata, non si perdono assolutamente le caratteristiche di facile e rapida applicabilità a scala territoriale.

#### **Task 4. Inventario e vulnerabilità dei sistemi urbani**

*Responsabile scientifico: Alberto Cherubini*

Nel corso dell'anno 1999 è stato condotto dalla Protezione Civile, con il coordinamento tecnico-scientifico del GNDDT, il Censimento di Vulnerabilità delle infrastrutture di alcuni Centri Abitati di sei regioni dell'Italia meridionale; esso ha riguardato un

<sup>3</sup> Lagomarsino S., Maggiolo L., Podestà S., "Vulnerabilità sismica delle chiese: proposta di una metodologia integrata per il rilievo la prevenzione ed il rilievo del danno in emergenza", Atti del X Convegno Nazionale "L'ingegneria sismica in Italia", Potenza, 2001.

campione di 67 Centri di media e piccola importanza, scelto sulla base di alcuni parametri dedotti dai dati ISTAT '91, come: altitudine, numero di abitanti, volume edificato, classificazione sismica, ecc. Sono state compilate n. 23.922 schede di censimento, riguardanti:

- reti di urbanizzazione primaria "lifelines" (condotte idriche, fognature, reti distribuzione del gas, reti elettriche e telefoniche, ecc.);
- reti stradali e ferroviarie (per ciò che riguarda l'attraversamento di centri), per le parti a rete e per i nodi (ponti, viadotti, passaggi a livello, opere d'arte, ecc.);
- sistemi e sub-sistemi che definiscono la "vulnerabilità urbana" dell'abitato (struttura morfologica, vie di fuga e luoghi sicuri, sistemi di comunicazione e di traffico, ecc.).

I dati cartacei relativi alle schede di censimento e ad altri documenti raccolti nel corso del rilievo (planimetrie dei Centri, schede di vulnerabilità urbana, ecc.) sono custoditi presso un deposito della Protezione Civile, dove si trovano anche i dati di altri censimenti effettuati nel corso degli anni 1996-2000; è stato predisposto il programma di caricamento delle schede su supporto informatico e sono state informatizzate solo n. 1.764 schede per le prime elaborazioni. Il primo prodotto previsto per il I° anno del Progetto SAVE riguarda la costruzione di un database dei dati di cui sopra, procedendo alla sistematica informatizzazione di tutti i dati cartacei ed ordinando per ogni Centro ed ogni rete o sistema censito tutte le informazioni raccolte; purtroppo tale attività non è stato possibile svolgerla, per la indisponibilità dei dati cartacei. Per lo stesso motivo non è stato possibile verificare il campione di Centri utilizzati, per accertarne la significatività e le maggiori o minori informazioni disponibili, in quanto nel corso del Progetto di Censimento è stato modificato un certo numero di Centri, per alcune difficoltà di accesso; una esatta verifica quindi può essere svolta soltanto con i dati a disposizione. Il secondo prodotto previsto riguarda la rassegna delle metodologie di valutazione della vulnerabilità. A tale riguardo occorre distinguere tra metodologie di valutazione per le reti e metodologie di valutazione di sistemi urbani, queste ultime finalizzate alla stima della cosiddetta "vulnerabilità urbana". Per le prime, in letteratura si adottano approcci diversi: un primo approccio utilizza processi di tipo logico-matematico applicati alle componenti rami-nodi della rete: la carenza di una componente o la sua incapacità ad assolvere la funzione propria (dalla riduzione alla perdita di funzione), in relazione ad un possibile evento sismico, si traduce in un grado di vulnerabilità parziale o totale della rete; il secondo approccio utilizza processi di valutazione esperta, attraverso indicatori qualitativi, con la stima diretta o attraverso regole di associazione della vulnerabilità delle singole componenti di rete. Per la valutazione dei sistemi urbani, anche in questo caso in letteratura si utilizzano approcci diversi, di cui uno più analitico, basato su informazioni quali la vulnerabilità speditiva della parte costruita, elementi geometrici e geomorfologici che descrivono la forma e le caratteristiche dell'abitato; un approccio più globale, utilizzato nelle elaborazioni svolte a seguito del Censimento dei Beni Monumentali nei Parchi di sette regioni dell'Italia Meridionale, fa riferimento sia a parametri sintetici che descrivono la struttura fisica del Centro, sia a tabelle di correlazione tra i sistemi esistenti (quali il sistema dei trasporti, dell'istruzione, della sanità, ecc.) e la loro efficienza in presenza di un evento sismico. Nel Gruppo di Lavoro del Task 4, che si è riunito più volte per esaminare nel dettaglio le metodologie di valutazione sopra descritte, si è ritenuto opportuno in un

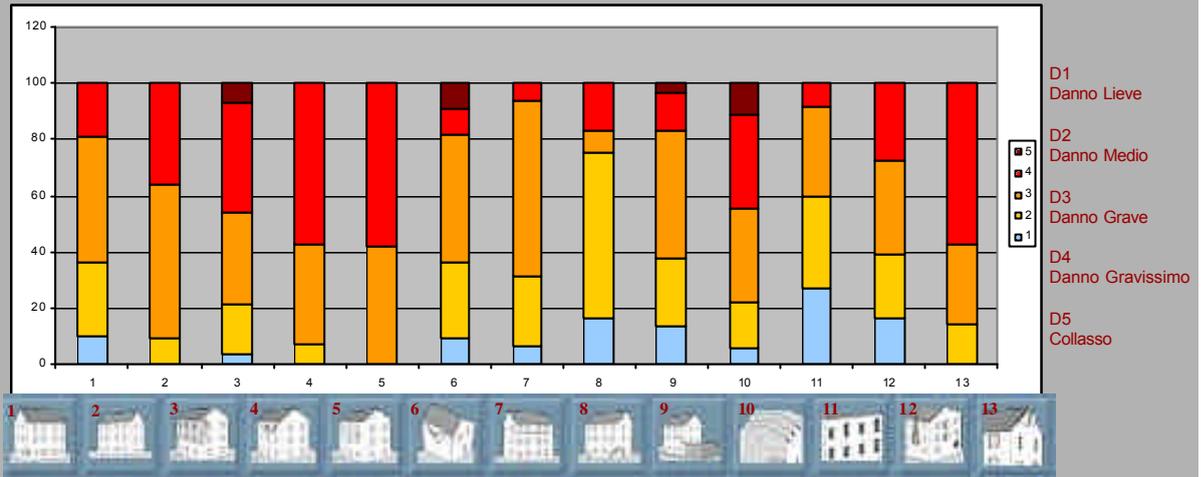
primo momento portare avanti approcci sia di tipo analitico che globale, per verificare, anche con operazioni di taratura sul primo gruppo di schede informatizzate, la qualità ed il tipo di informazioni che si ottengono; infatti le esperienze già maturate nella elaborazione dei Censimenti di Vulnerabilità portano a ritenere che entrambe le strade siano percorribili.

**FIGURE RELATIVE ALLA DESCRIZIONE DEL TASK 1**

**Analisi Statistica dei meccanismi**

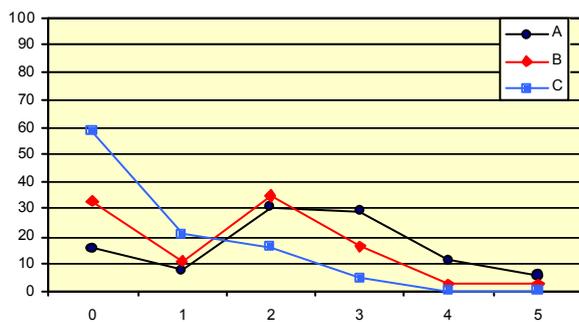
Meccanismi analizzati in San Giuliano

**Percentuali di danno per tipo di meccanismo**

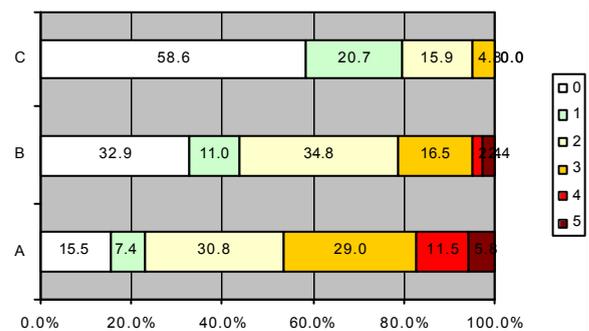


- 1. Da Taglio della parete per azioni nel piano
- 2. Da Taglio della parete solo nella zona alta
- 3. Da Ribaltamento della Intera Parete
- 4. Da Ribaltamento Parziale della Parete
- 5. Da Instabilità (verticale) della parete
- 6. Da Rottura a flessione della parete
- 7. Da Scorrimento di piano orizzontale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

Analisi statistica dei meccanismi di danno riscontrati a S. Giuliano



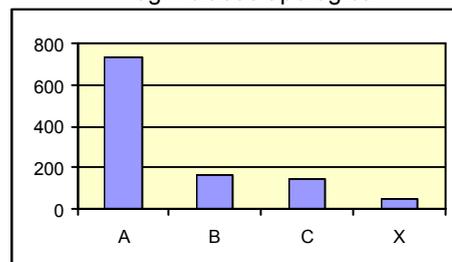
Distribuzione degli edifici delle Classi A,B,C per livello di danno secondo EMS 98



Percentuali di edifici per livello di danno all'interno di ogni classe tipologica

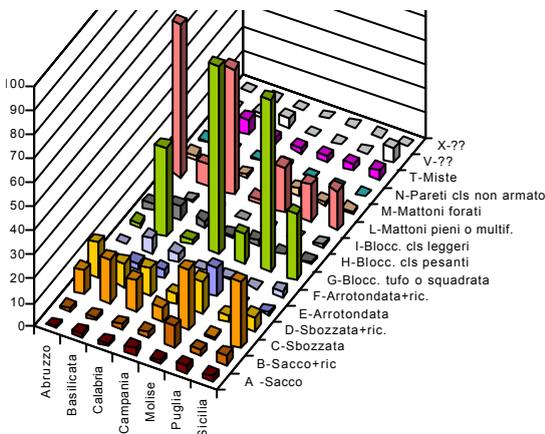
**Casalnuovo Monterotaro (FG)**

Istat 071013  
 Abitanti ('91) = 2370  
 Abitazioni 1410 ('91)  
 zona sismica S=9  
 Edifici in muratura circa 1.000  
 Edifici in c.a. circa 100



Dati del centro rilevati con Aedes (non completi)

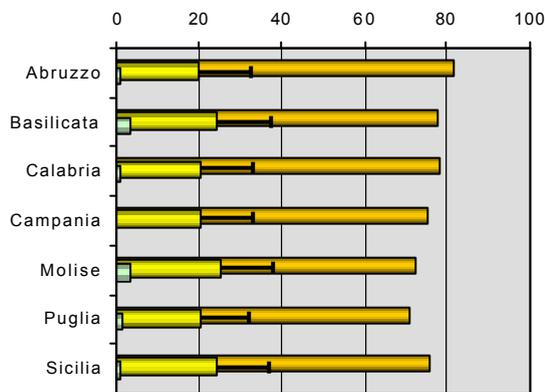
FIGURE RELATIVE ALLA DESCRIZIONE DEL TASK 2



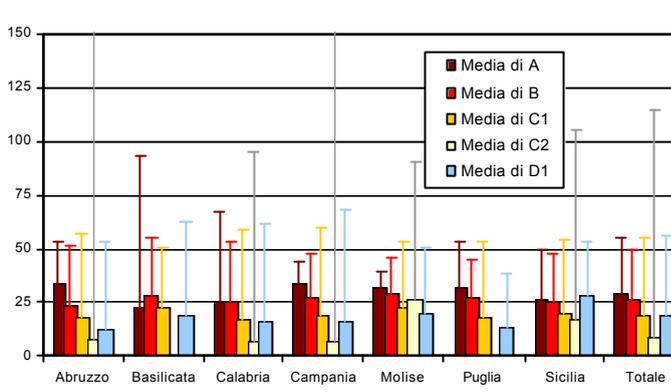
Tipologia delle strutture verticali per regione



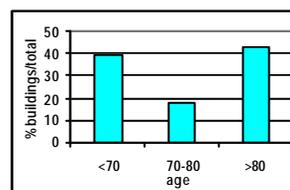
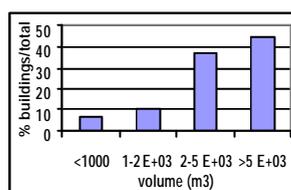
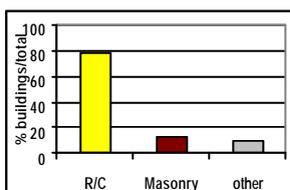
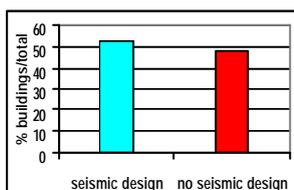
Tipologia muraria prevalente delle strutture verticali



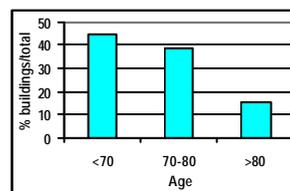
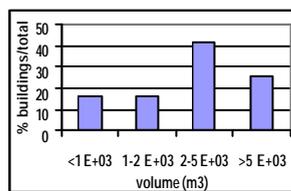
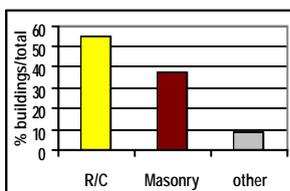
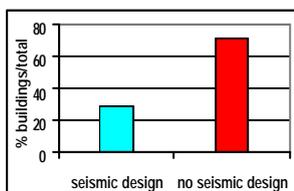
Valori medi, minimi, massimi e DS dell'indice di vulnerabilità degli edifici in muratura



Valori medi e coefficienti di variazione dell'indice di vulnerabilità degli edifici in muratura per classi EMS



Caratteristiche degli edifici delle scuole superiori della Provincia di Potenza (popolazione intera).



Caratteristiche degli edifici delle scuole materne, elementari e medie inferiori disponibili dei comuni della Provincia di Potenza (campione incompleto).



## Revisione dei fondamenti teorici e sperimentali delle stime di *hazard* a scala nazionale

Coordinatore: Paolo Gasperini

### Introduzione

È opportuno segnalare che, trattandosi di un progetto riproposto, i fondi relativi al presente anno di finanziamento sono stati resi disponibili presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna solo a partire dalla metà di gennaio 2003. Di conseguenza la presente relazione rispecchia attività svolte formalmente in un periodo di molto inferiore alla durata di un anno. In particolare, per la specifica natura del rapporto con la società di ricerche SGA, le attività previste nell'ambito della Task 1 sono tuttora ad uno stadio molto precoce e verranno quindi presentate in forma provvisoria, con riserva di completarne la rendicontazione in tempi successivi. Al contrario le attività sulle altre linee di ricerca sono proseguite quasi esattamente secondo il programma iniziale, per iniziativa volontaristica dei partecipanti, anche se ovviamente con qualche difficoltà.

Gli obiettivi del progetto, come risultano anche dalla scheda di riproposizione, sono stati ridimensionati, in relazione ai commenti dei *referee* e all'entità dei fondi assegnati, e comprendono attività nell'ambito di solo 4 delle *task* inizialmente previste. Questo ha ridotto fortemente l'unitarietà e la coerenza del progetto che originalmente aveva come obiettivo finale la revisione delle stime di *hazard* a scala nazionale. Ugualmente però si è cercato di sviluppare una proposta che a partire da attività giudicate "nuove ed innovative" dalla Commissione dei *referee* fornisse risultati direttamente utilizzabili anche dagli altri progetti GN-DT. In tale ambito, come anche suggerito dagli stessi *referee* si è ricercata un'integrazione con il progetto coordinato dal Dr. Amato, attraverso scambi di informazioni, in modo anche da evitare sovrapposizioni o duplicazioni. Per questo inoltre, alcune delle ricerche proposte sono state pensate per fornire prodotti che hanno una loro completezza e autonomia ma che possono essere facilmente utilizzati da chiunque. Tra gli altri vale la pena di ricordare in particolare il codice di analisi di dati macrosismici "Boxer" e il "Database dei Terremoti di area Mediterranea" (EMMA). Si tratta di strumenti pensati per un utilizzo autonomo da parte di ricercatori italiani e stranieri e di cui viene fornito anche un manuale di riferimento.

Di seguito sono elencati sinteticamente, per ognuna delle 4 *task* attivate, le attività previste e i risultati attesi per i due anni (secondo e terzo) della riproposizione e quelli effettivamente ottenuti nel primo di questi due.

### **Task 1 CATALOGO SISMICO STORICO (Responsabile Gasperini, Collaboratori: Albarello, Bernardini, Camassi, Castelli, Ercolani, Lolli, Vannucci e Gruppo di Lavoro SGA)**

Le attività previste riguardano.

- i) Il miglioramento del codice Boxer attraverso l'utilizzo della legge di attenuazione bilineare proposta da Gasperini (2001).

- ii) Lo sviluppo di nuovi metodi per calcolare l'epicentro per terremoti fuori costa.
- iii) Lo sviluppo di tecniche robuste per stimare la profondità della sorgente.
- iv) L'applicazione dell'algoritmo "Fuzzy" per il calcolo dell'intensità ad alcuni forti terremoti Italiani.

Risultati attesi per il secondo anno.

- Nuova *release* del codice Boxer per il calcolo della localizzazione, della magnitudo e dell'orientazione delle sorgenti sismiche da dati macrosismici.
- Applicazione dell'algoritmo Fuzzy al calcolo delle intensità del terremoto dell'Irpinia del 1930.

Risultati attesi per il terzo anno.

- Nuova *release* del codice Boxer comprendente la localizzazione fuori costa ed il calcolo della profondità.
- Applicazione dell'algoritmo Fuzzy ad altri forti terremoti Italiani.

Risultati ottenuti nel secondo anno:

È stata implementata una nuova versione "sperimentale" del codice Boxer per il calcolo della localizzazione, della magnitudo e dell'orientazione delle sorgenti sismiche da dati macrosismici che fa uso della legge di attenuazione proposta da Gasperini (2001). Essa è stata *testata* sui terremoti liguri del 19 luglio 1963 e su alcuni terremoti siriani.

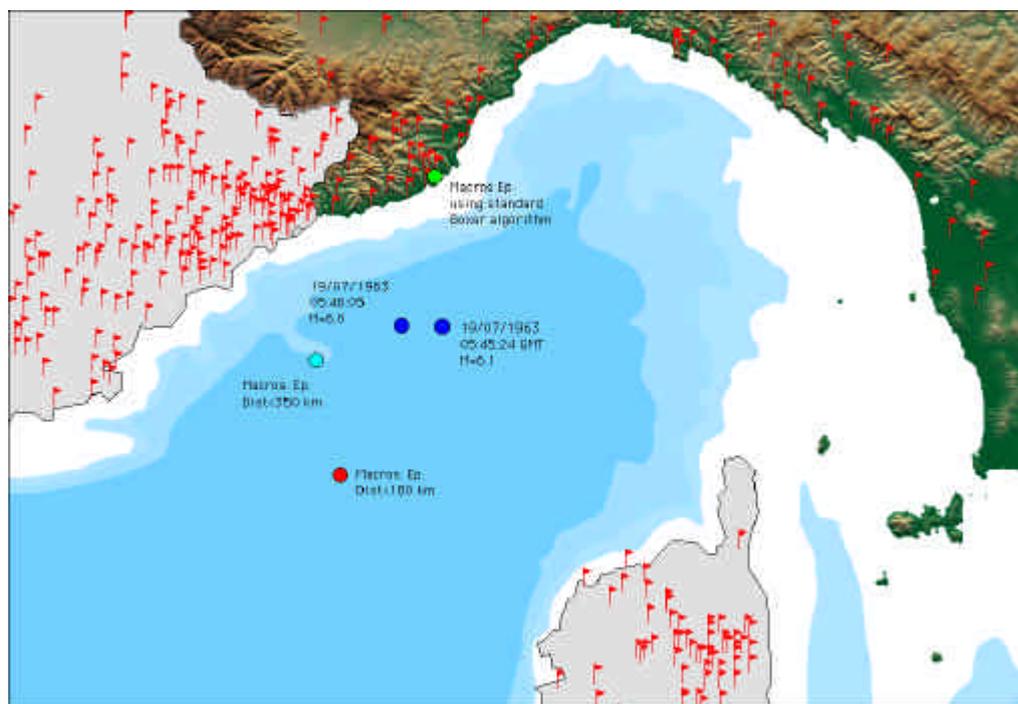


Figura 1. Campo di risentimento dei terremoti liguri del 17 Luglio 1963. Con cerchi blu sono indicati gli epicentri strumentali (dati ISS) delle due scosse avvenute a distanza di circa un minuto una dall'altra. In verde è indicato l'epicentro macrosismico (complessivo delle due scosse) che viene calcolato dalla precedente versione del codice Boxer (3.2) come baricentro delle località con massimo risentimento (I=VI). Con i cerchi azzurro e rosso sono invece riportati gli epicentri calcolati dalla nuova versione del

codice Boxer (4.0) utilizzando due diverse modalità: la prima utilizza tutti i dati entro un raggio di 350 km dall'epicentro preliminare, la seconda riduce tale distanza a 180 km (vedi Gasperini, 2001) e include nel calcolo solo i punti in cui l'intensità attesa è maggiore o uguale a IV. La magnitudo stimata con il nuovo metodo è 6.1, mentre l'intensità epicentrale (teorica) è IX. Non è stato invece possibile valutare l'orientamento della struttura sismogenetica per la mancanza di dati in zona epicentrale.

In Fig. 1 si può vedere come l'algoritmo modificato sia in grado, a differenza di quello utilizzato precedentemente dal codice Boxer (versione 3.2), di localizzare correttamente in mare l'evento. Anche se la corrispondenza con gli epicentri strumentali non è in questo caso particolarmente precisa, il risultato appare incoraggiante per i futuri sviluppi del metodo.

Attraverso la metodologia sviluppata da Ferrari et al. (1995) e Vannucci et al (2000) che fa uso dei *Fuzzy Sets*, sono stati codificati ed elaborati i dati degli effetti osservati per il terremoto dell'Irpinia del 1930, per ottenere stime oggettive e riproducibili delle intensità. Il confronto con altri eventi precedentemente studiati mediante tale metodo (S.Sofia 1918, Mugello 1919 e Garfagnana 1920) indica una tipologia di informazioni piuttosto differente. Utilizzando infatti le "funzioni di appartenenza" *Fuzzy* ricavate dagli altri eventi (invertite) si otterrebbero infatti campi di risentimento molto diversi sia da quello ottenuto con le funzioni ricavate dall'evento stesso (proprie) sia da quello molto simile a quest'ultimo ottenuto con metodi tradizionali. Questo effetto è particolarmente chiaro osservando le elaborazioni effettuate tramite il codice Boxer sui diversi campi di risentimento ottenuti (Fig.2).

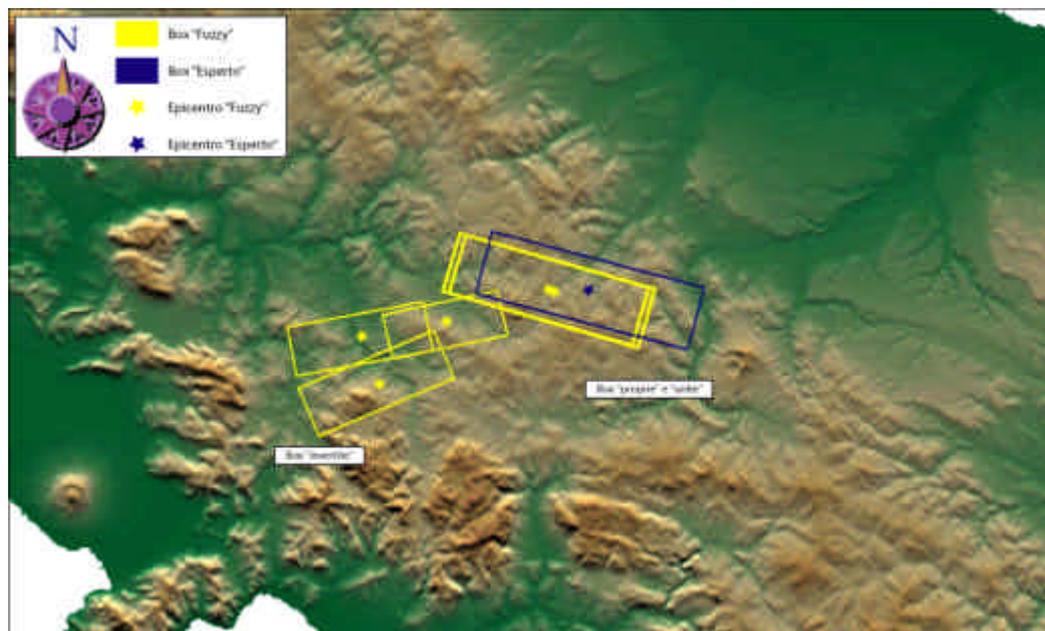


Figura 2. Elaborazione tramite codice Boxer (versione 3.2) dei campi di risentimento del terremoto dell'Irpinia del 23 luglio 1930, risultanti dalle elaborazioni con algoritmo Fuzzy (giallo) e dalle valutazioni di intensità da parte di un "esperto macrosismico" (blu). Le box "invertite" si riferiscono a valutazioni effettuate utilizzando "funzioni di appartenenza" Fuzzy ricavate dai dati degli eventi del 1918 a S.Sofia (appennino romagnolo), del 1919 in Mugello e del 1920 in Garfagnana. Le box "proprie" e "unite" si riferiscono invece rispettivamente alle valutazioni ottenute utilizzando funzioni di appartenenza ricavate dai dati dell'evento del 1930 stesso e unendo tutti i dati.

## **Task 6C TOMOGRAFIA DELL'INTENSITÀ ED EFFETTI DI SITO (Responsabile: Gasperini, Collaboratori: Albarello, Bernardini, Camassi, D'Amico, Ercolani, Lolli, Mucciarelli, Vannucci)**

Le attività previste riguardano.

- i) Il confronto di dettaglio dei residui empirici di località con le caratteristiche litologiche e topografiche dei siti al fine di verificare se essi sono effettivamente collegati a specifiche proprietà locali dei siti piuttosto che alle incertezze nella determinazione dell'intensità
- ii) L'introduzione delle orientazioni spaziali delle sorgenti sismiche nell'equazione di attenuazione bilineare al fine di rendere più realistico e preciso il calcolo delle distanze. Questo può essere fatto sia usando la tecnica Boxer (Gasperini *et al.*, 1999) o calcolando, simultaneamente all'inversione tomografica, l'orientazione della sorgente che minimizza i residui di equazione.
- iii) Estensione del dataset di intensità attraverso l'inclusione di nuovi dati provenienti dal Bollettino macrosismico dell'INGV degli anni dal 1993 al 1997.
- iv) Continuazione dello studio (Boccaletti *et al.*, 2001) sulle variazioni laterali dell'intensità avvertita nel centro storico di Firenze in occasione dei terremoti di Impruneta del 1895 e confronto con i risultati di simulazioni 1D del moto del suolo e di misure di amplificazione del suolo.

Risultati attesi per il secondo anno.

- Database macrosismico integrato contenente i dati provenienti dal Bollettino macrosismico dell'INGV per tutti gli eventi con  $I_{max} > V$ .
- Inversione tomografica preliminare utilizzando il database aggiornato.
- Studio delle variazioni laterali dell'intensità a Firenze per i terremoti del 1895 confrontate con simulazioni 1D del moto del suolo.

Risultati attesi per il terzo anno.

- Database delle caratteristiche litologiche e topografiche delle località con risentimenti per più di 10 differenti terremoti, sulla base dei dati utilizzati per la nuova inversione tomografica.
- Inversione tomografica definitiva utilizzando la metodologia aggiornata.
- Confronto tra le variazioni laterali dell'intensità a Firenze con misure di amplificazione del suolo.
- Studio delle variazioni laterali dell'intensità per altri centri storici.

Risultati ottenuti nel secondo anno:

È stata preparata una versione preliminare del database macrosismico, integrando i dati di DOM (Monachesi e Stucchi, 1997) e CFTI (Boschi *et al.*, 1995, 1997, 2000), sulla base delle scelte effettuate nel CPTI (CPTIWG, 1999), con i dati provenienti dal Bollettino macrosismico dell'INGV per tutti gli eventi con  $I_{max} > V$  dal 1993 al 1996. Sono inoltre stati sostituiti i dati provenienti dal Catalogo dei Forti Terremoti versione 2 (utilizzata per CPTI) con quelli della versione 3 (Boschi *et al.*, 2000) aggiungendo anche i terremoti in più presenti nella versione più recente. Il database include complessivamente 61638 dati di risentimento (di cui 7102 aggiunti) relativi a 2622 terremoti (di cui 142 aggiunti). È stato anche avviato il lavoro di riordino e

standardizzazione del catalogo delle località che possiedono dati di risentimento. Il catalogo che inizialmente, a causa della diversa codifica di DOM, CFTI e Bollettino, includeva 26450 località, comprende ora 12267 località anche se sono ancora necessari ulteriori controlli e verifiche per l'eliminazione di eventuali altri doppioni. Sulla base di tale *dataset* integrato, è stata realizzata una nuova inversione tomografica dell'attenuazione dell'intensità macrosismica. Rispetto al lavoro precedente (Carletti e Gasperini, 2003) attualmente in corso di revisione su una rivista internazionale, la base di dati è stata estesa, oltre che ai dati successivi al 1992 anche a quelli, precedentemente esclusi, dal 1600 al 1800. Il numero di osservazioni macrosismiche utilizzate è così passato da 19997 a 25864, con un aumento di circa il 30%. I risultati dell'inversione (Fig. 3) sono molto simili a quelli ottenuti in precedenza ed estendono solo marginalmente l'area coperta dall'indagine. Il principale miglioramento riguarda invece la definizione dei residui di località che possono essere utilizzati per la valutazione degli effetti di sito. Il numero delle località analizzabili (con almeno 8 risentimenti come nel caso precedente) quasi raddoppiano passando da 285 a 559. La ragione di questo così sostanziale incremento è da attribuire molto probabilmente alla regolare presenza delle località selezionate dall'INGV per l'invio dei questionari macrosismici.

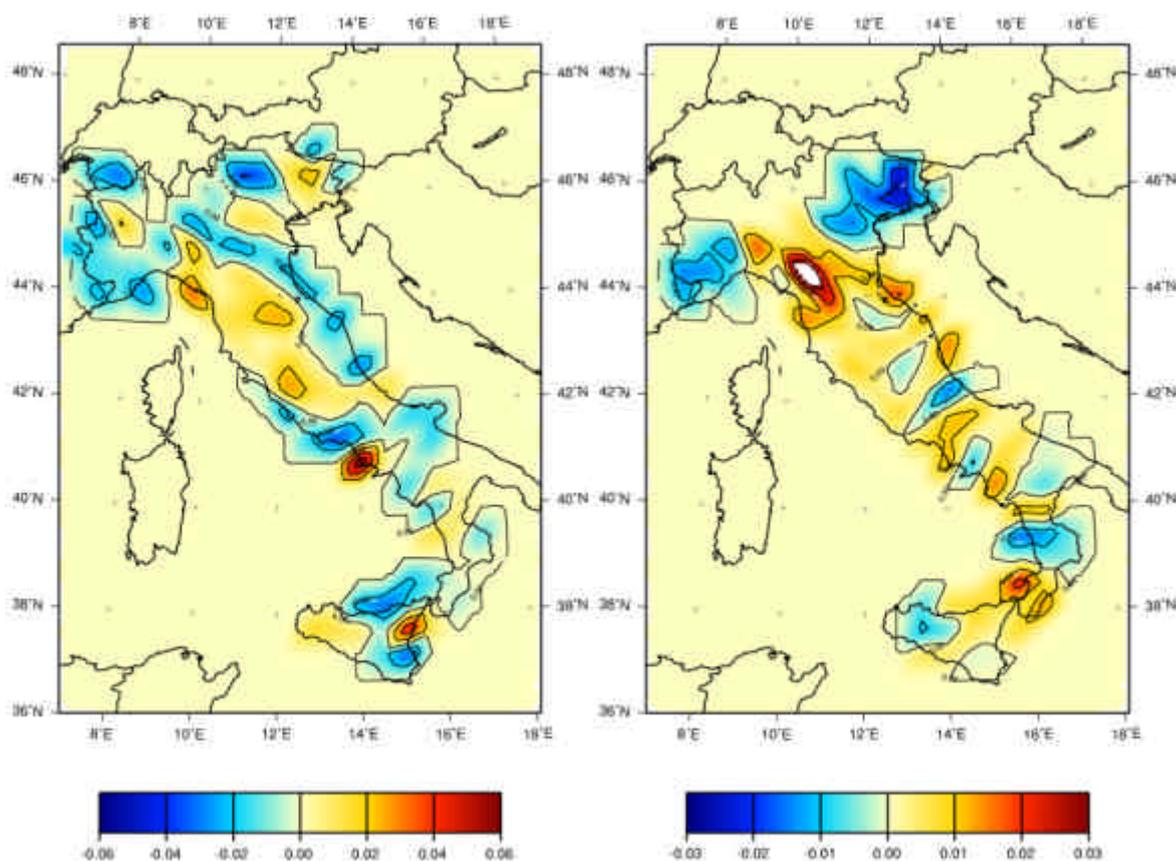


Figura 3. Risultati dell'inversione tomografica dell'attenuazione dell'intensità macrosismica per il nuovo dataset integrato. A sinistra le differenze, rispetto alla media per la pendenza (gradi al km) del primo tratto del modello di attenuazione bilineare (Gasperini, 2001) (distanze tra 0 e 45 km). A destra la stessa rappresentazione per il secondo tratto (distanze tra 45 e 180 km). Le aree in rosso indicano attenuazione maggiore della media, quelle in blu inferiore alla media.

Proprio sulla base dell'elenco dei residui empirici di località ottenuti, è stata avviata un'indagine per caratterizzare dal punto di vista della litologia superficiale e della topografia i siti interessati. Sulla base delle carte geologiche disponibili (in gran parte ottenute attraverso il portale internet gestito dall'Università di Siena), 149 delle località per cui si dispone di un residuo medio ottenuto con più di 10 osservazioni macrosismiche sono state classificate in base ad una versione leggermente modificata dello schema preparato dal gruppo del Dr. Rovelli (INGV) che partecipa al progetto Amato GNDT.

In base a tale schema la geologia superficiale è stata suddivisa in: A = Consolidato carattere Litoide, B = Consolidato carattere Semilitoide, C = Non consolidato (spessore < 20m), D = Non consolidato (spessore > 20m).

Le classi a carattere non consolidato poi sono state suddivise ulteriormente in base al substrato su cui poggiano in: a = Carattere litoide, b = Carattere semilitoide, c = Carattere misto, d = Di natura sconosciuta

Infine, in base alla topografia, i siti sono stati valutati conformemente all'ubicazione della maggioranza dell'edificato. Le categorie utilizzate sono: Costa, Cresta, Pianura, Valle, Versante.

In pratica alcune di queste classificazioni sono risultate difficili se non impossibili da valutare sulla base solo della cartografia. In particolare non è stato mai possibile verificare la presenza di strati di spessore inferiore a 20 m e quindi la classe C risulta vuota. Tuttavia questa indagine, che è ancora ad uno stadio preliminare, ha permesso di identificare almeno due situazioni abbastanza chiare. Si tratta della combinazione di classe A (consolidato litoide) in pianura che attenua significativamente (di circa 0.4 gradi di intensità in media) e di classe B (consolidato semilitoide) in valle che amplifica anch'esso significativamente (circa 0.2 gradi di intensità in media). Sono in corso ulteriori approfondimenti relativi all'estensione del numero di località classificate e allo studio dell'andamento dei residui per una data località anche in relazione al tempo.

Nell'ambito dell'analisi di micro-zonazione sismica di Firenze realizzata nel primo anno del progetto, sono state effettuate misure di rapporti spettrali del rumore di fondo a 15 siti localizzati nell'area urbana di Firenze, nonché misure del profilo di velocità delle onde S a 7 di questi siti. I risultati di queste indagini, di cui è in corso l'elaborazione (Albarelo et al. 2003), verranno confrontate con le variazioni laterali dell'intensità a Firenze ricavate per i terremoti del 1895 (Fig 4) e saranno utilizzate per vincolare simulazioni 1D del moto del suolo.

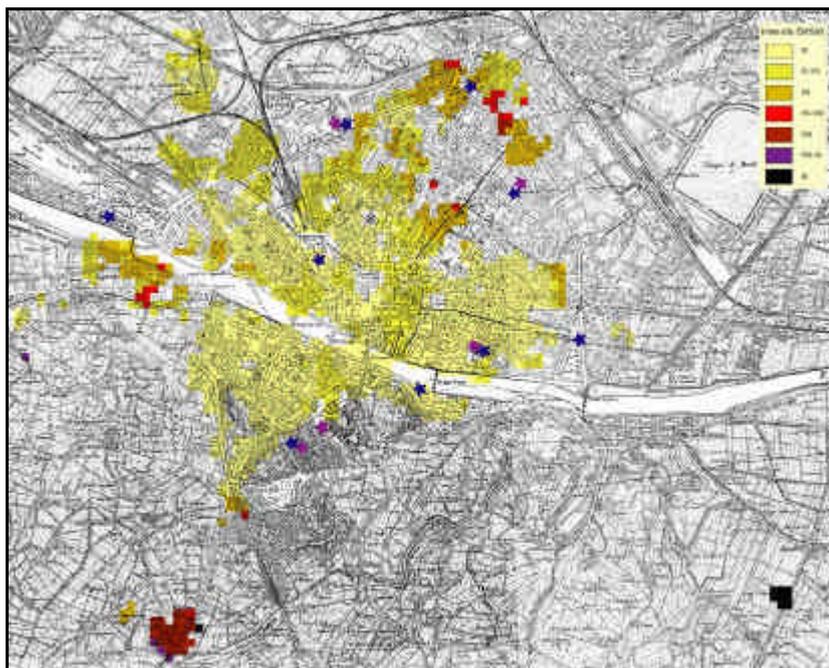


Figura 4. Mappa della zonazione sismica dell'area urbana di Firenze in termini di intensità EMS92, basata sull'analisi degli effetti sugli edifici dei terremoti del maggio-giugno 1895. Con stelle blu sono indicati i siti in cui sono state effettuate misure di rapporti spettrali e con stelle viola i punti in cui sono stati eseguiti profili della velocità delle onde S (alcuni punti indagati sono esterni alla figura).

### **Task 5 STATISTICA DELLE SORGENTI SISMICHE E COMPLETEZZA DEI CATALOGHI (Responsabile: Marzocchi, Collaboratori: Albarello, Dal Forno, D'Amico, Faenza, Gasperini, Lolli, Mucciarelli, Sandri, Selva, Vannucci)**

L'obiettivo generale di questa Task è quello di analizzare i dati sismologici disponibili (cataloghi sismici, meccanismi focali, campi macrosismici, ecc.) e di progettare specifici esperimenti per verificare le varie ipotesi e teorie sull'occorrenza dei terremoti che sono state proposte in letteratura ed anche quelle che potrebbero scaturire dalla ricerca stessa. Intendiamo studiare le modalità dell'occorrenza dei terremoti:

- i) Nello spazio (modello sismogenetico)
- ii) Nel tempo (modelli di occorrenza statistica)
- iii) Nell'energia (leggi di scala)
- iv) Nell'ampiezza del moto del suolo al sito (legge di attenuazione ed effetti locali)

Risultati previsti per il secondo anno.  
Nessuno (non programmati)

Risultati previsti per il terzo anno.

- Modello di occorrenza sismica nello spazio, relativamente alla sismicità sia storica (lunga scala temporale) che strumentale (breve scala temporale).
- Modello di occorrenza temporale e sua calibrazione attraverso i dati strumentali.

- Verifica delle leggi di scala sulla magnitudo per il catalogo strumentale.
- Verifica delle leggi di attenuazione di uso corrente.
- Modello statistico per la serie temporale delle intensità risentite al sito.

Risultati ottenuti nel secondo anno.

Abbiamo analizzato la distribuzione spazio-temporale dei forti terremoti attraverso un nuovo modello non-parametrico multivariato. Il metodo presenta diversi vantaggi rispetto ad altri approcci tradizionali. In particolare, permette di verificare in modo diretto una varietà di ipotesi come qualsiasi forma di dipendenza (gap sismico, clustering, Poisson). Inoltre, esso può tenere conto di parametri fisici e tettonici che potenzialmente influenzano la variabilità spazio-temporale, e verificarne l'importanza relativa. Il metodo è stato applicato alla sismicità italiana degli ultimi quattro secoli (CPTIWG, 1999). I risultati mostrano che i forti terremoti in Italia tendono a raggrupparsi; la probabilità istantanea di occorrenza è maggiore immediatamente dopo un evento e decresce fino a raggiungere, in alcuni anni, un valore costante. È stata calcolata una mappa della probabilità di occorrenza per il prossimo forte terremoto in Italia nei prossimi dieci anni. Questo lavoro è stato sottoposto ad una rivista internazionale (Faenza and Marzocchi, 2003).

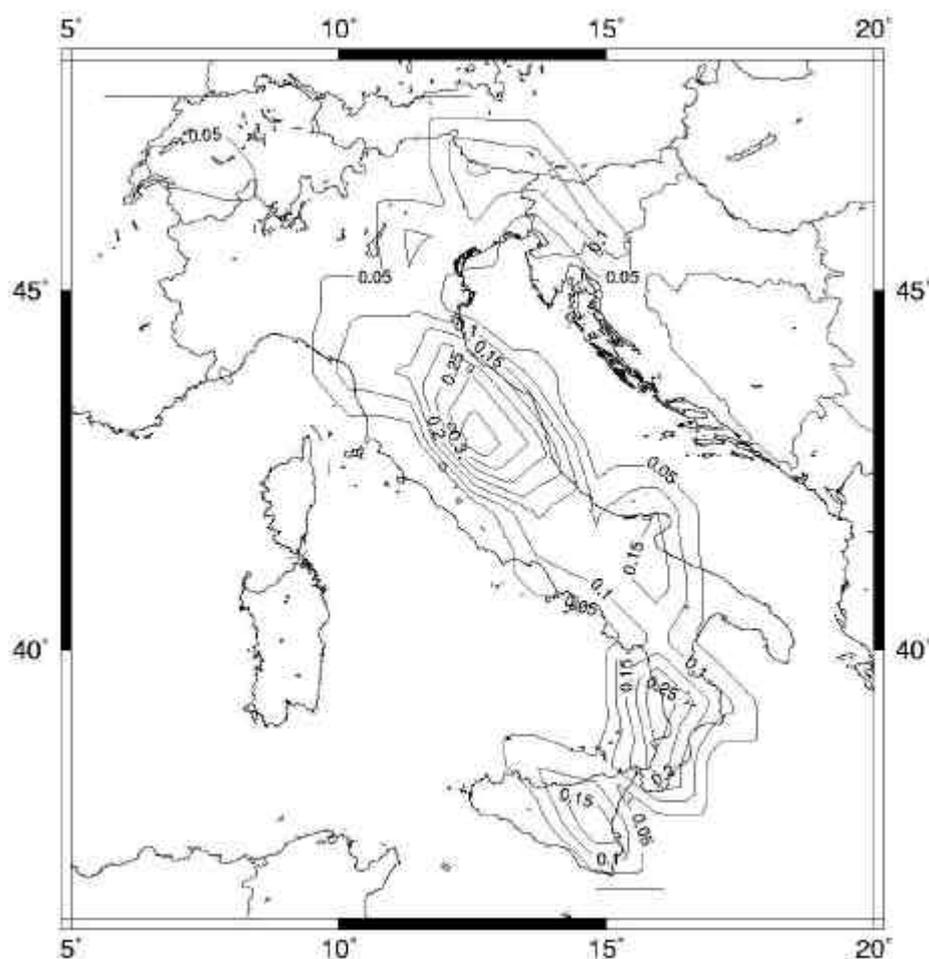


Figura 5. Mappa della probabilità di occorrenza per il prossimo forte terremoto in Italia nei prossimi 10 anni.

Sono anche proseguite le attività nel campo della modellazione delle proprietà di occorrenza statistica dei terremoti. Al momento è in corso di stampa un primo lavoro (Lolli e Gasperini, 2003a) riguardante la previsione delle repliche sismiche in Italia che fa uso del modello di occorrenza di Reasenberg e Jones (1989), mentre sono in stato di avanzata preparazione due ulteriori studi riguardanti la validazione (Lolli e Gasperini, 2003b) dei risultati del primo lavoro attraverso il confronto con i dati dal 1997 al 2002, recentemente resi disponibili sul sito web dell'INGV e l'evoluzione del modello di occorrenza delle repliche (Gasperini e Lolli, 2003).

Nel confronto tra le proprietà medie delle repliche per i due *dataset* (Fig. 6) si osserva un buon accordo per quanto riguarda la rapidità del decadimento temporale, mentre i tassi assoluti risultano circa doppi dopo il 1996 rispetto a quelli del periodo precedente. Questa discrepanza potrebbe essere dovuta a un residuo errore di calibrazione tra le magnitudo stimate nei due periodi. Inoltre si è osservato che una frazione significativa delle sequenze che si sono verificate dopo il 1996 (come ad es. quella umbro-marchigiana del 1997-1998) presentano un andamento "a sciame", con numerose scosse di energia abbastanza simile, piuttosto che il classico schema mainshock-aftershocks. In questi casi l'approccio modellistico utilizzato fino ad ora risulta inadeguato.

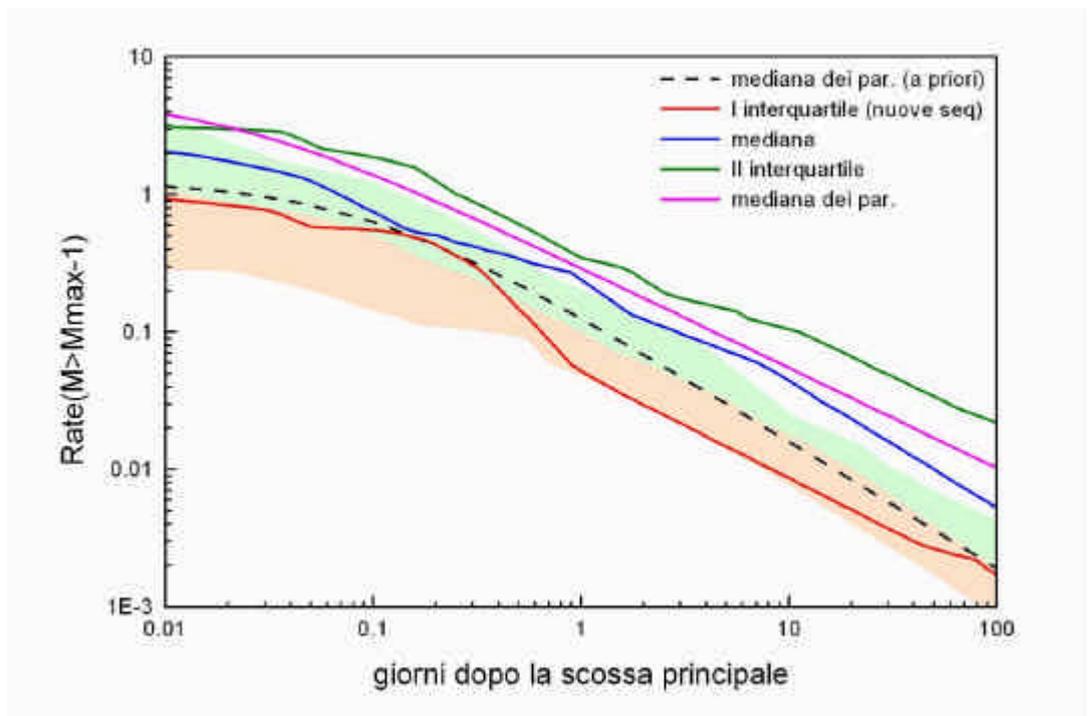


Figura 6. Confronto tra i tassi di repliche modellati per le sequenze dal 1997 al 2002 con  $M > M_{max}-1$  e quelli previsti a priori sulla base dei parametri stimati da Lolli e Gasperini (2003a) utilizzando le sequenze avvenute tra il 1960 e il 1996. Le bande colorate arancio e verde indicano, per le sequenze dal 1960 al 1996, rispettivamente gli intervalli tra il primo interquartile e la mediana e tra la mediana ed il terzo interquartile della distribuzione dei tassi, mentre la linea tratteggiata il valore previsto dal modello che utilizza le mediane dei parametri.

Per superare questo limite è stato affrontato il problema della formulazione di un nuovo modello di occorrenza, introducendo il principio epidemico (ETAS, Ogata, 1988) secondo il quale ogni scossa della sequenza è a sua volta sorgente di ulteriori aftershocks. Parallelamente è stato studiato il ruolo dei parametri utilizzati nel modello di Reasenberg e Jones (1989) attraverso un'analisi di correlazione tra i valori stimati in varie aree del mondo (California, Nuova Zelanda e Italia). Il modello che viene proposto come il più adatto a rappresentare l'andamento nel tempo del tasso di repliche anche in sequenze complesse è il seguente:

$$I(t) = 10^{-bM_{min}} \left[ m_0 + \sum_{i=1}^{L(t)} \frac{10^{a_1 + b_1 M_{0i}}}{(t - t_i + c)^p \int_{t_i}^T (t - t_i + c)^{-p} dt} \right]$$

dove i parametri che compaiono nella sommatoria ( $a_1$ ,  $p$ ,  $c$ ,  $b_1$  e  $b$ ) non sono correlati tra loro e quindi possono essere considerati rappresentativi di proprietà fisiche specifiche. Il parametro  $m_0$  rappresenta la sismicità di fondo, presente nella zona indipendentemente dall'occorrenza di un terremoto. Il parametro  $p$  descrive il decadimento temporale, mentre il  $c$  è uno slittamento temporale che rallenta il decadimento nelle prime ore dopo la scossa. I parametri  $a_1$  e  $b_1$  sono indice rispettivamente della produttività indipendente e dipendente dalla magnitudo della scossa. Infine  $L(t)$  è il numero di eventi generatori che precedono l'istante  $t$ . I parametri vengono stimati massimizzando, attraverso tecniche di ottimizzazione non-lineare multiparametro, la funzione log-likelihood ricavata per tale modello:

$$l(p, c, a_1, b_1, m_0) = 10^{-bM_{min}} \left( \ln \left( \prod_{j=1}^N \left( m_0 + \sum_{i=1}^{L(t)} \frac{10^{a_1 + b_1 M_{0i}}}{(t_j - t_i + c)^p \int_{t_i}^T (t - t_i + c)^{-p} dt} \right) \right) + \right. \\ \left. - m_0 T - \sum_{i=1}^{L(t)} 10^{a_1 + b_1 M_{0i}} \right)$$

I primi risultati dell'applicazione a sequenze recenti indicano un significativo miglioramento dell'adattamento (Fig. 7) rispetto al semplice modello di Reasenberg e Jones (1989).

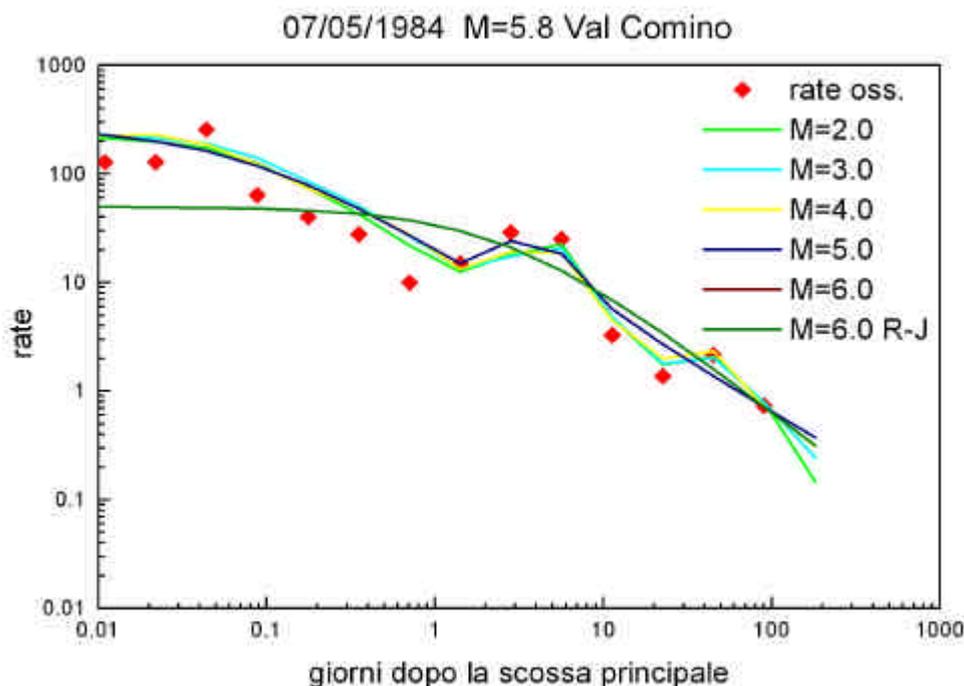


Figura 7. Confronto tra il rate osservato e quello atteso sulla base del modello epidemico, per diverse soglie di magnitudo di generazione delle sottosequenze fino alla massima corrispondente al modello di Reasenberg e Jones (1989).

### Task 7 MECCANISMI FOCALI (Responsabile: Gasperini, Collaboratori: Dal Forno, Lolli, Morelli, Pondrelli, Vannucci)

Le attività previste riguardano principalmente lo sviluppo e l'aggiornamento del database dei meccanismi ai primi impulsi dell'area Mediterranea (Vannucci and Gasperini, 2002; Gasperini and Vannucci, 2002) ed il calcolo delle soluzioni CMT regionali (Pondrelli et al., 2002).

- i) Inserimento nel database di nuovi meccanismi pubblicati.
- ii) Miglioramenti del software di gestione del database, includendo alcune nuove procedure nell'applicazione MS-ACCESS come il plot del meccanismo e il controllo in linea dei meccanismi inseriti.
- iii) Disponibilità sulla rete di una versione ridotta del database dei meccanismi ai primi impulsi.
- iv) Calcolo di nuovi meccanismi RCMT.
- v) Analisi di momenti tensori cumulativi (Kostrov, 1974) e di compatibilità delle direzioni dello sforzo (Gephart & Forsyth, 1984) per varie zone dell'area Mediterranea

Risultati previsti per il secondo anno.

- Nuova *release* preliminare del database dei meccanismi focali del Mediterraneo.

Risultati previsti per il terzo anno.

- Prima *release* pubblica del database dei meccanismi focali del Mediterraneo.

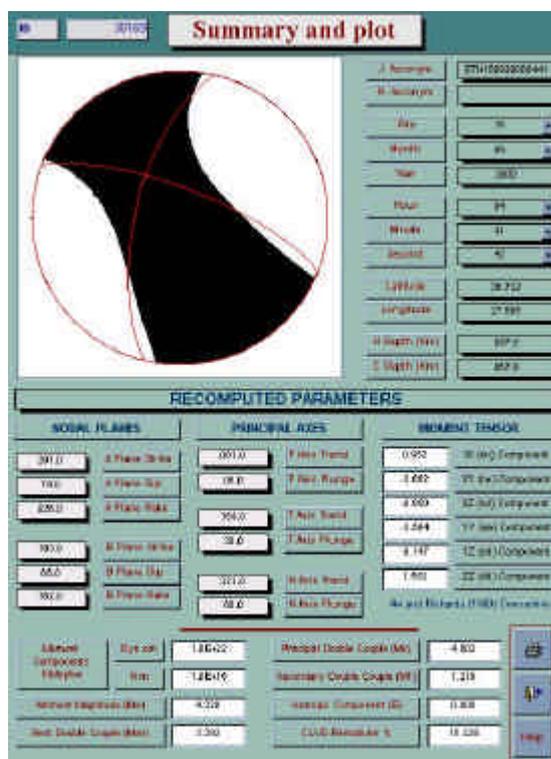


Figura 8. Maschera di riassunto e graficazione dei meccanismi del Database dei terremoti di area Mediterranea (Vannucci e Gasperini, 2003).

Risultati ottenuti nel secondo anno.

È stato verificato che oltre il 40% dei meccanismi focali pubblicati in letteratura contiene imprecisioni, errori di stampa ed in alcuni casi veri e propri errori di calcolo. In molti casi i piani focali o gli assi di deformazione sono non ortogonali od inconsistenti tra loro. Il database, realizzato su piattaforma MS-ACCESS permette di selezionare i meccanismi (in tutto circa 5000 escludendo i cataloghi CMT), di esaminarne i parametri e nell'ultima versione anche di mostrarne il grafico (beach ball, Fig. 8). Il lavoro (Vannucci e Gasperini, 2003) è in corso di stampa su una rivista internazionale.

Per effettuare i controlli necessari all'inserimento dei meccanismi nel database, è stato realizzato un pacchetto di *subroutine* Fortran che permette di eseguire i principali calcoli inerenti i meccanismi focali (calcolo degli assi dai piani e viceversa, calcolo dei parametri di un piano da quelli dell'altro, calcolo di piani e assi dalle componenti del tensore momento e viceversa). Esso è stato accuratamente verificato, confrontando i risultati con i dati del catalogo Harvard CMT. La coincidenza è risultata entro limiti ragionevoli di tolleranza (3 gradi) per oltre il 99% dei meccanismi. Solo per meno dell'1% sono state osservate discrepanze maggiori in tutti casi però attribuibili al limitato numero di cifre significative fornite dal catalogo

CMT. Anche questo lavoro è attualmente in corso di stampa (Gasperini e Vannucci, 2003).

## Conclusione

Il tratto distintivo che accompagna gran parte delle ricerche proposte in questo progetto è la focalizzazione sull'analisi dei dati macrosismici. Questi rappresentano un insieme di informazioni completamente indipendenti da quelle strumentali che quindi possono rappresentare per queste ultime un *dataset* di controllo e verifica. Un esempio particolarmente significativo in questo senso è rappresentato dall'inversione tomografica dell'attenuazione dell'intensità macrosismica. Essa fornisce, infatti, la possibilità di "calibrare" le indagini di attenuazione strumentale effettuate per alcune aree limitate del territorio (ad es. nell'ambito del progetto Amato) su un dato omogeneo globale. Un suo risultato accessorio, la lista dei residui empirici di località, permette a sua volta una verifica, su un database estremamente ampio di località (oltre 500), delle stime degli effetti di sito, effettuate da numerosi progetti GNDT su base geologica e teorica (simulazioni del moto del suolo) o sperimentale (misure di amplificazione assoluta o di rapporti spettrali).

Sempre nel campo degli effetti di sito lo studio di zonazione di dettaglio dell'area urbana di Firenze rappresenta un'occasione unica di confronto diretto delle tecniche di modellazione 1D e di misura strumentale dell'amplificazione con la distribuzione all'interno del centro storico della città degli effetti realmente osservati in occasione di un terremoto (le scosse del maggio-giugno 1895).

Nell'ambito della task relativa alla statistica delle sorgenti sismiche infine vengono affrontate problematiche fondamentali per lo sviluppo di nuovi modelli di *hazard* che invece appaiono un po' trascurate da altri progetti GNDT. L'interesse in questo caso è diretto particolarmente alle proprietà di raggruppamento spazio-temporale dei terremoti che vengono normalmente ignorate dai modelli di *hazard* correnti. In molti casi infatti le repliche vengono addirittura rimosse dai cataloghi mentre l'esperienza delle recenti sismiche italiane (Umbria-Marche, Campobasso) ha chiaramente mostrato che esse possono al contrario portare ulteriori danni e significative estensioni dell'area che necessita di misure di protezione civile.

E' stato mostrato che il raggruppamento spazio-temporale dei terremoti non riguarda solo i primi momenti dopo la prima scossa e l'area inizialmente colpita ma anche scale spazio-temporali dell'ordine degli anni e delle centinaia di chilometri. D'altra parte è già stato verificato in molti casi in letteratura che i semplici modelli di ricorrenza, adottati anche dalle stime di *hazard* in aree molto studiate (California, Giappone), non sono adatti a rappresentare la reale occorrenza dei terremoti (Kagan and Jackson, 1991, 1995, Mulargia and Gasperini, 1995).

In questo campo di indagine una condizione essenziale è rappresentata dalla disponibilità di un catalogo sismico omogeneo il più possibile completo. Questo è il motivo per cui, nonostante questo tipo di studi non siano stati giudicati importanti dalla Commissione, alcune attività in questo campo, propedeutiche alle ricerche proposte, saranno comunque portate avanti, almeno fino a quando sarà completata la revisione dei *database* storici e strumentali da parte del Progetto Amato.

Nonostante le difficoltà legate all'attivazione ritardata rispetto agli altri progetti, gran parte degli obiettivi del progetto nel secondo anno sono stati raggiunti ed in alcuni

casi superati. Questi risultati corrispondono a significativi miglioramenti nella conoscenza di alcuni fenomeni di interesse per le stime di *hazard* (proprietà dell'attenuazione e degli effetti di sito in Italia, variazioni laterali degli effetti di sito in centri urbani, proprietà statistiche dei terremoti) o degli strumenti necessari per ricavare tali stime (codice Boxer, catalogo strumentale, database dei meccanismi focali, database macrosismico). Il proseguimento del progetto secondo il programma stabilito dovrebbe permettere nel terzo anno di migliorare ulteriormente sia i primi che i secondi.

## Bibliografia

- Albarelo D., Baliva F., Boccaletti M., D'Amico V., Gasperini P., Picozzi M., Vannucci G. (2003), Deterministic interpretation of EMS intensity lateral variation for the Impruneta earthquake in the urban area of Florence (Italy), EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice.
- Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E. e Valensise G., (1995), Catalogo dei Forti Terremoti dal 461 a.C. al 1980, ING/SGA, Bologna, 973pp. e CDROM incluso.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G. e Gasperini P. (1997), Catalogo dei Forti Terremoti dal 461 a.C. al 1990 (2), ING/SGA, Bologna, 644pp. e CDROM incluso.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise G. e Gasperini P. (2000), Catalogue of Strong Italian Earthquakes from 461 B.C. to 1997 (3), *Annali di Geofisica*, 43, n. 4, and enclosed CDROM.
- Boccaletti M., Corti G., Gasperini P., Piccardi L., Vannucci G. e Clemente S. (2001) Active tectonics and seismic zonation of the urban area of Florence, Italy. *Pageoph*, 158, 2313-2332.
- Carletti F. e Gasperini P. (2002) Lateral variations of macroseismic intensity attenuation in Italy, (submitted to *Geophys. J. Int.*)
- CPTI Working Group (1999), Catalogo Parametrico dei terremoti Italiani, Ed. Compositori, Bologna, Italy, 88 pp.
- Faenza L. e Marzocchi W., (2003) A nonparametric hazard model to characterize the spatio-temporal occurrence of large earthquakes; an application to the Italian catalog, *Geophys. J. Int.* (sottomesso).
- Ferrari, G., Gasperini, P., and Guidoboni, E., (1995), Macroscopic intensity evaluation with the "Fuzzy Sets Logic", *Annali di Geofisica*, 38, 811-826.
- Gasperini P., (2001). The attenuation of seismic intensity in Italy: a bilinear shape might indicate the dominance of deep phases at epicentral distances longer than 45 km, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91, 826-841.
- Gasperini P. e Lolli B. (2003) On the choice of the functional form of the aftershocks decay equation, EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice.
- Gasperini, P., Bernardini, F., Valensise, G. and Boschi, E., (1999), Defining seismogenic sources from historical earthquake felt reports, *Bull. Seism., Soc., Am.*, 89, 94-110.
- Gasperini, P. and Vannucci, G., (2002), FPSPACK: a package of simple FORTRAN subroutines to manage earthquake focal mechanism data, *Computer Geosciences*, (in corso di stampa)
- Gephart J.W. e Forsyth W.D. (1984) An improved method for determining the regional stress tensor using earthquake focal mechanism data: application to the San Fernando earthquake sequence. *J. Geophys. Res.*, 89, 9305-9320.
- Kagan Y.Y., Jackson D.D., (1991) Seismic gap hypothesis: ten years after, *J. Geophys. Res.*, 96, 21419-21431.
- Kagan Y.Y., Jackson D.D., (1995) Seismic gap hypothesis: Five years after, *J. Geophys. Res.*, 100, 3943-3959.
- Kostrov V.V. (1974) Seismic moment and energy of earthquakes and seismic flow of rocks. *Izv. Earth Phys*, 1, 23-40.
- Lolli B. e Gasperini P. (2003a) Aftershocks prediction in Italy Part I: Estimation of time-magnitude distribution model parameters and computation of probabilities of occurrence, *J. Seismol.* (in press).

- Lolli B. e Gasperini P. (2003b) Aftershocks prediction in Italy Part II: validation and improvement of the forecasting model, EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice.
- Monachesi, G. & Stucchi, M., 1997. *DOM4.1, un database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno*, GNDT, Open File Report, Milano-Macerata, available at <http://emidius.itim.mi.cnr.it/DOM/home.html>.
- Mulargia, F. and Gasperini, P. (1995) Evaluating the applicability of the time- and slip-predictable earthquake recurrence models to Italian seismicity, *Geophys J. Int.*, 120, 453-473.
- Pondrelli, S., Morelli, A., Ekström, G., Mazza, S., Boschi, E. and Dziewonski, A. M., (2002), European-Mediterranean regional centroid-moment tensors: 1997-2000, *Phys. Earth Planet. Int.*, 130, 71-101.
- Ogata, Y., 1988, Statistical models for earthquake occurrences and residual analysis for point processes, *Journal of the American Statistical Association* **83**, 9-27.
- Reasenberg, P.A. and Jones, L.M., 1989, Earthquake hazard after a mainshock in California, *Science* **243**, 1173-1176.
- Vannucci, G., and Gasperini, P. (2002), A database of revised fault plane solutions for Italy and surrounding regions, *Computer Geosciences*, (in corso di stampa).
- Vannucci, G., Gasperini, P., Ferrari, G. and Guidoboni, E., (1999), Encoding and computer analysis of macroseismic effects, *Physics and Chemistry of the Earth*, 24, 505-510.



# Tema 2

## Simulazione di eventi sismici e scenari di danno in aree urbane



## Sviluppo e confronto di metodologie per la valutazione della pericolosità sismica in aree sismogenetiche: applicazione all'Appennino centrale e meridionale

Coordinatore: Dott. Massimo Cocco

### Introduzione

1 - Struttura del Progetto. I cambiamenti istituzionali e la mobilità di alcuni ricercatori coinvolti hanno reso necessaria una ulteriore modifica della struttura del progetto. In particolare, sono state accorpate due unità di ricerca: la UR6 Università di Genova è confluita nell'UR4 INGV Milano. L'attuale composizione delle Unità di Ricerca (UR) afferenti al progetto è descritta nella seguente tabella:

Tabella 1: Unità di Ricerca (UR) partecipanti al progetto.

Unità di Ricerca	Responsabile Scientifico	Afferenza	Gruppi di Ricerca esterni (sub-contractors)
UR1	Massimo Cocco	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia <b>INGV – Roma -</b>	Istituto Dinamica Processi Ambientali Roberto De Franco CNR Milano
UR2	Enrico Priolo	Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale (OGS), Trieste <b>OGS</b>	
UR3	Aldo Zollo	Università di Napoli <b>UniNa</b>	Università di Bari Agata Siniscalchi
UR4	Paolo Augliera	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia <b>INGV – Milano -</b>	Università di Genova Dip. Scienze della Terra Daniele Spallarosso
UR5	Peter Suhadolc	Università di Trieste <b>UniTri</b>	
UR7	Alfredo Mazzotti	Università di Milano <b>UniMi</b>	

2 - Obiettivi del Progetto. Il progetto è finalizzato allo studio della zona di Colfiorito, identificata come area training grazie all'elevata disponibilità di dati ed informazioni, e alle zone di Città di Castello e della Val D'Agri, entrambe identificate come aree test su cui applicare i risultati degli sviluppi metodologici ottenuti.

Le iniziative portate avanti durante il secondo anno di attività rispettano la pianificazione del lavoro prevista nel progetto esecutivo, e hanno coinvolto tutti e 5 i tasks. In particolare, le attività sono state maggiormente focalizzate sull'area di training di Colfiorito e sull'area test di Città di Castello. Gli obiettivi programmati sono di seguito elencati e suddivisi per tasks.

#### *TASK 1. Caratterizzazione Geometrica e Meccanica delle Sorgenti.*

(Responsabile P. Montone, INGV – Roma).

Contribuiscono a questo task UR1, UR3 (Univ. di Bari) e UR7.

#### Area di Colfiorito

- Sintesi dei risultati delle indagini geofisiche.

- Revisione critica dei modelli di sorgente proposti sulla base dei risultati ricavati dall'elaborazione delle linee di sismica di esplorazione.

#### Aree Test di Città di Castello e Val D'Agri

- Individuazione delle sorgenti per l'area di Città di Castello.
- Sintesi preliminare delle conoscenze per la Val D'Agri.

#### *TASK 2. Caratterizzazione della struttura crostale.*

(Responsabile A. Michelini, OGS – Trieste).

Contribuiscono a questo task UR1, UR2 e UR4.

#### Area di Colfiorito

- Sintesi e revisione dei modelli di velocità proposti.
- Confronto con i risultati della sismica di esplorazione.
- Modelli di velocità 3D e stima dell'Attenuazione Anelastica.

#### Aree Test di Città di Castello e Val D'Agri

- Analisi dei dati della campagna di acquisizione di Città di Castello.
- Modello di velocità per la zona di Città di Castello.
- Sintesi delle conoscenze per la Val D'Agri.

#### *TASK 3. Determinazione delle Leggi di attenuazione del moto del terreno.*

(Responsabile L. Malagnini, INGV – Roma).

Contribuisce a questo task UR1.

- Determinazione delle leggi di attenuazione per Città di Castello.
- Calcolo dei valori di picco (PGA, PGV) per Colfiorito.
- Elaborazione di mappe di pericolosità per l'Umbria.

Questo ultimo punto costituisce un ulteriore argomento di ricerca aggiunto successivamente alla proposizione ed approvazione del progetto in quanto non era previsto nel piano di lavoro iniziale. È stato aggiunto in quanto costituisce un prodotto raggiungibile in questo task.

#### *TASK 4. Validazione di metodologie per il calcolo di sismogrammi sintetici.*

(Responsabile A. Zollo, Università di Napoli).

Contribuiscono a questo task UR1, UR2, UR3, UR4 e UR5.

#### Area di Colfiorito

- Conclusione dei Blind Tests metodologici.
- Elaborazione degli scenari di scuotimento.
- Calcolo di serie temporali di accelerazione e velocità del terreno.
- Confronto tra i diversi metodi ed i dati.

#### *TASK 5. Caratterizzazione degli effetti di sito.*

(Responsabile A. Rovelli, INGV - Roma).

Contribuiscono a questo task UR1 e UR4.

#### Area di Colfiorito

- Definizione delle funzioni di trasferimento per i siti selezionati.

#### Aree Test di Città di Castello e Val D'Agri

- Analisi dei dati della campagna di acquisizione di Città di Castello.
- Elaborazione delle informazioni sulla risposta sismica per l'area di Città di Castello.

Con alcune eccezioni, tutti gli obiettivi del progetto sono stati conseguiti. Le uniche attività non completamente ultimate riguardano il confronto tra i modelli di velocità dedotti dall'analisi dei tempi di arrivo delle onde sismiche con i risultati dalla

rielaborazione delle linee di sismica di esplorazione e la stima dell'attenuazione delle onde sismiche con metodi tomografici. Queste attività saranno completate nel corso del terzo anno assieme ad una revisione generale dello stato delle conoscenze per quel che riguarda l'identificazione delle sorgenti.

## Risultati Scientifici del Progetto

I risultati scientifici del progetto sono presentati in questo rapporto suddivisi per tasks. Una descrizione più dettagliata delle attività è presentata in una serie di Allegati a cui si fa riferimento.

### TASK 1. Caratterizzazione geometrica e meccanica delle sorgenti.

Area di Colfiorito. Elaborazione delle linee di sismica di esplorazione. UR 7 A. Mazzotti. Durante il secondo anno di attività l'UR 7 ha continuato l'analisi e l'elaborazione dei dati sismici a riflessione resi disponibili al progetto. Per i dettagli si consulti l'Allegato T1.A. In particolare:

1) È stata terminata la rielaborazione della linea MC347, iniziata durante il primo anno del progetto, ed anche della linea MC357; è stata quindi ultimata la rielaborazione dei tre profili scelti nell'area di Colfiorito. Sebbene i dati originali mostrassero caratteristiche simili, in particolare un basso rapporto segnale/rumore, è stato necessario adattare la sequenza di elaborazione ai problemi specifici di ciascuna linea per ottenere miglioramenti significativi nella qualità dell'immagine sismica finale. Inoltre, poiché è stato ritenuto necessario ottenere immagini di alta qualità sia per tempi relativi a strati superficiali sia per tempi corrispondenti a riflessioni più profonde, l'analisi e l'elaborazione dei dati adottate hanno seguito due differenti approcci con differenti algoritmi e scelta dei parametri, ciascuno con l'obiettivo di ottimizzare il risultato finale nella propria finestra temporale. Questa strategia ha richiesto un duplice sforzo, ma ha condotto ad un significativo miglioramento delle immagini finali che mostrano ora chiaramente le strutture in sottosuperficie, in alcuni casi con dettagli eccellenti (Allegato T1.A).

2) Utilizzando il profilo MC347 è stato stimato il campo di velocità delle onde P fino ad una profondità di 4 s, corrispondente a circa 10 km. Questo è stato possibile integrando i risultati derivanti dagli strumenti di analisi di velocità utilizzati in sismica, come l'analisi di velocità di stack, l'analisi di velocità attraverso la migrazione tempi e la PSDM focusing analysis, con i dati di pozzo e le informazioni geologiche disponibili (Allegato T1.A).

3) Sulla base del campo di velocità stimato in 2), la linea MC347 è stata migrata in profondità utilizzando l'algoritmo di Kirchoff. Gli sforzi compiuti per migrare in profondità i dati prestack non hanno finora prodotto risultati utili a causa del rapporto S/N molto basso, mentre la sezione in profondità ottenuta mostra interessanti correlazioni con gli eventi sismologici. Come esercizio, gli ipocentri vicini alla linea e con magnitudo alta, presi da Amato et al. (1998), sono stati proiettati su questa sezione. Sebbene gli ipocentri siano stati localizzati facendo uso di un campo di velocità diverso, derivato in modo indipendente rispetto alla sismica e probabilmente più semplice rispetto a quello stimato con la sismica e la geologia, si nota un posizionamento per gli ipocentri che giace vicino alle principali strutture evidenziate nella sezione sismica in profondità (Allegato T1.A). Riteniamo che questo aspetto sia da sviluppare ulteriormente, quindi, nel terzo anno, pensiamo di estendere la stima

del modello di velocità alle altre due linee (PG308, MC357) allo scopo di ottenere un campo di velocità quasi 3D. Questo potrebbe così essere utilizzato sia per ottenere immagini in profondità dei dati di sismica a riflessione, sia per rilocalizzare gli ipocentri, sia per rifinire le determinazioni dei meccanismi focali. Sarà interessante verificare il miglioramento della corrispondenza tra la localizzazione degli ipocentri e la geometria delle strutture evidenziata dalla sismica.

#### **Risultati da ulteriori indagini geofisiche. UR 3 A. Siniscalchi.**

**Acquisizione dati:** In corrispondenza delle emergenze delle principali faglie sono state effettuate 3 tomografie geoelettriche con la configurazione dipolo-dipolo. Nel dettaglio, nell'area epicentrale del 1997 sono state eseguite: (i) una tomografia geoelettrica multiscala diretta perpendicolarmente al segmento di faglia Annifo-Cesi, attraverso la Palude di Colfiorito (sono state utilizzate 2 diverse spaziature elettrode, una di 20m e l'altra di 60m); (ii) 2 tomografie geoelettriche dirette sub-perpendicolarmente al segmento di faglia M. Pennino – M. Prefoglio. In particolare, una è stata eseguita in corrispondenza di M. Faeto e l'altra in corrispondenza di M. Prefoglio (per entrambi i profili è stata utilizzata una spaziatura elettrode di 60m). I dati sperimentali sono stati sottoposti ad inversione da cui è stato ottenuto un modello 2D che fornisce una ricostruzione accurata del sottosuolo fino a circa 200m. I risultati di queste analisi sono descritti in dettaglio nell'Allegato T1.B.

Queste tomografie geoelettriche costituiranno il vincolo essenziale per l'inversione dei dati magnetotellurici a profilo continuo che sono in fase di raccolta.

**Revisione Critica dei Risultati (UR1).** Il riprocessamento delle linee sismiche a riflessione, in questo caso delle linee PG-308, MC-347 ed MC-357, è certamente un metodo valido per una migliore ricostruzione delle geometrie delle faglie in profondità (un esempio è nell'allegato T1.C). L'interpretazione definitiva è stata effettuata per la linea PG-308, congiuntamente all'analisi della sequenza sismica attivata nell'aprile 1998 a Gualdo Tadino, ed è stata avviata l'interpretazione finale della MC-347 e MC-357. Con questa metodologia si è avuta la conferma della geometria delle sorgenti attivate nel 1997. Nel corso dell'ultimo anno di attività saranno rivisitate tutte le informazioni ri-elaborate al fine di costruire un modello sinottico delle sorgenti potenzialmente sismogenetiche nell'area di Colfiorito.

**Aree di Città di Castello e Val D'Agri (UR1).** Per l'area di Città di Castello sono proposte come sorgenti di progetto due strutture sismogenetiche. Le ricerche effettuate hanno contribuito alla definizione della faglia Alta Tiberina (ATF) come una faglia sismogenetica d'importanza regionale capace di generare microsismicità, ma anche eventi di moderata entità ( $M_d=4.3$  sequenza 2001). Le caratteristiche geometriche dell'ATF sono state evidenziate dall'interpretazione della sismica a riflessione AGIP, in collaborazione anche con l'Università di Perugia. La sorgente preliminare che si propone per ATF (Allegato T1.C) è compresa tra il CROP03 e l'area dove si è attivata la sequenza 2001, con una direzione variabile tra NNW-SSE e WNW-ESE, un dip di circa  $20^\circ$  per un'estensione di circa 15 km. Il top dell'ATF risulta in alcuni tratti prossimo alla superficie mentre in altri la raggiunge. Per analogia con l'area meridionale, si presuppone l'esistenza di una faglia sismogenetica Wimmergente: in questa fase di studio, però, non siamo ancora in grado di fornire i reali parametri geometrici e cinematici. Possiamo solo ipotizzare una struttura NW-SE (N130-160) con dip compreso tra  $40^\circ$  e  $60^\circ$  W immergente a

cinematica distensiva. La lunghezza della probabile struttura è ipotizzata tra 10 e 15 km e ubicata in posizione più interna rispetto al bacino, senza arrivare in superficie. Sono state visionate diverse linee sismiche passanti per la Val d'Agri (Allegato T1.C), le due più significative mostrano una faglia principale posta sul lato orientale del bacino SW immergente responsabile della strutturazione primaria del bacino stesso, e faglie, sul lato opposto, secondarie NE immergenti che mostrano un rigetto trascurabile. La faglia principale SW immergente si può seguire fino a circa 0.6 s TWT con una pendenza calcolata di circa 50°, a profondità maggiori tende a divenire più piatta. Dai dati analizzati finora non si può definire se le faglie riconosciute sui profili sono oggi ancora attive e in grado di generare terremoti, ma ai fini di una modellazione geometrica della struttura queste informazioni allo stato attuale delle nostre conoscenze risultano preziose ed in molti casi uniche. In particolare, per l'evento del 1857 non esiste un consenso generale riguardo alla struttura sismogenetica responsabile. Ci sono due ipotesi alternative (Benedetti et al., 1998; Valensise and Pantosti (2001), a cui noi facciamo riferimento: una faglia distensiva immergente a SW posta sul lato orientale del bacino o una faglia distensiva immergente a NE posta sul lato occidentale. In entrambe le aree di studio, l'interpretazione di nuove linee sismiche a riflessione e l'analisi di nuovi dati permetterà una definizione migliore delle strutture.

*TASK 2. Caratterizzazione della struttura crostale.*

### **Modelli di Velocità. UR2 (Alberto Michellini) e UR1 (Claudio Chiarabba)**

*1. Aree training di Gualdo Tadino, Colfiorito, Norcia:*

*1.1 struttura crostale, modelli 1-D per Colfiorito.* E' stato applicato anche a questo set di dati la tecnica di ricerca della struttura di velocità utilizzando l'algoritmo genetico di cui sopra. Sono stati individuati un totale di 522 terremoti per circa 12700 fasi P e 12200 fasi S. Questo set di dati include tutte le stazioni che hanno operato simultaneamente (INGV+GNDT) nella sequenza del 1997 a Colfiorito. I risultati ottenuti indicano la difficoltà di discernere strutture crostali 1-D univoche allorché si utilizzano dati raccolti in aree, come per Colfiorito, contraddistinte da rilevanti eterogeneità laterali del modello di velocità (P e S). Inoltre, poiché detti modelli monodimensionali di velocità sono richiesti per il calcolo di sismogrammi sintetici completi al fine di effettuare scenari di scuotimento (si veda Task 4), ne segue che la loro inerente non univocità contribuisce ad ulteriore indeterminatezza nel calcolo di realistiche mappe di scuotimento (*allegato T2.A*). Questo richiede e motiva l'utilizzo congiunto di dati sismologici ed informazioni provenienti da dati di sismica di esplorazione (si veda Task 1).

*1.2 Analisi delle forme d'onda dei terremoti registrati, arrivi delle onde P e S, localizzazione del terremoto e meccanismi focali e struttura 3-D.* E' stato risolto un modello 3-D dei primi chilometri crostali dell'area di Colfiorito con spaziatura di 2 km in x e y e 1 km in z. Le distribuzioni delle anomalie di  $V_p$  e  $V_p/V_s$  indicano forti eterogeneità del mezzo e mostrano i principali elementi tettonici del substrato. In particolare la struttura è costituita da diverse unità coinvolte in thrust est-vergenti. Le faglie normali si sviluppano principalmente dietro ai piani di thrust a bassa inclinazione. Sono state inoltre applicate tecniche di cross-correlazione delle forme d'onda e di rilocalizzazione relativa (usando il software hypoDD) per aumentare la risoluzione della geometria delle faglie in profondità. La distribuzione di circa 1500

terremoti fornisce immagini del sistema di faglie nella zona con errori inferiori a 50 m. Questo studio di dettaglio conferma il modello di sorgente proposto ed utilizzato nel Task 4.

1.3 *Inversione 3-D di  $Q_p$  e  $Q_s$  per l'area "training" di Colfiorito.* Durante il secondo anno del progetto non è stata ancora svolta alcuna attività in questo campo di studio.

2. *Esperimento di Città di Castello:*

2.1 *Processamento e l'analisi dati acquisiti.* Sono stati individuati un totale di 2472 terremoti per circa 26500 fasi P e circa 24000 fasi S. Il numero di terremoti è risultato almeno 4 volte maggiore di quanto stimato ad inizio esperimento. È stata svolta una verifica dell'accuratezza delle letture delle fasi P e S utilizzando una procedura simile a quella di Wadati che si basa sulla corrispondenza nelle differenze dei tempi osservati tra fasi P e S (*allegato T2.B*).

2.2 *Primi risultati di localizzazioni e struttura crostale, modelli 1D e 3D. **Struttura 1D:*** Si è effettuata un'inversione per il modello di velocità 1-D utilizzando un metodo di ricerca globale che si avvale dell'algoritmo genetico come driver di ricerca non lineare e del programma standard HYPOELLIPSE per la parte diretta. È stato individuato un set di modelli che permettono di ottenere *rms* di localizzazione medi piuttosto bassi (0.13 s) se si considerano il numero di stazioni utilizzate e l'estensione dell'area. I risultati indicano in generale una struttura caratterizzata da un rilevante incremento delle velocità vicino alla superficie non rappresentabile con strutture con un numero arbitrario di strati (*allegato T2.B*). *Rilocalizzazione degli eventi con tecnica delle doppie-differenze:* I terremoti registrati durante l'esperimento sono stati localizzati sia con metodi standard che utilizzando il metodo delle doppie differenze. Per quest'ultima analisi, le letture delle fasi sono state ripetute utilizzando il metodo delle cross-correlazioni. I risultati finora ottenuti indicherebbero allineamenti di eventi altrimenti non risolvibili con le tecniche standard (vedi Figura 1). **Struttura 3-D:** Per il modello 3-D, sono state effettuate delle inversioni preliminari con la tecnica, variante di Thurber (1983), proposta da Michelini e McEvelly (1991). I risultati preliminari evidenziano una generale corrispondenza tra le strutture geologiche di superficie e quelle individuate in profondità (*allegato T2.B*).

2.3 *Struttura di attenuazione  $Q_p$ ,  $Q_s$ .* Sono stati calcolati i valori di  $t^*$  dai sismogrammi dei terremoti per l'inversione per la struttura di attenuazione. I risultati saranno completati e presentati durante il terzo anno di attività.

*TASK 3. Determinazione delle leggi di attenuazione.*

**UR1. Luca Malagnini.**

Scopi di questo Task per il secondo anno del progetto sono: i) la quantificazione delle relazioni di attenuazione del ground motion nella regione circostante Città di Castello, ii) il calcolo dei valori di picco (PGA, PGV) ai siti che hanno registrato i forti scuotimenti del terreno in occasione dei mainshocks della sequenza del 1997-98, utilizzando le leggi di attenuazione regionale di Malagnini e Herrmann (2000), iii) una mappa di pericolosità sismica della regione Umbria; questo ultimo obiettivo non fa parte del progetto originale, ma è stato aggiunto in corso d'opera, visto che i risultati ottenuti per il Task 3 lo permettevano. Considerato che le caratteristiche della propagazione crostale non cambiano all'aumentare della magnitudo, e che registrazioni strong-motion sono effettuate molto di rado, abbiamo utilizzato la gran

mole di registrazioni weak-motion che proviene dal monitoraggio della sismicità di fondo per quantificare le leggi di attenuazione per il ground motion a scala regionale.

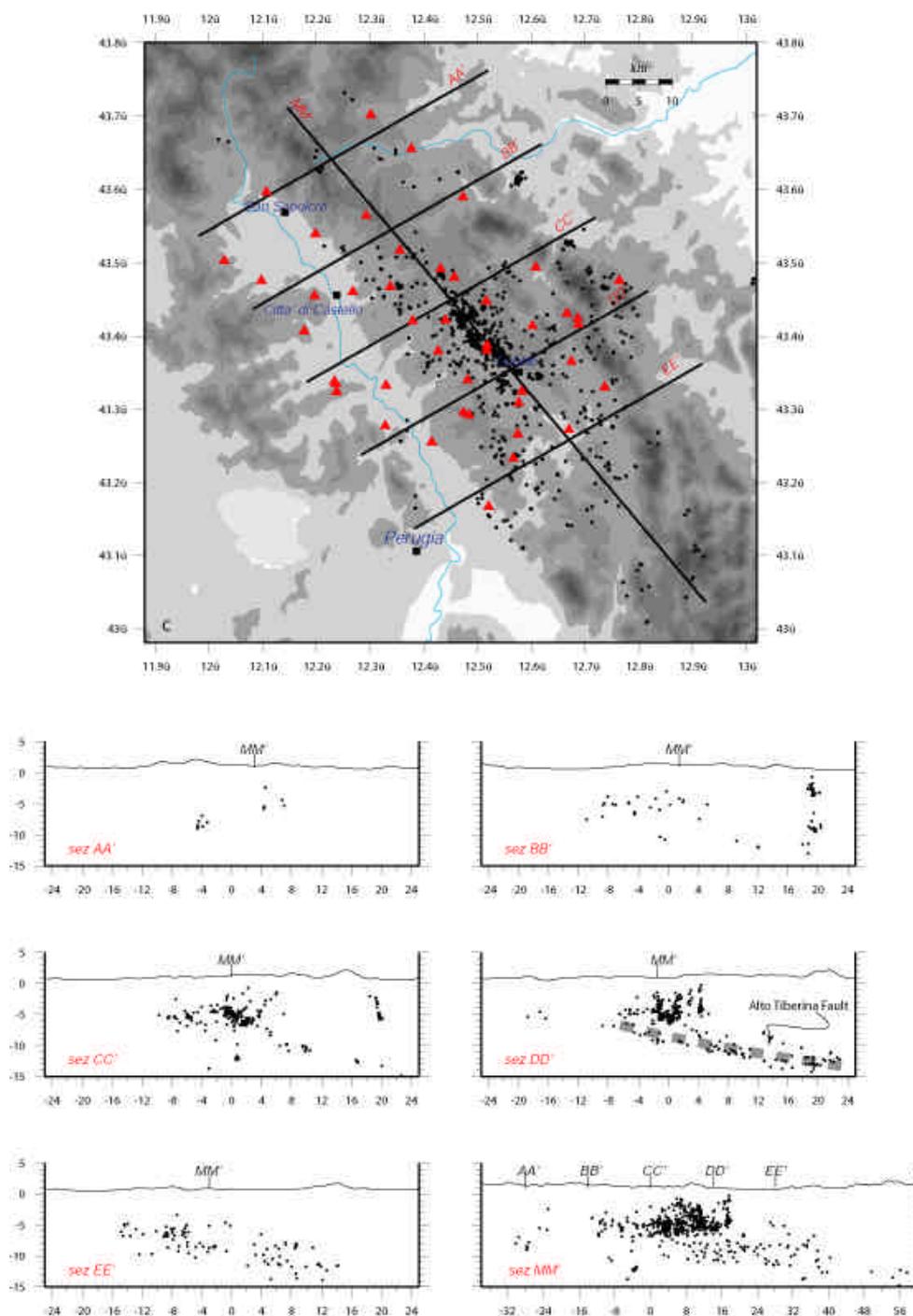


Figura 1. Distribuzione degli ipocentri dei terremoti registrati durante l'esperimento d'acquisizione nella zona di Città di Castello. Questi dati originali hanno permesso di individuare la geometria della Faglia Alto Tiberina. I dati acquisiti sono stati utilizzati nel progetto per effettuare localizzazioni di precisione mediante tecniche moderne come le doppie-differenze (Task 1 e 2), per determinare la struttura crostale dell'area (Task 2), per vincolare le leggi di attenuazione del moto del suolo (Task 3) e per caratterizzare la risposta sismica locale (Task 5).

Le regressioni sono state eseguite su un data set molto importante di registrazioni weak-motion, sia sui valori di picco delle forme d'onda filtrate passabanda, sia sulle ampiezze di Fourier (vedi Malagnini et al., 2000, 2002 per i dettagli tecnici dei metodi). I logaritmi dei valori di picco osservati sulle forme d'onda filtrate possono essere scritti nel seguente modo:  $PEAK(r,f)=EXC(f)+D(r,f)+SITE(f)$ , dove  $PEAK(r,f)=\text{Log}(\text{peak}(r,f))$ ,  $EXC(f)$  è un termine di eccitazione (sorgente),  $SITE(f)$  rappresenta il comportamento del sito, e  $D(r,f)$  è l'attenuazione crostale regionale. Insieme ai valori di picco ed alle ampiezze di Fourier viene quantificata, in tutte le bande di frequenza, la durata dello scuotimento significativo in funzione della distanza ipocentrale. Quest'ultima informazione è utilizzata, attraverso lo strumento della Random Vibration Theory (RVT) per modellare i valori di picco in funzione di frequenza e distanza ipocentrale, ovvero per ottenere stime di PGA, PGV, PSA. Tutte le quantità appena descritte possono essere utilizzate per la produzione di mappe di pericolosità sismica in cui si tenga conto delle caratteristiche regionali della propagazione che determinano il ground motion. La modellazione dei risultati delle regressioni fornisce un funzionale di attenuazione crostale, oltre a informazioni relative alla radiazione di alta frequenza ed all'attenuazione superficiale ( $\kappa$ ). Tutte queste quantità potranno essere utilizzate per la produzione di mappe di hazard regionale di moderna concezione. Per quanto riguarda il data set, per il momento abbiamo selezionato 521 eventi, per un totale di 8079 forme d'onda, registrati nella regione di Città di Castello. L'intero data set disponibile è di circa 2000 eventi e 60000 forme d'onda. La figura 2a mostra l'attenuazione regionale ottenuta, con l'indicazione dei parametri ricavati dalla modellazione delle curve empiriche. La linea tratteggiata orizzontale rappresenta un decadimento con la distanza pari a  $1/r$ . Una stima stabile del parametro di attenuazione superficiale non è stata ancora ottenuta. La regione in studio mostra differenze in apparenza rilevanti con la regione della sequenza dell'Umbria-Marche (1997-98), con una dipendenza del parametro  $Q(f)$  dalla frequenza più forte ( $Q(f)=130 f^{0.1}$  per il resto dell'Appennino e per la regione di Colfiorito,  $Q(f)=65 f^{0.63}$  per Città di Castello). In realtà, quando il parametro  $\kappa$  sarà disponibile anche per Città di Castello, ci aspettiamo che i due modelli di attenuazione forniscano risultati equivalenti in termini di attenuazione totale. Le differenti distanze coperte dai data sets dell'Appennino Centrale determinano differenti tradeoffs tra  $Q_0$  e  $g(r)$  e quindi differenti modelli di attenuazione apparente. Per quanto riguarda la più forte dipendenza dalla frequenza della funzione  $Q(f)$ , essa rappresenta una differenza "vera" tra la regione di Città di Castello e l'intero Appennino. La figura 2b mostra i picchi di accelerazione (sinistra) e velocità (destra) osservati durante il terremoto del 6/5/1997 ( $M_w=5.9$ ), confrontati alle stime ottenute utilizzando i risultati di Malagnini e Herrmann (2000). La figura 2c, infine, mostra mappe di pericolosità sismica probabilistica, in termini di PGA, ottenute utilizzando l'attenuazione di Malagnini e Herrmann (2000), il database delle faglie attive di Valensise e Pantosti (2001), per siti BC. È stato utilizzato un albero logico che prevedeva il 50% di probabilità da assegnare ad un modello di terremoto caratteristico, ed il 50% da assegnare al comportamento tipo Gutenberg-Richter.

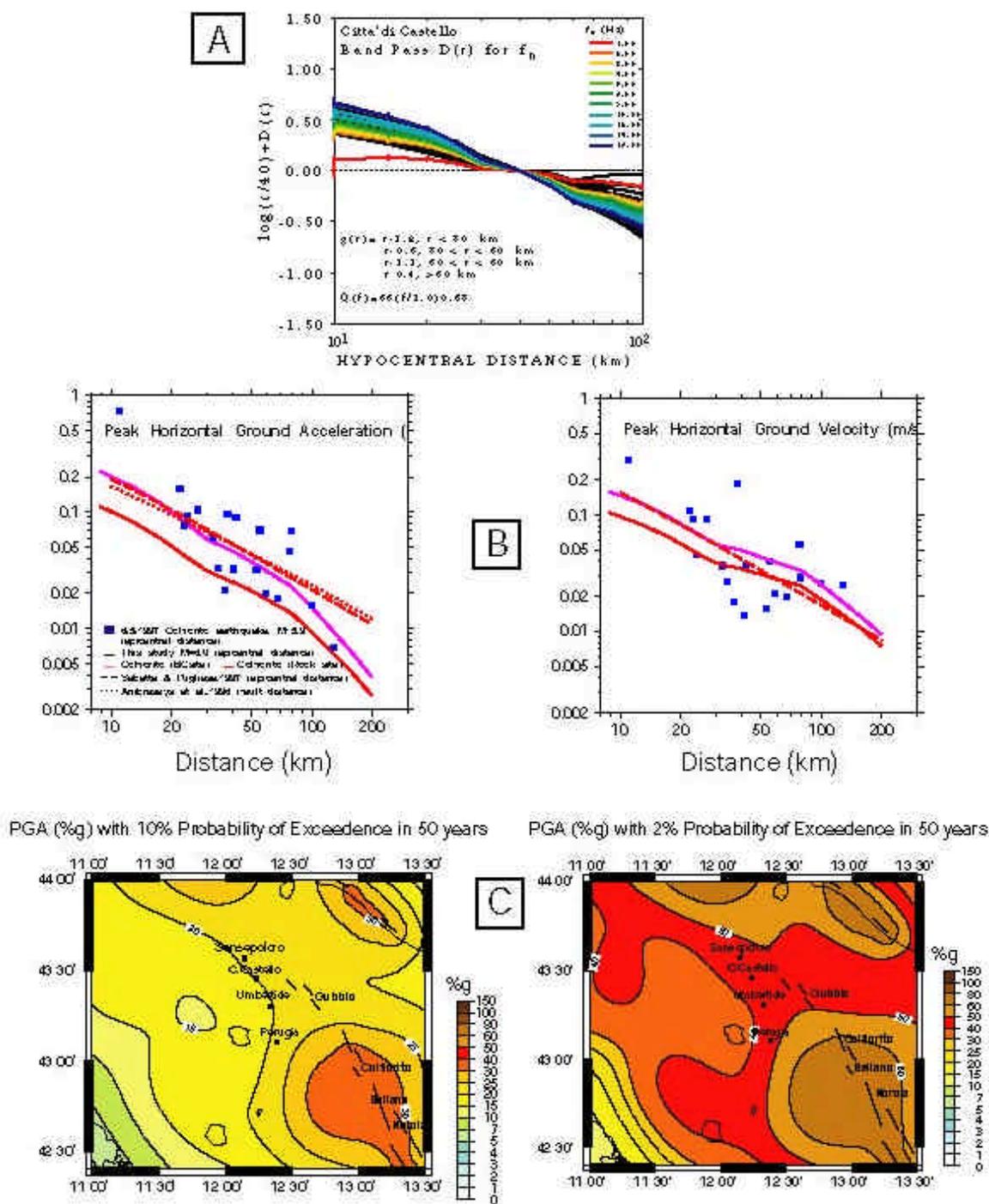


Figura 2. a) Attenuazione crostale empirica per la regione di Città di Castello (Appennino Centrale), con l'indicazione dei parametri utilizzati per il fit teorico. b) picchi del ground motion osservati durante l'evento del 6/5/1997 ( $M_w=5.9$ ; sinistra: accelerazione; destra: velocità), a confronto con: i) stime basate sui risultati di Malagnini e Herrmann (2000), ii) le curve empiriche di Sabetta e Pugliese (1996) e di Ambraseys et al. (1996). c): mappe di pericolosità per la regione Umbria ottenute utilizzando l'attenuazione di Malagnini et al. (2000), il database delle faglie attive di Valensise e Pantosti (2001), per siti BC. E' stato utilizzato un albero logico che prevedeva il 50% di probabilità da assegnare ad un modello di terremoto caratteristico, ed il 50% da assegnare al comportamento tipo Gutenberg-Richter. (sinistra: PGA, 10% di eccedenza in 50 anni, destra: PGA, 2% di eccedenza in 50 anni).

*TASK4. Validazione di metodologie per il calcolo dei sismogrammi sintetici*  
UR1, UR2, UR3, UR4, UR5.

Questo macro-obiettivo comprende studi di carattere metodologico ed applicativo finalizzati alla predizione del movimento forte del suolo considerando modelli realistici di frattura sismica e di propagazione. Per la modellistica della sorgente sismica sono adottate ed implementate tecniche numeriche che considerano fratture eterogenee. L'effetto di propagazione è valutato attraverso metodi asintotici e di calcolo del campo completo in mezzi 1-D/3-D. Nel secondo anno l'attività principale è stata indirizzata al completamento dei test di simulazione di movimenti forti del suolo nell'area training di Colfiorito secondo due obiettivi principali: 1) simulazione del moto forte del suolo prodotto da una sorgente estesa (caso deterministico, si veda l'Allegato T4.A) e comparazione con parametri strong motion desunti da dati osservati; 2) realizzazione di scenari statistico-deterministici (in termini di parametri strong motion) per l'area di training (Allegato T4.B). Nel contempo è proseguita l'attività di sviluppo metodologico che ha riguardato lo sviluppo, la sperimentazione e la validazione dei diversi metodi di simulazione full wave, asintotici e basati sulle funzioni di Green empiriche.

RISULTATI. Nel primo anno le UR hanno condotto un'attività di sviluppo metodologico e d'applicazione all'area training di Colfiorito interessata dalla sequenza sismica del 1997. In particolare il problema del confronto quantitativo dei sismogrammi sintetici calcolati con diversi metodi numerici è stato affrontato mediante la realizzazione di una serie di test di comparazione di forme d'onda e spettri calcolati per una dimensione, geometria e meccanismo di sorgente che riproduce il caso del terremoto principale della sequenza di Colfiorito (Blind Test, si veda l'Allegato T4.A). Sono stati confrontati i seguenti metodi: stocastico-deterministico (DSM, asintotico), asintotico (ASM), wave number integration (WIM, campo completo), somma modale (MSM, campo completo). I risultati sono descritti in dettaglio nell'Allegato T4.A. Nel secondo anno l'attività di test metodologici nell'area training ha riguardato:

1) Calcolo dei sismogrammi sintetici e confronto dei parametri strong motion relativi al main shock della sequenza sismica di Colfiorito. Questo test è stato eseguito per verificare la capacità di ciascun metodo di simulazione a riprodurre le registrazioni del terremoto di Colfiorito ( $M_w=6$ ), del 26 Settembre, 09:40 GMT. I due modelli di sorgente utilizzati sono stati ottenuti l'uno mediante la modellazione di dati strong motion (Zollo et al., 1999), l'altro dall'inversione di dati geodetici (Salvi et al., 2000). Alle UR che partecipano all'attività del Task 4 è stato richiesto di calcolare le serie temporali dell'accelerazione del suolo, velocità e spostamento per ciascun modello di sorgente ad una griglia regolare di 64 ricevitori ed a 8 stazioni sparse distribuiti su di un'area di circa 60x60 km<sup>2</sup> intorno alla faglia di Colfiorito. La frequenza massima dei segnali sintetici calcolati è stata fissata a 5 Hz (si veda l'Allegato T4.A). I risultati ottenuti per i diversi metodi di simulazione (e per i due modelli di sorgente) sono stati confrontati utilizzando valori di picco ed alcune quantità integrali (intensità di Arias ed Housner, durata...). Per quanto riguarda l'approccio mediante la teoria asintotica, i due metodi (ASM e DSM) forniscono distribuzioni spaziali simili dei parametri di picco del moto del suolo (PGA, PGV e PGD) e prevedono effetti di direttività significativi. Le durate degli accelerogrammi sono anch'esse comparabili, sebbene il metodo stocastico DSM predice segnali più complessi, a causa della presenza di una

componente random dello spettro di fase. In generale, i sismogrammi calcolati mediante i metodi asintotici mostrano durate più brevi che quelle calcolate dai metodi di campo completo. Ciò si spiega con il fatto che questi ultimi includono arrivi di onde primarie, secondarie, onde di superficie ad alta frequenza e riverberazioni.

I sismogrammi calcolati mediante i metodi di campo completo, dipendono dal modello di velocità in modo più critico rispetto a quelli calcolati nell'approssimazione asintotica. Ciò si traduce in una sostanziale differenza tra le distribuzioni spaziali dei parametri di picco del moto del suolo, anche per lo stesso modello di sorgente.

La comparazione dei sintetici con le registrazioni dell'evento di Colfiorito presenta: (i) forme spettrali consistenti alle basse frequenze ( $f < 3\text{Hz}$ ); (ii) un effetto di amplificazione delle alte frequenze, probabilmente legata al sito nelle registrazioni reali che non è predetta dai sismogrammi sintetici; (iii) un ragionevole accordo tra i valori osservati e predetti dei parametri di picco del moto del suolo (entro un fattore massimo di 3). Inoltre i sintetici calcolati per il modello geodetico, presentano livelli maggiori di ampiezze del moto del suolo rispetto a quelle del modello accelerometrico (di circa il 30%). Ciò indica chiaramente che il modello di sorgente influenza in modo determinante i valori predetti del moto del suolo. Maggiori dettagli circa queste attività di ricerca possono essere trovati negli allegati T4.C, T4.D, T4.E e T4.F.

2) Costruzione di scenari di scuotimento: confronto tra i vari metodi e confronto con i dati registrati. Scopo del test è quello di produrre un confronto quantitativo tra gli scenari di terremoto risultanti dalla simulazione del movimento forte del suolo con diverse metodologie. Il terremoto di riferimento è quello principale della sequenza di Colfiorito ( $M_w=6.0$ ), del 26 Settembre 1997. La geometria della faglia, il meccanismo di dislocazione ed il modello di velocità sono parametri fissati nel test. La variabilità del moto simulato è associata ai parametri della rottura, la posizione del punto di nucleazione, la distribuzione di dislocazione finale e di velocità della rottura. Questa ultima è considerata variabile in un intervallo pari a  $0.75-0.95 V_s$ , con  $V_s$  la velocità delle onde di taglio. La massima frequenza simulata è 10 Hz. Allo scopo di verificare gli effetti di direttività associati con la propagazione della rottura, i risultati delle simulazioni sono raggruppati in tre famiglie ciascuna delle quali è ottenuta variando la posizione del punto di nucleazione in sub-aree della faglia. Per ciascuna famiglia di scenari di frattura, è effettuata un'analisi statistica per valutare la variabilità attesa dei parametri strong motion. La costruzione degli scenari di scuotimento calcolati ed il loro confronto sono in fase di conclusiva: sono stati calcolati tutti i sismogrammi ed è in corso di completamento la statistica ed il confronto dei risultati. I risultati preliminari indicano che l'ampiezza del moto del suolo dipende criticamente dal valore di velocità di rottura. Nell'ambito delle simulazioni effettuate con i metodi asintotici si evidenzia una variazione di un fattore circa 3 nei valori di picco nell'intervallo esplorato di velocità di rottura. Sempre per quanto riguarda i metodi asintotici, il confronto dei sintetici con i valori osservati del moto del suolo alle stazioni accelerometriche che hanno registrato il terremoto di Colfiorito, mostra delle discrepanze, che possono essere attribuite ad effetti di amplificazione locale non presi in conto nella simulazione. Una dettagliata presentazione dei risultati è descritta negli Allegati T4.B e T4.F.

3) Validazione dei metodi di simulazione full wave. Sono stati valutati i seguenti metodi: a) EXWIM (UR2), basato su Wavenumber Integration Method di Herrmann

(1996); b) due diversi metodi di somma modale, rispettivamente MSM (UR5) di Panza et al. (1985) ed EXMSM (UR2) basato sul modale di Herrmann (1996); c) COMPSYN di Spudich e Xu (2002) basato sul Discrete Wavenumber-Finite Element Method Olson et al. (1984) (UR2). I test effettuati con sorgente puntuale e sorgente estesa (si veda Allegato T4.E) hanno mostrato che i tre metodi forniscono risultati equivalenti (ovvero, con differenze trascurabili) se utilizzati all'interno del proprio campo di applicabilità e con discretizzazione della sorgente estesa identica. Esistono tuttavia delle sostanziali differenze che rendono un metodo preferibile all'altro in relazione al tipo di problema da affrontare. Il metodo modale calcola i sismogrammi sintetici in modo formalmente corretto solo a distanze superiori alla profondità sorgente. Le differenze riscontrate per la sorgente puntuale sussistono ed anzi diventano critiche con le simulazioni di sorgente estesa per studi di scenario, dove le condizioni critiche vengono facilmente raggiunte e risulta difficile effettuare un controllo a posteriori sull'attendibilità della soluzione. Dal punto di vista computazionale, il metodo modale è molto più efficiente di quello basato sull'integrazione dei numeri d'onda, ed è quindi preferibile per il calcolo ad una certa distanza dalla sorgente. I metodi basati sull'integrazione dei numeri d'onda, COMPSYN ed EXWIM, adottano descrizioni simili della rottura lungo la faglia estesa e producono risultati equivalenti. COMPSYN è molto efficiente perché sfrutta il teorema di reciprocità, tuttavia non tratta l'attenuazione, e questo comporta la necessità di dover adottare correttivi per ricevitori distanti. Per quel che riguarda lo sviluppo metodologico, EXWIM è stato migliorato sia per l'efficienza computazionale, introducendo una tecnica di interpolazione della sorgente, che per il calcolo in alta frequenza, introducendo una ibridizzazione stocastica. È stato completato lo sviluppo metodologico di base del metodo pseudo-spettroale 3-D staggered di Fourier. È stata migliorata l'efficienza di calcolo per numerose sorgenti (propedeutica all'applicazione per simulazioni di sorgente estesa e alla costruzione di scenari) sfruttando il principio di reciprocità. Inoltre, è stata sviluppata una procedura di creazione del modello 3-D e del magliaggio regolare attraverso il software Gocad<sup>®</sup>.

4) Tecniche di simulazione basate sulle funzioni di Green empiriche, (L. Scognamiglio). È stato implementato il metodo di calcolo, proposto e sviluppato da Hutchings e Wu (1990), che utilizza le funzioni di Green empiriche (empirical Green's function, EGF) per simulare sismogrammi sintetici e per applicarlo al terremoto di Colfiorito. A partire dai dati esistenti in letteratura, abbiamo definito la geometria ed un intervallo di parametri di rottura possibili per la faglia dell'evento del 26/09/97, identificando un numero di possibili modelli di sorgente (descritto nell'Allegato T4.A). Per ogni modello abbiamo quindi calcolato sismogrammi sintetici, utilizzando, come EGF, 33 aftershocks dell'evento registrati a stazioni vicine. Abbiamo utilizzato il programma HAZARD (Hutchings, 2002) per scegliere a caso i parametri di sorgente, e il programma EMPSYN (Hutchings, 1991) per calcolare i sismogrammi sintetici con le EGF. Abbiamo deciso di quantificare l'accordo tra il dato osservato e quello simulato confrontandoli sulla base dello spettro di risposta in velocità (PSV). Abbiamo poi identificato il sismogramma sintetico relativo al miglior modello di sorgente usando come criterio l'Intensità di Housner. I risultati sono descritti in dettaglio nell'Allegato T4.G.

COMMENTI GENERALI. La sperimentazione attraverso test di simulazione sull'area di training di Colfiorito ha messo in evidenza una serie di problematiche a cui bisogna

far fronte in caso di applicazione di queste metodologie agli studi di scenario nelle aree test:

1. Modelli di velocità. Anche assumendo modelli stratificati 1D per simulare la propagazione a scala crostale, le forme d'onda ed i parametri strong motion sono influenzati (in maniera critica per i metodi campo completo) dalla profondità delle discontinuità e dai relativi contrasti di impedenza. Nel caso particolare di Colfiorito, la re-interpretazione tomografica dei dati effettuata nel Task 2 ha fornito una famiglia altamente eterogenea di strutture 1-D equivalenti, delineando una generale incertezza nella definizione del modello. Ai fini della valutazione del moto forte, si sottolinea che è opportuno indirizzare l'attenzione verso quelle soluzioni in grado di massimizzare lo scuotimento. Se esistono discontinuità verticali nella struttura di velocità della crosta superiore (come è verosimile in area Appenninica), queste sono capaci di generare fenomeni di riflessione e conversione di onde con ampiezza rilevante nelle registrazioni sismiche. E' quindi di primaria importanza che le discontinuità sismiche nel modello di velocità che viene adottato per le simulazioni siano verificate attraverso dati di varia natura, ivi inclusi i dati di prospezione sismica e/o di pozzo eventualmente disponibili.

2. Modelli di sorgente. I parametri deterministici di faglia (dimensioni e geometria del piano di faglia, meccanismo di scivolamento e momento sismico atteso) vanno definiti nel modo più accurato e, per ciascuno di essi, va fornito un intervallo di variabilità atteso che deve intervenire nella simulazione di scenario. Nel caso (fortunato) di Colfiorito, per il quale erano disponibili due diversi modelli di sorgente, i risultati delle simulazioni hanno mostrato significative differenze.

3. Effetti di sito. Sia dalla comparazione con i dati disponibili che da informazioni di letteratura, si evince la necessità di includere, negli studi di scenario, l'effetto di uno strato superficiale, di spessore tipico per l'area (ad esempio, per Colfiorito pari a 250m), che permette di simulare in maniera approssimata l'amplificazione/attenuazione al sito. Questo può avvenire anche mediante la convoluzione dei segnali simulati su roccia per la risposta impulsiva dello strato superficiale calcolata in varie situazioni geologiche tipiche dell'area in esame. Sarebbe auspicabile introdurre negli studi di scenario anche la variabilità spaziale delle condizioni di sito.

#### *TASK5. Caratterizzazione degli effetti di sito.*

UR1- UR4

Metodi di indagine e dati analizzati:

1) Per stimare l'amplificazione al sito delle stazioni accelerometriche che hanno registrato la scossa del 26 settembre 1997 alle ore 09:40 si sono utilizzati i dati strong-motion e weak-motion registrati ad ogni stazione durante la sequenza Umbria-Marche (allegati T5.A e T5.B). Sono state inoltre raccolte tutte le informazioni disponibili sulle condizioni geologiche, geotecniche e topografiche locali (allegato T5.B). Alle registrazioni strumentali sono state applicate due tecniche di stima: la prima consiste in un'inversione che separa il contributo della sorgente dal contributo della propagazione e del sito (Andrews, 1986), la seconda calcola i rapporti spettrali H/V sulle fasi S delle registrazioni a 3 componenti. Queste stime empiriche sono poi state confrontate con funzioni di trasferimento teoriche 1D, con modello lineare (Haskell-Thomson) e lineare-equivalente

(Shake91). In generale si trova un buon accordo tra le diverse forme spettrali; tuttavia, le stime teoriche tendono sempre a sottostimare, anche in misura rilevante, le stime empiriche. I dettagli sono descritti nell'Allegato T5.B.

- 2) A seguito dell'esperimento di Città di Castello, i sismogrammi acquisiti lungo il profilo AA' sono stati utilizzati per stimare i ritardi delle fasi P ed S, e quindi dedurre l'andamento dell'interfaccia bedrock – riempimento sedimentario. Tali stime sono state confrontate con i risultati di una campagna di acquisizione di microtremori a Città di Castello, i cui rapporti spettrali H/V evidenziavano una frequenza di risonanza che tendeva verso frequenze più basse nella zona del profilo con il massimo spessore dei depositi alluvionali (si veda l'Allegato T5.C).

Obiettivi raggiunti e risultati conseguiti:

- 1) Una volta stimato l'effetto locale alle stazioni accelerometriche sia in un approccio teorico che sperimentale, la scelta della funzione di trasferimento ottimale non è un'operazione immediata. Purtroppo le funzioni di trasferimento teoriche, che presentano il vantaggio dell'applicabilità in campo non-lineare per simulazioni di forti terremoti, sottostimano molto l'amplificazione mostrata dalle stime empiriche. Al contrario i rapporti spettrali H/V rappresentano un ottimo compromesso tra il massimo della stima (contributo spettrale del sito dedotto dall'inversione) e il minimo rappresentato dalle funzioni di trasferimento teoriche. Tuttavia, i rapporti spettrali H/V soffrono di una grossa limitazione: non esiste una chiara base teorica che possa consentire di usarli come funzioni di trasferimento, a parte considerazioni puramente empiriche. Alla luce dei risultati ottenuti, per effettuare il confronto con i dati registrati in occasione dell'evento del 26 Settembre 1997 ore 9:40 si propone di non adottare le funzioni di trasferimento ottenute con un unico metodo. Nell'allegato T5.A vengono fornite indicazioni specifiche stazione per stazione.
- 2) Per l'area di Città di Castello sono stati calcolati i rapporti spettrali rispetto ad una stazione di riferimento collocata su un vicino affioramento calcareo (Miocene Medio). L'uso di eventi di bassa magnitudo ( $M < 2$ ) e l'alto rumore delle stazioni in area urbana impediscono l'uso di questa tecnica spettrale a frequenze  $< 1$  Hz. Sfortunatamente, l'applicazione della tecnica di Nakamura ai microtremori misurati nell'area urbana indica che la frequenza di risonanza scende al di sotto di 1 Hz per una gran parte dell'area urbana (T5.C). Per studiare in prima approssimazione l'effetto dei depositi alluvionali della Val Tiberina, si è fatto uso di un modello lineare-equivalente (Shake91) che ha fornito le funzioni di trasferimento 1D in corrispondenza di diversi spessori della copertura alluvionale e di diversi livelli di deformazione (derivanti da variazioni di magnitudo e distanza epicentrale). Queste simulazioni numeriche (Allegato T5.D) hanno messo in evidenza come il ruolo delle sabbie argillose della Val Tiberina, per eventi di forte magnitudo, possa variare significativamente nelle diverse situazioni.

## Prodotti delle Ricerche

Il progetto ha stimolato importanti attività di ricerca finalizzate alla produzione di scenari di scuotimento e mappe di pericolosità nelle aree selezionate. I principali prodotti delle ricerche sono:

1. Linee sismiche interpretate dopo una rielaborazione con moderne metodologie numeriche.

2. Modello della struttura crostale per l'area di Colfiorito, determinazione del grado di eterogeneità, e sua traduzione in modelli fruibili dai modellatori.
3. Sismogrammi e localizzazioni ipocentrali per l'area di Città di Castello ottenute grazie alla campagna di acquisizione svolta nel primo anno di attività.
4. Funzioni di trasferimento e risposta sismica locale per Città di Castello.
5. Leggi di attenuazione per le aree di Colfiorito e Città di Castello dedotte da sismogrammi digitali mediante moderne metodologie numeriche.
6. Indicazioni derivate dai risultati del confronto metodologico tra le diverse procedure numeriche adottate per la previsione del moto del suolo.
7. Scenari di scuotimento per l'area di Colfiorito e confronto con i dati strong motion disponibili.
8. Funzioni di trasferimento per i siti che hanno registrato segnali durante il terremoto di Colfiorito.
9. Mappe di pericolosità a scala regionale per l'Umbria.

## Conclusioni

Nel secondo anno di attività sono stati raggiunti tutti i principali obiettivi previsti nel progetto esecutivo. Alcune ricerche richiedono un completamento che sarà ottenuto durante l'ultimo anno del progetto. Le attività di raccolta dati la loro analisi ed interpretazione per l'area di Colfiorito possono ritenersi concluse. Gli scenari di scuotimento e le mappe di pericolosità sono state calcolate anche se ulteriori ricerche saranno eseguite nel terzo anno. Si tratta ora di riassumere in un quadro sinottico i risultati di tutte le attività svolte nell'area training di Colfiorito. Un ulteriore sforzo è necessario per ottenere una sintesi di tutte le attività. I risultati ottenuti forniranno indicazioni sulle decisioni da prendere per eseguire il calcolo degli scenari di scuotimento nelle aree test. Questi saranno eseguiti durante il terzo anno di attività. Lo stato delle ricerche consente un'immediata applicazione all'area di Città di Castello, mentre nuovi studi sono in corso di svolgimento nella Val D'Agri. La ridotta disponibilità di dati per questa zona richiede, infatti, nuovi studi per giungere all'elaborazione di scenari di scuotimento e mappe di pericolosità.

Il livello delle conoscenze nell'area training di Colfiorito permette l'elaborazione di un modello tridimensionale per l'area, che sarà utilizzato per il calcolo di sismogrammi sintetici finalizzati alla proposizione di scenari di scuotimento in cui la propagazione delle onde sismiche sia riprodotta in modo più accurato. Questo obiettivo non era esplicitamente previsto nel progetto esecutivo, ma è divenuto ora concretamente perseguibile.

Un particolare successo è stato conseguito con la campagna di acquisizione nella zona di Città di Castello, svolta durante il primo anno di attività e finanziata per il 75% con i fondi del progetto. I dati acquisiti hanno permesso di ottenere nuove informazioni sia sulla geometria dei sistemi di faglia attivi sia sulla struttura crostale e sul bacino di Città di Castello. Questi dati hanno permesso l'elaborazione di curve di attenuazione dei valori di picco del moto del suolo calibrate per l'area e consentiranno nel terzo anno di attività di eseguire studi di dettaglio sulla risposta sismica locale e di calcolare attendibili scenari di scuotimento.

I risultati del progetto sono stati conseguiti con un buon coordinamento tra le diverse unità di ricerca che collaborano nei differenti tasks.



## **TRAIANO – Progetto per la Stima e la Riduzione della Vulnerabilità dell’Ambiente Costruito**

Coordinatore: Prof. Edoardo Cosenza

### **Introduzione**

Il progetto ha l’obiettivo di affrontare in maniera multidisciplinare ed innovativa la problematica della valutazione della vulnerabilità dei centri urbani, in modo da integrare tutte le informazioni di tipo geofisico, geologico, geotecnico, strutturale ed urbanistico che concorrono alla definizione degli scenari di danno.

Lo scopo finale del progetto è di fornire ai comuni uno strumento informativo territoriale che sia di supporto alle differenti fasi della gestione della problematica della vulnerabilità, ed il perseguimento di tale scopo è previsto grazie al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- Definizione dell’input sismico atteso sulla base di modelli delle sorgenti sismiche potenzialmente attive e modelli di propagazione a scala regionale e locale; in pratica si fa riferimento ad analisi di scenari, con tre scenari di diversa rilevanza.
- Definizione degli effetti di sito con l’impiego di differenti metodologie, tanto numeriche quanto strumentali, e realizzazione di mappe di microzonazione basate su livelli di attendibilità collegati alla ricchezza della base dati.
- Classificazione del patrimonio edilizio in classi strutturalmente omogenee e definizione di mappe di vulnerabilità del costruito effettuata impiegando tanto metodi semi-quantitativi su classi di edifici, quanto sviluppando analisi di dettaglio di avanguardia scientifica su edifici in cemento armato, muratura e costruzioni archeologiche e monumentali.
- Metodologie innovative di riduzione della vulnerabilità basate su tecniche di trattamento dei terreni o rinforzo strutturale con applicazione di compositi avanzati.
- Costruzione di un sistema informativo territoriale (GIS) integrato con le banche dati disponibili presso gli enti territoriali e dotato di strumenti di calcolo semplificato che implementano i modelli sviluppati.

Si è scelto di fare riferimento, per l’applicazione in forma esemplificativa delle procedure e metodologie sviluppate, al comune di Benevento, opportunamente scelto per la sua collocazione in un’area ad alto potenziale sismogenetico, per le peculiarità morfologiche e stratigrafiche del sito e per la presenza di edifici di rilevanza storica ed archeologica.

Le attività del progetto e la suddivisione delle stesse fra le diverse unità di ricerca (UR) sono organizzate in 8 task (sottoprogetti), per i quali nel seguito è data una sintetica descrizione evidenziando gli obiettivi previsti, quelli conseguiti ed i risultati raggiunti (task 1 e 8 sono accorpati in quanto afferenti alla medesima UR e strettamente connessi nello svolgimento del progetto). L’integrazione delle attività svolte nei singoli task è garantita dal comune obiettivo di produzione di una piattaforma GIS contenente le diverse basi dati ed opportuni algoritmi relazionali fra le stesse per la valutazione della vulnerabilità urbana. Per consentire un adeguato scambio di informazioni e concordanza di intenti fra le diverse UR che lavorano al progetto, inoltre, sono periodicamente organizzate riunioni plenarie e fra sottogruppi

suddivisi in base all'intersezione degli obiettivi dei relativi task [G<sup>2</sup>S (geofisici, geotecnici, strutturisti); G<sup>3</sup> (geologi, geofisici, geotecnici); GU (geologi, urbanisti); G<sup>2</sup> (geotecnici, geofisici); S<sup>3</sup> (strutturisti del c.a., muratura, monumenti)].

**Task 1: Cartografia di riferimento****Task 8: Sistema informativo territoriale per la gestione del rischio****Responsabile: R. Papa****Obiettivi previsti nei tre anni**

primo anno (Task 1)

- O1/1 Definizione della cartografia di base digitalizzata
- O1/2 Raccolta dai disponibili presso le amministrazioni riguardanti il patrimonio insediativo
- O1/3 Collegamento con banche dati a livello comunale
- O1/4 Definizione di possibili metodologie per il rilievo speditivo

terzo anno (Task 8)

- O8/1 Costruzione (implementazione) del GIS
- O8/2 Collegamento alle banche dati ed integrazione al SIT comunale
- O8/3 Rappresentazione di scenari di danno atteso

**Obiettivi raggiunti**

Tutti gli obiettivi previsti per il primo anno sono stati perseguiti ed in particolare per l'O1/1, è stata reperita la cartografia digitale del Comune di Benevento in formato vettoriale restituita su file DWG georeferenziati. Si sono, inoltre, acquisiti i piani particolareggiati Zevi-Rossi (1980) utili per il reperimento di dati riguardanti le caratteristiche del patrimonio edilizio degli ambiti urbani scelti quali aree per la sperimentazione operativa. Tali dati hanno contribuito anche alla definizione dell'O1/2, relativo alla raccolta di dati riguardanti il patrimonio insediativo, per il quale è stata considerata una parcellizzazione territoriale corrispondente alla suddivisione del territorio in sezioni di censimento e sono stati reperiti i relativi dati del censimento ISTAT '91. Tali dati hanno consentito di valutare, per elementi di aggregazione a scala superiore del singolo edificio, anche le epoche di costruzione e le altre caratteristiche del patrimonio edilizio. Per l'O1/3 sono stati avviati contatti con il C.E.D. del comune di Benevento per rendere possibile una integrazione tra la costruenda banca dati geografica del Progetto Traiano e il Sistema Informativo Territoriale comunale in via di implementazione. L'O1/4, relativo alla definizione di possibili metodologie di rilievo speditivo e alla definizione degli standard di strutturazione del GIS, ha pervaso costantemente tutte le altre fasi di lavoro ed è stato caratterizzato dalla costante interazione con le altre unità di ricerca. Sebbene non fossero previsti obiettivi per il secondo anno si è comunque continuato a lavorare alla strutturazione del GIS e per avviare la fase di popolazione dei livelli informativi. Si è operato per la ricostruzione del danno storico e sono in fase di svolgimento le attività di ricerca delle fonti per la determinazione storica del danno sismico. Per gli obiettivi del task 8, è possibile affermare che l'O8/1 è in fase di raggiungimento e gli altri riguarderanno le attività conclusive del progetto

## **Risultati conseguiti**

Il principale risultato è riconducibile alla progettazione, realizzazione e popolazione del sistema informativo che rappresenta sincronicamente uno strumento di supporto alle attività di ricerca, l'ambiente per lo sviluppo degli scenari di danno, il principale prodotto consegnabile da trasferire ai gestori delle trasformazioni urbane e territoriali. La customizzazione del GIS, per un uso non esperto, rappresenterà l'ultimo impegno dell'UR all'interno del progetto. L'esempio di applicazione del GIS, nello stato attuale (marzo 2003) è disponibile su CD per i Referee.

## **Descrizione delle attività**

È stata definita la struttura dei livelli informativi del GIS, che in funzione dei vari settori disciplinari e delle scale di analisi previste, costituiranno il collegamento grafico per la corretta georeferenziazione delle informazioni e, attraverso gli strumenti di analisi spaziale (select by theme), consentiranno il confronto tra le informazioni di livelli topologici distinti. Questo permetterà, nelle attività previste per l'ultimo anno di progetto, la definizione di procedure per il confronto dei dati relativi ai vari ambiti disciplinari e la mappatura del danno relativo agli scenari previsti.

Sono stati definiti i livelli topologici (LT) ed avviato il popolamento di livelli informativi (fig. 1.1) di base relativamente ai dati di pertinenza delle UR impegnate nei task 4 (LT puntuale relativo alla posizione dei sondaggi), 5 (LT puntuale relativo alla posizione dei siti di rilevamento dei dati sismici), 6 (LT poligonale relativo alla patrimonio edilizio degli ambiti di approfondimento) e 8 (LT poligonale relativo ai dati socio-urbanistici).

E' infine in fase di realizzazione un CD-Rom contenente l'attuale fase di avanzamento nella popolazione del GIS in grado di mostrare la struttura e le funzionalità generali del sistema.

## **Task 2: Definizione input atteso**

**Responsabile: G. Iannaccone**

### **Obiettivi realizzativi nei tre anni:**

- O2/1 Definizione e caratterizzazione delle zone sorgenti sismiche attive
- O2/2 Generazione radiazione accelerometrica
- O2/3 Modello velocità 3D dell'area del Sannio
- O2/4 Mappe di accelerazione PGA, spettri di risposta
- O2/5 Accelerogrammi sintetici
- O2/6 Implementazione GIS con i dati di Benevento

### **Obiettivi raggiunti**

Sono state definite e caratterizzate le zone sorgenti sismiche relative ai terremoti del 1688, 1962, 1930; si sono prodotte le Mappe di accelerazione relative ai terremoti del 1688 (fig. 2.1) e 1930. Si è implementato un Modello di velocità bi-dimensionale relativo alla propaazione delle onde P a scala regionale, ed è stata effettuata la generazione della radiazione accelerometrica prodotta per l'ipotizzato meccanismo di faglia relativo all'evento del 1688.

### **Risultati conseguiti**

Effettuando il confronto fra i valori di PGA calcolati con la simulazione e le leggi di attenuazione esistenti si evidenzia una maggiore attenuazione con la distanza dei valori di PGA determinati di quanto previsto dalle relazioni empiriche (fig. 2.2). Questo effetto è in parte attribuibile alla metodologia utilizzata che considera solo le onde S dirette non includendo il contributo delle onde di superficie.

Relativamente al sito, corrispondente alla città di Benevento, sono stati calcolati gli spettri di pseudo-accelerazione normalizzati per i cento episodi di rottura considerati. L'andamento della forma spettrale è compatibile con lo spettro EC8, i valori medi di ampiezza risultano essere in ottimo accordo per periodi superiori a 0.8 sec, per frequenze maggiori risultano leggermente sottostimati.

### **Descrizione delle attività**

E' stato ultimato il lavoro di definizione dei parametri sorgente per i terremoti del 1688, 1930 e 1962. In particolare per l'evento del 1688 è stato effettuato un dettagliato studio che, in base a considerazioni geologiche, sismotettoniche e di interpretazione della distribuzione del danneggiamento, ha permesso di ipotizzare in modo ragionevole la posizione e dimensione della faglia responsabile del terremoto.

L'andamento spaziale dei valori di accelerazione calcolati sono stati confrontati con quelli previsti da relazioni empiriche. In particolare sono state considerate le curve di attenuazione proposte da Sabetta e Pugliese (1987) e da Spudich et alii (SEA 99). Oltre la classica Sabetta-Pugliese è stata utilizzata anche la relazione SEA99 in quanto ottenuta solo da una selezione di eventi con meccanismo di faglia diretta.

### **Task 3: Caratterizzazione geologica dell'area di studio**

**Responsabile: T. S. Pescatore**

#### **Obiettivi previsti nei tre anni**

- O3/1 Acquisizione e organizzazione della banca dati geologici e definizione dei parametri GIS
- O3/2 Fase preparatoria alla cartografia digitalizzata
- O3/3 Rilevamento geologico di dettaglio all'interno del territorio
- O3/4 Produzione della carta litologica (scala 1: 25000) e litografica (scala 1: 5000)
- O3/5 Carta degli spessori della unità di copertura (alluvium, eluvium colluvium, detrito, macerato di frana, terreni di riporto ecc.)
- O3/6 Carta geologico-strutturale
- O3/7 Carta della franosità
- O3/8 Modello tridimensionale del sottosuolo
- O3/9 Carta dei complessi idrogeologici
- O3/10 Carta dei tipi litologici adoperati nella costruzione delle strutture storiche in elevazione
- O3/11 Implementazione GIS con i dati di Benevento

#### **Obiettivi raggiunti**

L'acquisizione ed organizzazione di banche dati esistenti ha permesso innanzitutto di definire e predisporre i parametri GIS, e di coadiuvare la fase preparatoria per la

cartografia digitalizzata. Sono stati effettuati nuovi sondaggi ed un rilievo geologico di dettaglio (scala 1:2.000). Si sono studiate, in particolare, le carote di 7 nuovi sondaggi realizzati in Contrada Cellarulo. È stato condotto, inoltre, un rilievo di dettaglio nell'area centro-occidentale della città per meglio interpretare i dati dei nuovi sondaggi.

### **Risultati conseguiti**

I nuovi dati acquisiti hanno consentito la reinterpretazione delle stratigrafie dei numerosi sondaggi commissionati da vari enti nell'area in esame, e di distinguere una serie di unità stratigrafiche per la realizzazione di più modelli dell'assetto geologico-strutturale dell'area. I dati stratigrafici di sottosuolo e di superficie noti sono stati interpretati in termini idrogeologici per ricostruire un modello di circolazione idrica sotterranea dell'area e le possibili relazioni tra la falda e i corsi d'acqua Calore e Sabato ed emungimenti. Grazie allo studio stratigrafico geologico ed archeologico di depositi alluvionali, eluvio-colluviali ed antropici recenti ed attuali, inoltre, è stata individuata una successione di eventi vulcanici, alluvionali ed antropici che ha condizionato l'evoluzione morfologica recente ed attuale dell'area.

### **Descrizione delle attività**

Le attività sono consistite essenzialmente nello studio per l'interpretazione dei sondaggi eseguiti e nella nuova valutazione delle informazioni esistenti da sondaggi pregressi, anche alla luce dei nuovi dati acquisiti. È stato avviato un utile ed indispensabile confronto con le altre UR che utilizzano modelli geologici, al fine di paragonare ed integrare le informazioni possedute ed arrivare ad un modello di sottosuolo quanto più attendibile, coerente ed utilizzabile agli scopi del progetto.

Si prevede di procedere con il rilievo geologico dell'area urbana per avere dati stratigrafici e tettonici su tutta la zona; si analizzeranno i sondaggi già eseguiti con l'ausilio di sondaggi da fare al fine di costruire una colonna stratigrafica con datazioni relative ed assolute e di valutare le variazioni di facies dei depositi nello spazio e nel tempo.

### **Task 4: Caratterizzazione geotecnica ed analisi della vulnerabilità sismica del sottosuolo** **Responsabile: F. Vinale**

#### **Obiettivi previsti nei tre anni**

- O4/1 Caratterizzazione geotecnica dell'intera area beneventana
- O4/2 Analisi della vulnerabilità sismica globale dell'area beneventana e zonazione sismica di massima
- O4/3 Selezione dei siti campione e loro caratterizzazione geotecnica
- O4/4 Analisi della vulnerabilità sismica dei siti campione e linee guida per la microzonazione

#### **Obiettivi raggiunti**

È stata realizzata la caratterizzazione geotecnica dell'intera area beneventana, si sono svolte l'analisi della vulnerabilità sismica globale dell'area beneventana e la zonazione sismica di massima e sono stati selezionati i siti campione ed è stata svolta la loro caratterizzazione geotecnica.

## Risultati conseguiti

- Definizione dell'architettura GIS in riferimento al livello geotecnico.
- Caratterizzazione geotecnica di massima dell'intero territorio beneventano attraverso la raccolta dei dati disponibili presso gli uffici tecnici comunali.
- Definizione di un modello di velocità 1D per 16 verticali distribuite sul territorio di Benevento.
- Esecuzione di tre nuovi sondaggi nelle aree campione (30 metri), uno ai piedi della collina del centro storico (Porta Rufina) e due nella zona di Rione Libertà con prove penetrometriche sia statiche che dinamiche, prelievo di dieci campioni indisturbati per l'esecuzione di prove cicliche e dinamiche di laboratorio e condizionamento del foro per l'esecuzione di prove Down-hole.
- Analisi numeriche sia monodimensionali che bi-dimensionali per la valutazione della RSL.
- Zonazione di massima dell'intero territorio beneventano.

## Descrizione delle attività

Nell'ambito delle due aree campione è stata condotta una campagna sperimentale, tuttora in corso, per la determinazione del comportamento non lineare e dissipativo dei terreni incontrati nei primi trenta metri del sottosuolo. Da una prima analisi delle stratigrafie ottenute sono emerse alcune evidenze significative:

- Rilevante presenza di materiale di riporto con spessore anche dell'ordine dei 9 metri nella zona ai piedi dell'insediamento storico.
- Presenza di materiali non campionabili (ghiaie, e sabbie).
- Strato di torba di spessori di circa 50 cm nella zona di Porta Rufina.
- Individuazione del substrato (argilla pliocenica) a profondità tra i 10 e i 20 m.

Saranno eseguite prove di taglio torsionale statico e dinamico su provini prelevati dai campioni indisturbati. Per caratterizzare i terreni di riporto e la torba si intende procedere attraverso la preparazione di materiale opportunamente ricostituito in laboratorio, mentre per i materiali a grana grossa non campionabili non sarà possibile eseguire prove di laboratorio pertanto le caratteristiche di non linearità e smorzamento saranno desunte da correlazioni empiriche. La generalizzazione della caratterizzazione meccanica delle unità litologiche incontrate nelle aree campione sarà possibile grazie alla costruzione di opportune correlazioni tra prove in sito e prove di laboratorio su base locale.

Sono state condotte analisi numeriche monodimensionali lungo 16 verticali distribuite nel territorio comunale, con codici di calcolo del tipo Shake e derivati (Shake 91, EERA, Proshake), utilizzando in via preliminare l'accelerogramma di Sturno (Irpinia 1980) amplificato nelle ampiezze ( $PGA = 0.38 g$ ). I risultati delle analisi monodimensionali sono stati sintetizzati in termini di spettro di risposta del segnale applicato al bedrock e di quello calcolato in superficie per ciascuna verticale. Gli spettri ottenuti sono stati raggruppati in quattro classi Al fine di valutare l'eventuale influenza della geometria del sottosuolo sulla risposta sismica free-field è stata effettuata un'analisi bidimensionale (utilizzando un codice F.E.M. (QUAD4-M)) su una sezione che attraversa la valle del Sabato nella zona S-E della città, per la quale sono disponibili diverse prove per la caratterizzazione dei terreni. Incrociando i risultati delle analisi effettuate è stato possibile proporre una carta di microzonazione

nella quale si distinguono 4 microzone (fig. 4.1). Al fine di fornire una carta completa delle microzone, resta comunque da effettuare uno studio più capillare, sfruttando una serie di verticali distribuite su un'area più estesa in modo da dare indicazioni dettagliate e complete per tutti i terreni del sottosuolo di Benevento.

### **Task 5: Acquisizione dati sismici in città e validazione effetti di sito**

**Responsabile: A. Rovelli**

#### **Obiettivi realizzativi nei tre anni**

- O5/1 Installazione stazioni sismiche nell'area
- O5/2 Acquisizione ed elaborazione dati
- O5/3 Ri-posizionamento di alcune stazioni sismiche e funzioni di Green
- O5/4 Confronto fra le metodologie
- O5/5 Implementazione GIS con i dati di Benevento

#### **Obiettivi raggiunti**

Si è ottimizzata la posizione delle stazioni sismiche in città includendo aree di interesse monumentale e archeologico, e i rioni Capodimonte e Libertà, caratterizzati da diverse tipologie costruttive. Dal punto di vista geologico, sono state monitorate in dettaglio le formazioni geologiche potenzialmente responsabili di amplificazioni del moto sismico (le valli del Calore e del Sabato) e i terrazzi alluvionali Quaternari.

Si dispone già di stime delle amplificazioni locali sulle diverse unità affioranti. Per diversi siti investigati queste stime possono essere considerate definitive, vista la loro stabilità.

Sono stati selezionati numerosi eventi di debole magnitudo in aree sismogenetiche di interesse per la città, potenzialmente utilizzabili come Empirical Green's Functions.

#### **Risultati conseguiti**

Sono stati calcolati rapporti spettrali rispetto al sito di riferimento (Arco di Traiano), rapporti spettrali H/V su microtremiti e eventi sismici. Sono stati calcolate funzioni di trasferimento 1D con il metodo di Thomson-Haskell, che mostrano spesso un buon accordo con le stime empiriche. Nella figura 5.1 le curve in rosso rappresentano l'incertezza statistica ( $\pm 1$  s.d.) della media dei rapporti spettrali convenzionali. La curva in blu è la funzione di trasferimento teorica 1D. Per la stazione di riferimento (ARC1) il confronto è effettuato rispetto al rapporto spettrale H/V.

Il confronto indica come un approccio basato su modellazioni numeriche 1D che simulino il comportamento dei terreni a diversi livelli di deformazione possa essere utilmente impiegato, in molti siti, per la previsione dei forti scuotimenti nella città.

#### **Descrizione delle attività**

- installazione stazioni sismiche all'interno dell'area urbana di Benevento;
- acquisizione e trattamento dei dati seguendo le classiche procedure spettrali su stazioni singole e rispetto ad una stazione assunta come riferimento.

**Task 6: Vulnerabilità del centro urbano****Responsabile: E. Cosenza****Obiettivi realizzativi nei tre anni**

- O6/1 Individuazione delle tipologie per strutture in c.a., in muratura e monumenti
- O6/2 Attività di rilievo sul campo per aree campione
- O6/3 Definizione di schede per il rilievo
- O6/4 Definizione di modelli di calcolo, sofisticati e semplificati ed esecuzioni di analisi parametriche
- O6/5 Validazione dei modelli mediante l'esecuzione di prove su elementi strutturali in c.a. caratteristici: nodi e colonne
- O6/6 Esecuzione di prove su tavola vibrante per elementi strutturali in muratura
- O6/7 Riclassificazione del costruito secondo criteri basati su modelli di risposta
- O6/8 Analisi di emergenze monumentali (Arco di Traiano)
- O6/9 Linee guida per la classificazione ed il rilievo del patrimonio edilizio urbano
- O6/10 Linee guida per la vulnerabilità delle emergenze archeologiche ed architettoniche
- O6/11 Mappe di vulnerabilità
- O6/12 Implementazione GIS con i dati di Benevento

**Obiettivi raggiunti**

Sono state individuate le tipologie per edifici in c.a., in muratura e monumentali, sono state messe a punto schede di rilievo per le stesse (v. allegati) ed è stato effettuato il rilievo per la quasi totalità degli edifici nelle aree campione e per i monumenti. Sono stati definiti modelli di calcolo sofisticati ed eseguite analisi con gli stessi per edifici campione delle tipologie edilizie in c.a. e muratura, e per il monumento chiesa di S. Sofia. Sono state definite le procedure di valutazione per analisi di vulnerabilità a larga scala con modelli meccanici semplificati per edifici in c.a. e muratura e tali modelli sono in fase di implementazione. La metodologia stabilita per i beni monumentali si fonda, invece, su una classificazione tipologica dei monumenti e sull'attribuzione ad i manufatti di opportuni indici di vulnerabilità. Tutte le metodologie mirano a fornire una relazione analitica tra la severità del sisma e la distribuzione probabilistica per livelli di danno. Sono state eseguite prove su elementi strutturali in c.a. quali nodi e colonne progettati per soli carichi gravitazionali e particolari di ancoraggio degli stessi (barre lisce dritte o ad uncino).

**Risultati conseguiti**

Definizione classi tipologiche edifici in c.a. in base a fattori morfologico/geometrici distintivi per comportamento sismico e secondo una logica di analisi multilivello. Al livello di minor dettaglio le classi sono definite, oltre che dalla forma della pianta (informazione morfologica di base) dall'epoca di costruzione, dal numero di piani e dagli intervalli dimensionali dei lati della pianta (L e B per edifici rettangolari). È quasi completa la messa a punto di un modello analitico che consente di generare l'organismo strutturale (dimensioni e armature degli elementi, e caratteristiche meccaniche di resistenza e deformabilità degli stessi) per l'esecuzione di analisi speditive su edifici di geometria assegnata e per la valutazione della vulnerabilità di

classi di edifici. Si è effettuata l'analisi di push-over di dettaglio per uno degli edifici campione (fig. 6.1), e se ne sono interpretate le caratteristiche di rigidità, resistenza e duttilità globali grazie all'applicazione del metodo del sistema equivalente.

Per quanto riguarda gli edifici in muratura si sono individuati i parametri maggiormente significativi per il danno strutturale, e si è stabilita una correlazione fra la risposta dell'oscillatore elastico-plastico e quella dell'oscillatore degradante, in dipendenza della *durata* del moto del terreno. Parallelamente si è svolto uno studio numerico parametrico sulla risposta dinamica fuori dal piano di pareti murarie, individuando una procedura semplificata per la verifica a collasso, basata sull'uso di spettri di risposta in spostamento e sulla definizione di una opportuna rigidità e di un periodo proprio "efficaci". La procedura, che consiste in una sostanziale modifica ed estensione della procedura agli spostamenti proposta a suo tempo da Calvi (1997), è al momento applicabile a meccanismi semplici ed è allo studio l'estensione a casi più generali. Per uno degli edifici campione sono state eseguite analisi pushover di dettaglio (fig. 6.2). Le analisi pushover eseguite sono state anche utilizzate per una previsione preliminare della risposta dell'edificio considerando spettri da normativa.

La raccolta effettuata sul campo di dati sulle caratteristiche sismiche dei manufatti storico-monumentali del centro storico di Benevento, sulla base della scheda elaborata, ha permesso di sperimentare l'applicabilità della stessa e quindi, seppur in modo parziale, la validità della metodologia stabilita. Inoltre, una preliminare analisi in ambiente GIS dei dati raccolti ha fornito indicazioni sulla distribuzione tipologica dei fabbricati, le caratteristiche costruttive ricorrenti, i principali elementi di vulnerabilità, lo stato generale di manutenzione del costruito. L'analisi di dettaglio della chiesa di S.Sofia attraverso la modellazione FEM (fig. 6.3), sebbene sia stata per ora svolta in campo esclusivamente lineare, ha dato alcune prime indicazioni sul suo comportamento sismico: l'individuazione dei modi di vibrazione, la definizione delle zone più vulnerabili della costruzione, le interazioni tra i suoi vari elementi.

### **Descrizione delle attività**

L'elaborazione delle risultanze del rilievo effettuato per gli edifici in c.a. di Rione Libertà e l'esecuzione di analisi parametriche con una prima versione (da ritrarre opportunamente per edifici progettati in zona sismica) del modello analitico implementato per analisi speditive per classi di edifici, hanno consentito di effettuare una ritrattura della scheda di rilievo inizialmente utilizzata per edifici in c.a., organizzandola secondo un approccio multilivello; essa può costituire una utile base per la formulazione di linee guida per il rilievo di edifici in c.a..

Al fine di individuare i parametri maggiormente significativi per il danno strutturale per edifici in muratura sono state effettuate analisi di regressione sui risultati di analisi nonlineari parametriche (input di più di 400 accelerogrammi su oscillatori a comportamento isteretico degradante (caratteristico delle murature soggette a rottura per taglio)). Per consentire l'esecuzione di analisi di push-over di dettaglio è stato necessario predisporre un idoneo pre- e post-processore per il codice a macroelementi SAM, utilizzato nell'analisi. Sono, inoltre, stati raccolti dati reperibili in letteratura sui valori limite di deformabilità angolare (drift) relativi a diverse tipologie murarie (risposta nel piano). I dati vengono elaborati in modo statistico, con

riferimento al drift corrispondente a: prima fessurazione per taglio, apertura delle lesioni, collasso incipiente. Tali valori vengono utilizzati come dati di input per la procedura sopra introdotta.

Nell'ambito delle attività volte alla valutazione della vulnerabilità del centro storico di Benevento (edifici storico/monumentali) si è prodotto un elenco completo dei manufatti monumentali del centro storico di Benevento (119 manufatti), provvedendo alla georeferenziazione degli stessi ed al rilievo dei dati sulla base della scheda elaborata, introducendo i dati in formato GIS. Per quanto riguarda la modellazione di dettaglio della chiesa di S. Sofia si è provveduto innanzitutto alla raccolta di materiale grafico-fotografico e bibliografico, che ha permesso di conoscere la geometria ed i principali aspetti costruttivi della chiesa, i suoi interventi e trasformazioni, i danni sismici subiti. Si è realizzato, quindi, un modello solido 3D in CAD, che è stato la base per la realizzazione del modello strutturale FEM di grande dettaglio. Per esso sono state eseguite alcune analisi preliminari (analisi lineare, analisi modale, analisi sismica) per la valutazione del comportamento sismico.

### **Task 7 Scenari di danno e metodi di riduzione della vulnerabilità**

**Responsabile: G. Magenes**

#### **Obiettivi realizzativi nei tre anni**

- O7/1 Definizione dell'effetto, in relazione ai modelli di vulnerabilità sviluppati, di alcune tecniche di intervento per la mitigazione del rischio
- O7/2 Sistemi di riduzione della vulnerabilità mediante trattamento dei terreni
- O7/3 Valutazione degli scenari di danno per l'edificato in cemento armato di Benevento
- O7/4 Valutazione degli scenari di danno sulle chiese
- O7/5 Valutazione degli scenari di danno sul centro storico di Benevento
- O7/6 Aggiornamento degli scenari di danno a seguito di interventi di miglioramento sismico
- O7/7 Linee guida per l'impiego di compositi avanzati nella riduzione di vulnerabilità di strutture esistenti
- O7/8 Linee guida sui trattamenti dei terreni per la riduzione della vulnerabilità del sottosuolo

#### **Obiettivi raggiunti**

Lo sviluppo di procedure su base meccanica portato avanti per edifici in c.a. e muratura consente di poter valutare in maniera razionale e 'quantitativamente' l'effetto di tecniche di intervento per la mitigazione del rischio. Tali procedure sono in fase di taratura e permetteranno il prefigurare scenari di danno sul territorio. Gli scenari di danno per le chiese, invece, saranno basati su una procedura con approccio misto tipologico/semiotico. L'esecuzione di prove su elementi in c.a. rinforzati in CFRP è alla base per la valutazione degli effetti di possibili interventi per la mitigazione del rischio.

#### **Descrizione delle attività**

Per quanto riguarda i sistemi di riduzione della vulnerabilità mediante trattamento dei terreni è in corso di reperimento materiale bibliografico ed è stata messa a punto una

strategia di analisi che verrà intrapresa a breve. La ricerca si muove seguendo due direttive: da una parte si pensa di costituire degli strati con una forte rigidità in modo che le onde sismiche vengano in parte riflesse, con attenuazione delle onde trasmesse in superficie, dall'altra si possono realizzare strati di materiale con fattori di smorzamento relativamente alti, in modo che il terreno sia di per se in grado di assorbire l'energia trasmessa da un terremoto.

## **Conclusione**

Le attività svolte nei primi due anni del progetto hanno già consentito di raggiungere alcuni degli obiettivi prefissati per l'intero progetto. È stato definito, in particolare, l'input sismico atteso a Benevento sulla base di modelli estesi delle sorgenti sismiche potenzialmente attive per uno di tre ipotizzati eventi di differente magnitudo e per tale evento si sono generate le radiazioni accelerometriche ottenendo risultati attendibili anche in base al confronto con leggi di attenuazione note e con forme spettrali normative. Sono stati indagati gli effetti di sito e, sulla base di analisi numeriche mono e bidimensionali rese possibili grazie alla approfondita conoscenza delle caratteristiche geotecniche del sottosuolo è stata proposta una microzonazione della zona comunale di Benevento. È stato classificato il patrimonio edilizio relativamente alle tre categorie di edifici in c.a., muratura e di manufatti storico/monumentali, ne è stato quasi completato il rilievo sulla base di schede opportunamente predisposte e sono in corso gli studi per la definizione di mappe di vulnerabilità con metodi semi-quantitativi e tipologici. Si è valutato l'effetto di alcune tecniche di rinforzo strutturale ed è in corso di costruzione un GIS integrato con le banche dati raccolte.

Nel corso del secondo anno, per aumentare la forza innovativa e multidisciplinare del progetto, sono stati creati dei Gruppi interdisciplinari che si riuniscono con maggior frequenza:

G<sup>2</sup>S (geofisici, geotecnici, strutturisti): per valutare e migliorare l'affidabilità ingegneristica degli accelerogrammi generati;

G<sup>3</sup> (geologi, geofisici, geotecnici): per studiare sperimentalmente dal punto di vista geologico, geofisico e geotecnica alcune verticali di terreno giudicate particolarmente significative dai tre gruppi;

G<sup>2</sup> (geotecnici, geofisici): per studiare dal punto di vista numerico e sperimentale gli effetti di sito, confrontando le metodologie proprie delle diverse discipline

S<sup>3</sup> (strutturisti del c.a., muratura, monumenti): per studiare metodologie semi-quantitative e di dettaglio che siano omogenee fra di loro; gli strutturisti del gruppo hanno interagito anche sul Progetto Liguria, su suggerimento dei Referee.

**Figure**



Figura 1.1. Struttura del GIS e popolamento dei livelli.

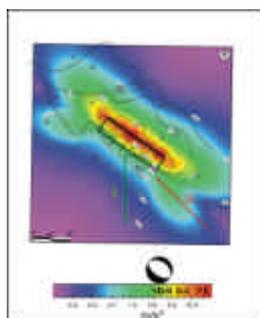


Figura 2.1. Scenario 1688.

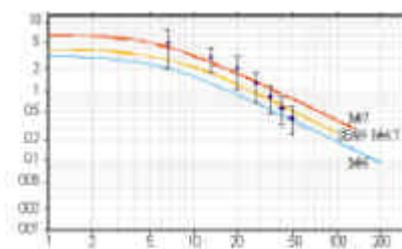


Figura 2.2. Profilo SE: attenuazione PGA stimate e leggi empiriche.

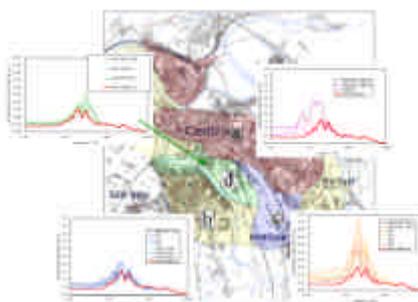


Figura 4.1. Microzonazione comunale proposta.

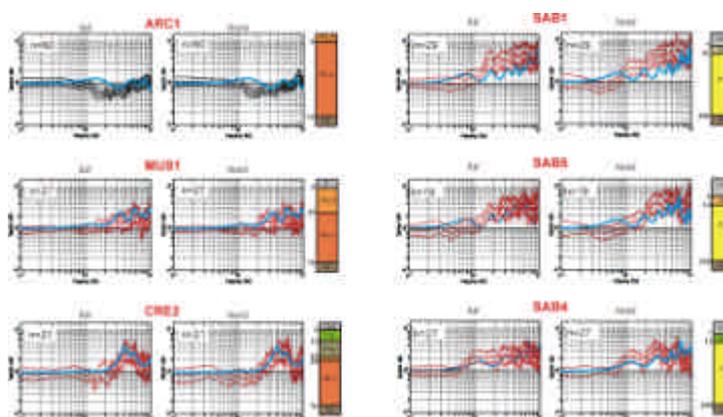


Figura 5.1. Funzioni di trasferimento teoriche 1D ed incertezze relative per diverse stazioni.

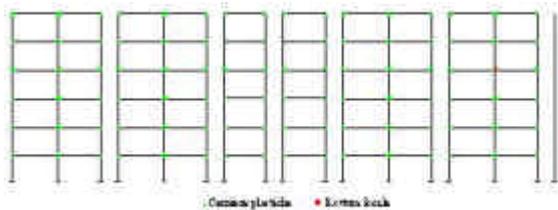


Figura 6.1 a). Treno di telai con indicazione delle cerniere plastiche e a rottura.

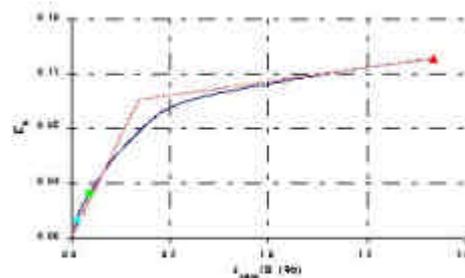


Figura 6.1 b). Curva di push-over con bilineare per trasformazione MDOF-SDOF.

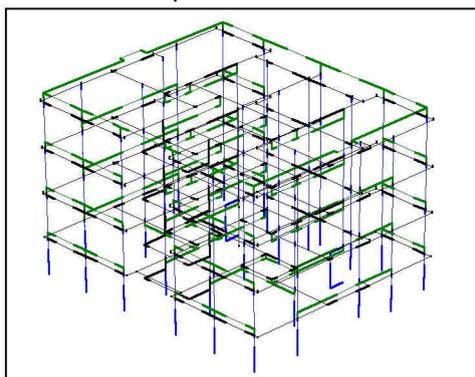


Figura 6.2 a). Modello tridimensionale a macroelementi di un edificio.

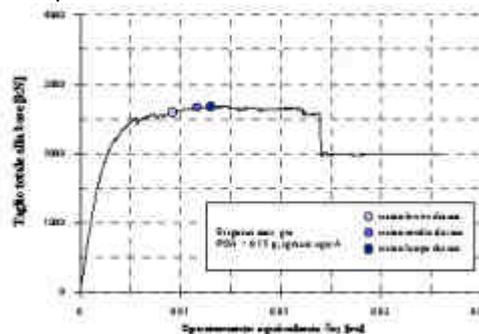


Figura 6.2 b). Curva pushover e stima della risposta massima dell'edificio.

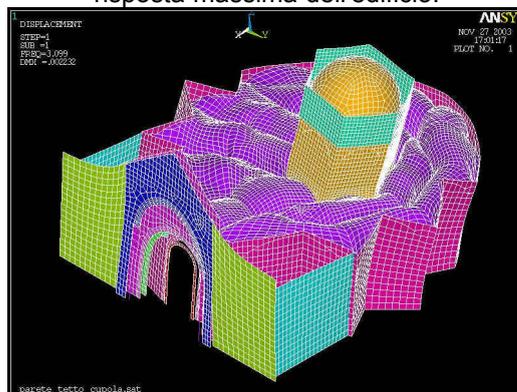
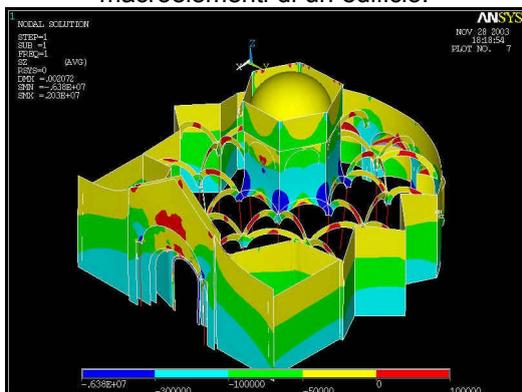


Fig.6.3. analisi lineare e sismica (1° modo) della chiesa di S.Sofia.



## Analisi di scenario nella Liguria occidentale e soluzioni per la conservazione dei centri storici

Coordinatore: Prof. Sergio Lagomarsino

### Introduzione

Il progetto si propone mettere a confronto ed integrare diverse metodologie, consolidate ed innovative, per la costruzione di scenari di scuotimento, vulnerabilità e danno in aree di media estensione (circa 2000 km<sup>2</sup>), caratterizzate da un assetto geomorfologico complesso e dalla presenza di molti centri abitati, di dimensioni medio-piccole, sia di impianto antico che di recente urbanizzazione. Lo studio è applicato alla Liguria Occidentale, una regione di grande interesse per la sua storia sismica e la sismogenesi, per la varietà di potenziali effetti di sito e per le caratteristiche del costruito, nel quale emergono anche manufatti ed elementi di pregio.

Le Unità di Ricerca (UR) che partecipano al progetto sono le seguenti:

UR	Responsabile	Ente
1	EVA Claudio	DIPTERIS, Univ. di Genova
2	GUIDOBONI Emanuela	Storia Geofisica Ambiente s.r.l.
3	FACCIOLI Ezio	DIS, Politecnico di Milano
4	BINDA Luigia	DIS, Politecnico di Milano
5	BAGGIO Carlo	DiPSA, III Università di Roma
6	MAGENES Guido	DMS, Università di Pavia
7	LAGOMARSINO Sergio	DISEG, Università di Genova
8	DALAI Maria Luisa EMILIANI	Dip.to di Storia dell'Arte, <i>La Sapienza</i> di Roma

### 1. Sismicità e caratterizzazione delle sorgenti

Responsabile: Claudio Eva

Le attività previste riguardano il miglioramento delle conoscenze della sismicità per la definizione dei terremoti di scenario. Ciò ha comportato: 1) la revisione dei terremoti storici, con approfondimenti delle ricerche d'archivio degli eventi più significativi che hanno interessato la Liguria Occidentale; 2) la revisione della sismicità strumentale registrata da reti sismiche, con determinazione dei parametri focali (magnitudo, momento, meccanismi di sorgente); 3) correlazioni fra sismicità e strutture, con calcolo delle eterogeneità della crosta tramite inversione tomografica.

#### a) Risultati conseguiti alla fine del primo anno

- Sono stati studiati i terremoti del 1818, 1819, 1831, 1854 e 1887 per un miglioramento delle informazioni sulla sorgente sismica e dei livelli di danno. (UR2)
- Raccolta di tutte le informazioni relative alla sismicità strumentale del territorio e raccolta delle forme d'onda dei terremoti degli ultimi dieci anni anche ai fini

dell'analisi delle eterogeneità laterali della crosta. (UR1)

- Raccolta di tutte le informazioni su profili sismici a riflessione (mono e multi-canale) e a rifrazione, eseguiti lungo il margine continentale del Mar Ligure. (UR1)
- Correlazioni fra strutture e sismicità e predisposizione di una zonazione sismica della Liguria Occidentale da utilizzarsi ai fini della valutazione dell'*hazard*. (UR1)

**b) Attività svolta nel secondo anno**

- Per cercare di meglio definire l'area sorgente del terremoto del 1887, è stato preso in esame il terremoto del 19 luglio 1963, per il quale era noto un epicentro strumentale ed un PQ con 70 località italiane (NT e DOM, 1997). Lo studio ha portato a valutare 463 località, consentendo di avere un quadro della propagazione di notevole dettaglio, in relazione all'epicentro in mare (87 km dalla costa). (UR2)
- Proseguimento della ricerca sulla sismicità storica, attraverso l'esame della documentazione conservata all'Archivio di Stato di Torino e all'Archivio di Stato di Imperia, sez. di San Remo. E' migliorata la conoscenza del quadro amministrativo determinatosi dopo il terremoto, caratterizzato da una notevole burocrazia e frammentazione decisionale. Si è aggiunta una località danneggiata (Poggio). (UR2)
- Sulla base dei dati strumentali raccolti, la UR1 ha eseguito:
  - a) Un'analisi tomografica della crosta del Mar Ligure e della Liguria Occidentale, che ha messo in luce le forti eterogeneità laterali; i risultati ottenuti sono stati utilizzati per la modellazione del terremoto del 1887.
  - b) La sismicità strumentale è stata riparametrizzata tramite una nuova legge Mwe.
  - c) Avviata una ricerca su nuove legge di attenuazione basate su dati velocimetrici.
  - d) E' stata eseguita una revisione dei meccanismi focali dei terremoti della Liguria Occidentale, con determinazione della direzione dello stress regionale.

**c) Risultati ottenuti**

Gli studi avviati hanno portato alla determinazione di un quadro coerente della sismicità e delle strutture sismogenetiche nel Mar Ligure. Questo ha consentito di vincolare opportunamente i parametri ipocentrali della sorgente sismica responsabile del terremoto del 1887 e di modellare il processo di rottura-propagazione, considerando sia sorgenti puntuali che sorgenti estese. I risultati trovano una buona coerenza con il piano macrosismico permettendo altresì di utilizzare tale evento come terremoto di scenario. Va sottolineato che la modellazione ha tenuto conto delle eterogeneità crostali, derivate dalla tomografia sismica. La revisione della sismicità, le correlazioni sismotettoniche ed il campo dello stress hanno consentito inoltre la predisposizione di una zonazione alternativa ai fini del calcolo dell'*hazard*.

**d) Attività prevista nel terzo anno**

- Calibrazione dei valori di intensità più elevati (terremoto 1887), chiarendo se questi sono dovuti alla particolare vulnerabilità o alla topografia locale. A tal fine sarà approfondita la conoscenza dell'edilizia storica locale analizzando

paesi limitrofi con effetti diversi (anche due gradi di differenza) e diversa posizione orografica. (UR2)

- Miglioramento delle conoscenze sugli effetti macrosismici con riferimento ai caratteri della rete insediativa del 1887 e 1963 (distribuzione e scala demografica). (UR2)
- Archivio informatico, in ambiente GIS, delle fonti storiche (amministrative e scientifiche), dei danni ai monumenti, cartografia ed iconografia. (UR2)
- Analisi sismotettonica per la definizione di un secondo terremoto di scenario: in tal senso è prevista la revisione della sismicità associata alla linea Saorge-Taggia. Tale linea, responsabile di eventi minori sia nel diciannovesimo secolo (evento 1831) che in epoca più recente, potrebbe essere considerata come sorgente di un evento sismico di magnitudo medio-bassa. (UR1)

## 2. Moto sismico, effetti di sito ed interazione

Responsabile: Ezio Faccioli

Analisi dello scuotimento sismico del suolo, da impiegare per l'analisi della risposta e la stima del danneggiamento degli edifici, alle due scale: scala sub-regionale (Provincia di Imperia), scala urbana (Taggia). Nella scala sub-regionale, alle rappresentazioni deterministiche dello scuotimento (in intensità e PGA), viene associata anche una valutazione con modelli probabilistici. A scala urbana sarà condotto uno studio più approfondito di simulazione delle scosse sismiche di scenario, avvalendosi di registrazioni locali di piccoli terremoti.

### a) Risultati conseguiti alla fine del primo anno

- Individuato il terremoto del 23 febbraio 1887 come terremoto di scenario, si è ipotizzata come struttura sismogenetica una faglia normale, a 20 km dalla costa e disposta parallelamente alla stessa, a cui è stato associato un valore di magnitudo pari a 6.3. Si è generato uno scenario deterministico di scuotimento sismico del suolo a scala regionale, ottenendo valori dell'accelerazione di picco molto bassi a paragone dei risentimenti macrosismici osservati in occasione dell'evento storico. (UR3)
- Analisi probabilistiche della pericolosità sismica sono state condotte nell'area di Arma di Taggia, come esempio della metodologia proposta. (UR1, Geodeco Spa)
- Per i centri abitati posti in posizione di alto topografico si sono osservati e potuti quantificare gli effetti amplificativi locali. (UR3)
- L'acquisizione e l'analisi di rumore sismico in Valle Argentina, in particolare l'interpretazione dei rapporti spettrali, ha condotto all'elaborazione di una mappa delle frequenze dominanti stimate di sito. (UR1)

### b) Attività svolta nel secondo anno

- Si sono proposte due ipotesi per la sorgente del terremoto del 1887, una struttura sismogenetica perpendicolare alla costa e una parallela alla stessa; dal confronto degli scenari deterministici generati si osserva una buona concordanza con i risentimenti macrosismici per entrambe le strutture, a patto che il segmento di faglia si attivi a 20 km dalla costa e che ad esso si possa

associare un valore di magnitudo di 6.5 - 6.7. (UR3)

- Sono stati calcolati accelerogrammi sintetici ibridi, come somma di un segnale deterministico (generato con il metodo di HISADA per un profilo stratigrafico crostale da bibliografia), filtrato passa basso a 2Hz, e di un segnale stocastico (generato con il metodo basato sulle funzioni di Green empiriche), filtrato passa alto. Le analisi inducono a preferire come sorgente del terremoto del 1887 il sistema di faglie parallelo alla costa, a cui associare una magnitudo superiore a 6.5. (UR3)
- Gli accelerogrammi stocastici hanno come input registrazioni di piccoli terremoti verificatisi nel 2001, fornite dalla UR1.
- Dall'analisi di tutte le registrazioni sismometriche delle reti RSNI (Rete Sismica dell'Italia Nord-Occidentale) e RSLG (Rete Sismica della Lunigiana e Garfagnana) si sono individuati gli effetti di amplificazione locale in corrispondenza delle stazioni e si è calibrata una scala  $m_{Wa}$  (Wood-Anderson equivalente) per i siti in questione. Quindi si è costruita una legge di attenuazione per l'accelerazione di picco di eventi sismici di bassa energia.
- Le mappe morfologiche e litologiche alla scala di piano di bacino fornite dalla Regione Liguria (tramite UR7) sono state elaborate in modo da renderle compatibili con l'ambiente GIS (UR3). Si è curata la classificazione geotecnica. (UR3)
- Sono stati eseguiti in Valle Argentina due sondaggi geotecnici, con relative misure di velocità S e P con tecnica tomografica *downhole*. Le fasi dell'indagine sono state seguite delle UR1 e UR3.
- Sempre per la Valle Argentina si è completata la raccolta di dati relativa ai sondaggi presenti nel territorio. Si è ricostruito il profilo stratigrafico lungo una sezione trasversale della valle e lungo questa si sono stimate le funzioni di amplificazione, poi confrontate con le frequenze fondamentali di risonanza desunte dall'analisi del rumore sismico.
- Sono state definite le funzioni di amplificazione in corrispondenza dei sondaggi *downhole*, in modo da poter introdurre nell'analisi probabilistica della pericolosità gli effetti di amplificazione locale. (UR1)

c) Risultati ottenuti

- Conferma dell'identificazione della struttura sismogenetica associata all'evento del 1887, sulla base di analisi di diversa matrice.
- Caratterizzazione della risposta sismica locale per la Valle Argentina.

d) Attività prevista nel terzo anno

- Verrà generato lo scenario di scuotimento deterministico per un evento meno energetico (M 5.5), individuato come ripetizione del terremoto del 26 maggio 1831 sulla faglia Saorge – Taggia.
- Gli scenari di scuotimento saranno generati in termini di intensità macrosismica e di accelerazione di picco al suolo.
- Per la provincia di Imperia si potrà tenere conto delle condizioni di sito, così come descritte dalle carte litologiche dei piani di bacino.
- Gli stessi scenari verranno corretti considerando l'amplificazione topografica.

### 3. Censimento a scala sub-regionale e analisi di vulnerabilità

Responsabile: Sergio Lagomarsino

L'inventario dell'esposto vulnerabile (costruito ordinario, manufatti e beni di valore artistico e storico) rappresenta uno degli aspetti critici in un'analisi di rischio o di scenario; sarebbe infatti auspicabile utilizzare al massimo le banche dati esistenti, ma i modelli di vulnerabilità disponibili sono in genere legati a specifiche schede di rilievo, e ciò rende necessari rilievi *ad hoc*, con notevoli oneri. Questo obiettivo si propone, in primo luogo, di raccogliere i dati esistenti (Amministrazioni Pubbliche, Soprintendenza, bibliografia), strutturandoli in modo opportuno e georiferendoli in ambiente GIS (Task 7). Vengono quindi esaminati criticamente i modelli di vulnerabilità esistenti, proponendo nuovi metodi che facciano tesoro delle metodologie consolidate, ma che risultino applicabili alle diverse scale e con banche dati esistenti. La validità dei modelli proposti è ovviamente generale e non limitata alla realtà della Liguria Occidentale. In particolare, nel Task 3 vengono sviluppati modelli di vulnerabilità macrosismica, idonei per l'analisi a scala sub-regionale; nel Task 5 sono sviluppati modelli di vulnerabilità meccanica, adeguati per la scala urbana. Entrambi i modelli possono, comunque, essere utilizzati alle due scale ed il confronto tra i risultati forniti dai due approcci rappresenta uno dei contributi originali attesi dal progetto. Il patrimonio monumentale è trattato con una metodologia analoga, analizzando sia la vulnerabilità fisica dei manufatti architettonici, sia quella dei beni storico-artistici (affreschi, stucchi, ecc.); l'attenzione verso questi ultimi è finalizzata anche a stabilire un parametro di valore, utile negli scenari delle perdite.

#### a) Risultati conseguiti alla fine del primo anno

- Acquisizione dei dati disponibili sulla Liguria Occidentale, con riferimento all'esposto vulnerabile (costruito ordinario, popolazione residente): limiti amministrativi, sezioni censuarie (Regione Liguria); consistenza del costruito da dati ISTAT (forniti da Vincenzo Petri). (UR7)
- Acquisizione dei dati disponibili sul patrimonio culturale: elenco dei beni vincolati (Soprintendenza); PTCP - piano territoriale di coordinamento paesistico, con individuazione dei centri urbani di valore storico e di altri manufatti isolati (Regione Liguria); indagine bibliografica. (UR7)
- Analisi critica delle metodologie in uso per l'analisi di vulnerabilità del costruito ed impostazione di un nuovo modello di vulnerabilità macrosismica. (UR7)
- Rilievo delle chiese di Taggia, con la scheda elaborata dalla UR 7 a seguito del terremoto Umbria-Marche. (UR7)
- Mappatura dei beni artistici e storici, catalogati dalla Soprintendenza. Bibliografia ragionata relativa al patrimonio culturale dell'area in esame. (UR8)
- Scheda di rilevamento per l'analisi di vulnerabilità dei beni storico-artistici. (UR8)
- Rilievo di dettaglio dei beni storico-artistici nei manufatti dell'area di Taggia (30 chiese, 2 palazzi, 6 sagrestie, 2 conventi nei Comuni di Taggia, Badalucco, Bussana Vecchia e Castellaro). Sono stati schedati complessivamente: 51 altari, circa 1196 mq di dipinti murali, circa 569 mq di stucchi, 93 arredi fissi, 23 campane di diverse dimensioni, 8 organi, 62 elementi scultorei, 231 dipinti su tela di diverse dimensioni, 502 pezzi di suppellettile, 137 statue di diverse

dimensioni, 124 arredi mobili, 213 metri lineari di materiale cartaceo. (UR8)

b) Attività svolta nel secondo anno

- Definizione di una nuova metodologia di analisi della vulnerabilità, con un approccio macrosismico direttamente derivato dalla scala EMS 98 (*European Macroseismic Scale*); il metodo si basa sulla considerazione che la EMS 98 rappresenta già un modello di vulnerabilità vago (le quantità di edifici che subiscono determinati livelli di danno sono espresse in forma linguistica – *few, many, most*) ed incompleto (la distribuzione dei danni è fornita solo per i livelli prevalenti). Il modello è ottenuto grazie all'uso della teoria degli insiemi sfuocati (*fuzzy-set*) e proponendo una nuova distribuzione discreta dei livelli di danno (derivata dalla distribuzione  $\beta$ ), più efficiente della ben nota binomiale. Il modello è validato da numerosi dati di vulnerabilità osservata; esso può essere usato alle diverse scale, con dati di diversa origine e dettaglio, riducendosi conseguentemente le incertezze nella stima dei danni. (UR7)
- Rielaborazione dei dati relativi al patrimonio monumentale a scala sub-regionale, consistente in: acquisizione delle schede di catalogo (ICR – Istituto Centrale per il Restauro) ed inserimento dei dati nel *data base* del patrimonio vincolato, elaborato nel 1° anno; georeferenziazione in ambiente GIS, grazie alla cartografia disponibile ed a fonti bibliografiche (la collocazione sul territorio è puntuale per oltre il 50% dei monumenti, mentre è riferita al baricentro del centro abitato nei rimanenti). (UR7)
- Modifica e messa a punto del tracciato schedografico per l'analisi di vulnerabilità degli beni storico-artistici. Definizione di procedure standard per il rilevamento fotografico documentario digitale. Revisione delle tipologie, definizione e strutturazione dell'area informativa relativa allo stato di conservazione ed al degrado. (UR8)
- Predisposizione di una banca dati relazionale "Apparati decorativi", in formato Access, per l'integrazione e la comunicazione di tutti i dati raccolti (mappatura del catalogato, riferimenti bibliografici, documentazione fotografica documentaria e interpretativa, censimento e analisi di vulnerabilità a scala sub-regionale). (UR8)

c) Risultati ottenuti

- Metodologia macrosismica per l'analisi di vulnerabilità del costruito ordinario, applicabile a scala sub-regionale con dati esistenti.
- Georeferenziazione del patrimonio monumentale, con creazione di una banca dati contenente le informazioni delle schede di catalogo (Soprintendenza).
- Scheda di rilievo della vulnerabilità dei beni storico-artistici a scala sub-regionale.
- Banca dati "apparati decorativi", con archivio delle immagini digitali.

d) Attività prevista nel terzo anno

- Controllo sistematico a campione della attendibilità dei dati ISTAT sul costruito nella Provincia di Imperia. Definizione di categorie di edifici (dai dati ISTAT) e valutazione dei loro parametri di vulnerabilità, secondo la metodologia messa a punto nel 2° anno (indice di vulnerabilità, modificatori di comportamento).
- Analisi di vulnerabilità e scenari di danni a scala sub-regionale.

- Analisi di vulnerabilità del patrimonio monumentale, con un approccio a due livelli: / livello – scala sub-regionale, modello nel Progetto Traiano); // livello – chiese nell'area di Taggia, modello a macroelementi messo a punto nel Progetto SAVE.
- Definizione e messa a punto dei parametri per la valutazione della rilevanza dei beni architettonici, per gli scenari di danno in termini di valore. (UR7-8)
- Integrazione delle schede di II livello per i manufatti architettonici e per gli apparati decorativi, al fine di mettere in relazione la vulnerabilità nei macroelementi della fabbrica con il rischio di danno ai beni storico-artistici. (UR7-8)

#### 4. Classificazione tipologica e rilievo del costruito

Responsabile: Luigia Binda

I modelli di vulnerabilità, sia quelli derivati da un approccio macrosismico (Task 3) sia quelli che utilizzano modelli meccanici semplificati (Task 5), sono basati su una classificazione tipologica. E' evidente che questa classificazione deve essere affiancata da una conoscenza dettagliata degli aspetti peculiari del costruito nella regione. La finalità del Task 4 è individuare tipologie ricorrenti, caratterizzandone la vulnerabilità attraverso rilievi di dettaglio delle tecniche costruttive e prove in sito ed in laboratorio sui materiali. L'indagine è particolarmente importante per gli edifici in muratura nei centri storici, dove materiali e tecniche spesso cambiano in centri storici non lontani, ma è anche rivolta al costruito in c.a., realizzato senza norme sismiche.

##### a) Risultati conseguiti alla fine del primo anno

- Classificazione delle tipologie murarie (materiali ed apparecchiature), nei centri storici di Taggia (UR4-5), Baiardo (UR4) e Bussana Vecchia (UR5).
- Analisi di dettaglio del Convento delle Suore della Visitazione. (UR4)
- Prove in sito di caratterizzazione meccanica della muratura, a Taggia e a Baiardo: prove soniche, martinetti piatti, carotaggi, indagini di laboratorio sulle malte. (UR4)
- Analisi delle tipologie di edifici in muratura e meccanismi di accrescimento di un comparto a Bussana Vecchia. (UR 5)
- Raccolta di dati riguardanti gli edifici in cemento armato tipici del costruito nella Liguria Occidentale (tipologie strutturali, criteri di progetto, dettagli strutturali) da materiale bibliografico e d'archivio, nonché dai dati ISTAT. (UR6)
- Analisi storica dei danni subiti da alcune chiese a Taggia ed a Castellano, sulla base di ricerche d'archivio. Confronto tra i danni nel centro storico di Taggia a seguito dei terremoti del 1831 e del 1887. (UR2)
- Identificazione delle tipologie di apparati decorativi che caratterizzano lo spazio urbano dei centri storici (sopraporta, portali e stipiti scolpiti, edicole, fontane, intonaci di pregio ecc.). Delimitazione dell'area di indagine al centro storico di Taggia. (UR8)

##### b) Attività svolta nel secondo anno

- Per comprendere meglio il quadro degli effetti relativamente ai gradi di

intensità più elevati, dovuti al terremoto del 1887, sono stati cercati elementi della vulnerabilità edilizia al tempo. Le relazioni tecniche e scientifiche del tempo indicano un precario stato dell'edilizia nei paesi più colpiti, mettendo in luce vulnerabilità specifiche quali: i difetti di collegamento tra le murature; l'eccessiva pesantezza dei tetti (con lastre in ardesia); la presenza ai piani alti di volte molto pesanti; l'altezza eccessiva delle case, sproporzionata alle fondamenta e allo spessore dei muri portanti; la disomogeneità delle costruzioni, edificate in varie fasi; la presenza di danni sismici mal riparati; la povertà dei materiali usati. (UR2)

- *Comune di Taggia*. Sono stati terminati i rilievi dei paramenti e delle sezioni murarie; informazioni sulle caratteristiche tecnologiche e sullo sviluppo del centro storico sono state ottenute da dati d'archivio e da rilievi *in situ*. Completamento del rilievo e analisi storica del Convento delle Suore della Visitazione e della Chiesa di Santa Teresa, con individuazione delle zone maggiormente vulnerabili. Ulteriori prove soniche e prove con martinetto piatto; sui materiali prelevati negli stessi punti è stata eseguita in laboratorio la caratterizzazione chimica, fisica e meccanica. (UR4)
- *Comune di Baiardo*. Reperimento di documenti d'archivio e rilievo, nella parte più vecchia del centro storico, danneggiata dal terremoto dell'1887, dei monumenti (chiesa e Castello) e di un edificio in fase di restauro. Il rilievo ha riguardato le caratteristiche tecnologiche e morfologiche dei diversi elementi della costruzione (volte, porte, finestre, colonne, ecc.). È stato reperito il progetto di intervento, al fine di valutare la sua efficacia in ottica sismica. Sono state eseguite prove con martinetti piatti, prove soniche e prove di laboratorio su pietre e malte prelevate *in situ*. (UR4)
- Confronto tra i risultati delle prove di Taggia e di Baiardo, al fine di valutare le differenze nelle tecniche costruttive e nelle caratteristiche meccaniche della muratura (le malte usate a Baiardo, apparentemente terrose, sono risultate a base di calce idrata, anche se meno consistenti di quelle di Taggia). (UR4)
- Analisi dei percorsi storici, a scala territoriale, nell'area del Comune di Taggia: principali centri romani, strade romane (tra cui il tracciato della Iulia Augusta), ponti; la morfologia del territorio e le direttrici medievali risalenti le valli del Roja e dell'Argentina; sono stati ipotizzati antichi percorsi di crinale e utilizzando mappe storiche la viabilità locale intorno all'abitato di Taggia e al suo ponte. (UR5)
- Sono state reperite le mappe storiche dell'abitato di Taggia (Vinzoni 1758, catasto 1879) e si è tracciata l'evoluzione dell'abitato dal X al XX secolo. (UR5)
- Analisi tipologica dei percorsi urbani, con individuazione di tre tipi di tessuto: tessuto edilizio spontaneo su percorsi anulari (via Tages); tessuto edilizio pianificato su assi stradali rettilinei (via Lercari, via Spagnuoli); trasformazione di impianti medievali a corte, su lottizzazione agricola romana (via Lotti-via Anfossi). (UR5)
- Rilievi diretti di alcune unità abitative e reperimento di planimetrie, sezioni e prospetti dell'abitato in scala opportuna (1:200-500) per una parte consistente del nucleo storico di Taggia. Nota la consistenza dell'abitato storico (altezze degli edifici, spessori murari, aspetto esteriore), è stato prodotto un

planivolumetrico del centro. (UR5)

- Raccolta d'informazioni dettagliate (elaborati di progetto) su singoli edifici in c.a. nell'Imperiese, costruiti in diverse epoche (prevalentemente anni '60 e '70). (UR6)
- Predisposizione di un modello di rilevamento specifico per gli arredi urbani. (UR8)

d) Attività prevista nel terzo anno

- Classificazione tipologia delle murature, con individuazioni di parametri utili ad un rapido riconoscimento sul campo. Caratterizzazione meccanica dei diversi tipi murari, sulla base delle prove *in situ* eseguite nel 1° e 2° anno, anche in comparazione con i risultati di indagini analoghe eseguite in Umbria in altro Progetto GNDT. (UR2)
- Classificazione delle tipologie d'edificato, considerando i meccanismi di accrescimento e trasformazione; definizione di parametri utili al rapido riconoscimento.
- Censimento degli arredi urbani nel centro storico di Taggia, con rilevamento fotografico digitale. Informatizzazione dei dati. (UR8)

## 5. Modelli di vulnerabilità e scenari di danno

Responsabile: Guido Magenes

Per eseguire un'analisi di vulnerabilità omogenea e predisporre scenari di danno confrontabili, i modelli di vulnerabilità devono essere basati su un unico impianto concettuale per tutte le costruzioni (edifici in muratura, edifici in c.a., monumenti). Nel Task 3 vengono sviluppati ed applicati modelli di vulnerabilità macrosismica, di semplice utilizzo ed idonei per l'analisi a scala sub-regionale. Nel Task 5 viene invece definito un insieme di modelli di vulnerabilità meccanica, diversamente formulati per ogni tipologia di costruito e per l'analisi alle varie scale. Uno dei pregi di un approccio meccanico è la possibilità di considerare un'azione sismica in termini spettrali, con una valutazione del danno che tiene conto dell'interazione tra le proprietà dinamiche degli edifici e le caratteristiche geodinamiche del sito.

a) Risultati conseguiti alla fine del primo anno

- Applicazione preliminare di una procedura semplificata a base meccanica (Calvi 1999) per la valutazione di scenari di danno a scala urbana o territoriale, usando dati ISTAT relativi alla provincia di Imperia. (UR6)
- Sviluppo di un modello numerico per l'analisi dinamica non lineare di telai multipiano in c.a. che tenga conto del possibile danno nei nodi trave-colonna. Analisi non lineare preliminare su alcuni telai multipiano e valutazione dell'effetto del danneggiamento nei nodi (Calvi, Magenes e Pampanin, 2001 & 2002). (UR6)

b) Attività svolta nel secondo anno

- Formulazione di una nuova procedura, basata sugli stati limite di deformazione, per analisi di scenario (Glaister & Pinho, 2003). Calibrazione, tramite prove sperimentali, di un modello che simula l'interazione telaio-tamponature. (UR6)

- Analisi non lineari su telai multipiano con la simulazione di nodi "deboli" e presenza di tamponamenti. I modelli sono stati sviluppati tramite il codice di calcolo "Ruaumoko" (Carr, 2001). (UR6)
- Sviluppo di un metodo di analisi per costruzioni in muratura, basato sull'approccio *capacity-spectrum* (Hazus, 1999), ovvero sulla definizione di curve di capacità, associate ad ogni tipologia di costruzione in muratura (materiale, altezza), e nell'intersezione con la domanda spettrale del terremoto, opportunamente ridotta al crescere del danneggiamento. Confronto con il metodo macrosismico. (UR7)
- Rilievo dell'intero centro storico di Taggia, tramite una scheda speditiva (che non richiede l'accesso all'interno), contenente informazioni geometriche, sulla regolarità, sulla collocazione dell'edificio nell'aggregato, sulla presenza di presidi antisismici (catene, contrafforti, archetti, ecc.). I dati raccolti, compresa una documentazione fotografica, sono stati archiviati in ambiente GIS; essi potranno essere utilizzati per analisi di vulnerabilità sia di tipo macrosismico che meccanico. (UR7)

c) Risultati ottenuti

- E' stato valutato il ruolo del danneggiamento dei nodi trave colonna e dell'interazione telaio-tamponamenti nella risposta sismica di diverse configurazioni strutturali tipiche. I modelli di dettaglio su edifici prototipo, analizzati in campo dinamico non lineare, rappresentano un riferimento per la procedura semplificata a base meccanica, da utilizzare per la creazione degli scenari di danno. La nuova procedura proposta basata sugli stati limite di deformazione rappresenta un avanzamento rispetto a metodologie simili (ad es. Calvi, 1999), in quanto viene riconosciuta ed introdotta la mutua dipendenza della capacità di deformazione e del periodo efficace di vibrazione della struttura. (UR6)

d) Attività prevista nel terzo anno

- Completamento del rilievo degli edifici in c.a. di Arma di Taggia. Analisi di dettaglio di alcuni edifici rappresentativi. Applicazione della nuova procedura basata sugli stati limite di deformazione all'area studio. Valutazione degli scenari di danno e confronto con metodi basati sull'approccio macrosismico.
- Analisi di vulnerabilità e scenari di danno per gli edifici in muratura, sia a scala sub-regionale sia nel centro storico di Taggia, con il metodo sviluppato sull'approccio *capacity-spectrum*. Confronto con i risultati del Task 3.

## 6. Soluzioni tradizionali e innovative per la riduzione del danno

Responsabile: Carlo Baggio

Ci si propone di individuare interventi per il miglioramento sismico, caratterizzati da efficacia e compatibilità con le esigenze di conservazione, coerenti con le tecniche costruttive degli edifici della Liguria Occidentale. Il risultato sarà un *codice di pratica*, organizzato per schede che, oltre a descrivere con accuratezza gli aspetti progettuali ed esecutivi di ogni tecnica, metteranno in luce i principi meccanici da cui discende il miglioramento. Ipotizzando diverse strategie di intervento nelle due aree campione

(ad esempio attraverso l'adozione sistematica di interventi di incatenamento) sarà possibile rielaborare con i modelli di vulnerabilità lo scenario di danno, verificando quindi in modo diretto il risultato in termini di abbattimento del rischio.

a) Risultati conseguiti alla fine del primo anno

- Le attività del Task 6 sono iniziate nel secondo anno.

b) Attività svolta nel secondo anno

- La ricerca storica d'archivio ha portato al reperimento di una normativa tecnica, emanata con Regio Decreto 13 novembre 1887, contenente le regole da osservare nella ricostruzione e restauro degli edifici danneggiati; tra le numerose indicazioni di cita: i nuovi edifici devono essere costruiti su terreni "di non dubbia stabilità"; gli edifici pubblici (scuole, ospedali, municipi) non devono avere più di 3 piani di altezza; per le chiese si deve preferire la forma a basilica (è vietato "l'uso delle volte nelle navate"); la costruzione delle volte reali è consentita soltanto nei sotterranei; porte e finestre devono stare a non meno di m 1.5 dallo spigolo esterno dei muri perimetrali; le interruzioni nella continuità dei muri maestri (condotte, canne fumarie, ecc.) devono essere eseguite in modo da non pregiudicare "la solidità dei muri". (UR2)
- Analisi della vulnerabilità di un'aggregazione complessa di cellule su pendio, nella sua realtà tridimensionale, con particolare attenzione alle connessioni murarie. Su alcuni tipi di connessione sono state condotte analisi meccaniche con ANSYS: gli elementi *gap* permettono la modellazione 3D di assemblaggi murari complessi in cui è schematizzabile la tessitura degli elementi anche nello spessore. (UR5)

c) Risultati ottenuti

- La normativa emanata nel 1887, che raccoglie il frutto di una diretta osservazione dei danni prodotti dal terremoto sul costruito ligure, rappresenta un punto di partenza per lo sviluppo di un *codice di pratica* degli interventi di miglioramento sismico.

d) Attività prevista nel terzo anno

- Individuazione di tecniche tradizionali ed innovative per interventi di miglioramento sismico su costruzioni in muratura nei centri storici e per le chiese. Sviluppo di modelli di calcolo per la verifica di efficacia dei suddetti interventi. (UR2-4-5-6-7)
- Esecuzione di prove sperimentali in scala su tavola vibrante di alcune connessioni murarie elementari. Alla luce dei risultati sperimentali e numerici saranno proposti metodi di mitigazione della vulnerabilità, privilegiando quelli tradizionali. (UR5)
- Elaborazione di un *codice di pratica* per interventi sul costruito ligure. (UR4-5)
- Elaborazione di scenari di danno virtuali, sia a scala urbana che sub-regionale, simulando l'adozione di diverse strategie di prevenzione sul costruito (manutenzione programmata, miglioramento leggero sulle costruzioni di una data tipologia, interventi sulle costruzioni più vulnerabili, ecc.). Confronto con gli scenari di danno nella situazione attuale ed analisi costi-benefici. (UR7)
- Valutazione della compatibilità degli interventi di miglioramento sismico,

previsti nel *codice di pratica*, con la conservazione dei manufatti storico artistici. (UR8)

- Elaborazione di un protocollo operativo per la gestione dei beni storico artistici in emergenza volto alla mitigazione dei rischi di danneggiamento o dispersione. Tale protocollo prevede: l'individuazione e la predisposizione, in collaborazione con la Soprintendenza, di uno spazio da adibire a deposito temporaneo delle opere d'arte; la definizione delle procedure per la protezione dei beni fissi in caso di emergenza sismica; la valutazione della compatibilità dei pronti interventi strutturali con la conservazione delle opere. (UR8)

## 7. Gestione informatica dei dati

Responsabile: Vera Pessina

### a) Risultati conseguiti alla fine del primo anno

- Sono stati raccolti, corretti ed inseriti nel GIS i dati disponibili: cartografia della Regione Liguria; censimento ISTAT del 1991 sulla popolazione; la localizzazione delle faglie; le mappe geologiche a scala 1:500.000 e 1:10.000 (solo per il comune di Taggia); il DEM (Digital Elevation Model) a scala 200x200m e 40x40m). (UR3-7)
- Si è proceduto ad un'analisi per l'adozione del software (ArcInfo e MapInfo) e si sono messe a punto procedure di compatibilità per lo scambio dei dati. (UR3)

### b) Attività svolta nel secondo anno

- Due sono le finalità che hanno motivato un'evoluzione metodologica nella gestione informatica dei dati del progetto. Da una parte la necessità di tenere aggiornato lo stato delle informazioni disponibili e delle conoscenze raggiunte nei vari *task* ha portato alla creazione di un CD di dati omogenei e corretti, condivisibili tra le UR (per quelle che non dispongono di un GIS, si sono archiviati i dati in un formato compatibile con ArcExplorer, che è *freeware*). Dall'altro lato si è proceduto a definire la struttura del sistema informativo, per soddisfare le esigenze di visibilità/diffusione del progetto e di pubblicazione dei risultati. Per far ciò è stato necessario:
  - Proseguire nella raccolta organica degli strati informativi (strati uniformati in formato shapefile ArcView, ArcInfo e MapInfo; controllati e corredati di metadati, previo controllo del loro contenuto informativo).
  - Definire la struttura del *project* ArcView, per essere consultabile su CD e, in futuro, essere messo a disposizione ad un'utenza più vasta. Si è proceduto: 1) alla sua personalizzazione come *kiosk application*; 2) al progetto dell'architettura dati, secondo alcune informazioni scelte; 3) alla creazione di interfaccia *friendly-user*.
  - Creare il CD di dati da distribuire internamente al progetto, scegliendo quali informazioni rendere condivisibili tra le diverse UR.
  - Definire il contenuto dei metadati (livello di precisione, attendibilità e qualità degli strati informatici) e creare una scheda per la raccolta degli stessi. (UR3)

c) Risultati ottenuti

- Progetto del CD contenente tutti gli strati informativi raccolti ed elaborati. (UR3)

d) Attività prevista nel terzo anno

- Distribuire il CD dei dati alle UR e raccogliere pareri e critiche a riguardo, coinvolgendo le UR nella progettazione del GIS (decidere contenuti e struttura).
- Terminare la raccolta dei contenuti e degli stati informativi prodotti dalle varie UR.
- Compilare le schede dei metadati per ogni informazione che si intende distribuire.
- Esportare la struttura del GIS in ambiente ArcIMS, il modulo Internet Map Server per la diffusione in rete dei dati del progetto, attraverso un browser.

## **Conclusione**

Il progetto sta procedendo coerentemente con le fasi inizialmente previste, a parte alcuni inevitabili cambiamenti, emersi come opportuni nello sviluppo del lavoro. La ricerca non si è limitata all'applicazione di strumenti consolidati, ma ha portato, in alcuni casi, allo sviluppo di nuove metodologie e modelli teorici di valore scientifico.

Nel terzo anno si procederà ad una completa integrazione tra i *task*, con lo sviluppo degli scenari di danno. I risultati del progetto saranno pubblicati su Internet e attraverso un rapporto scritto; inoltre sono previste alcune monografie, relative a singoli aspetti: pericolosità, vulnerabilità, *codice di pratica* degli interventi sul costruito, gestione nell'emergenza dei beni monumentali e storico-artistici.

Infine, si prevedono alcune iniziative di presentazione dei risultati del lavoro alle Amministrazioni Pubbliche ed alla società civile in genere. Ciò avverrà sia attraverso un convegno, a carattere prevalentemente divulgativo, sia con l'allestimento di una mostra fotografica sui beni storico-artistici-ambientali della Liguria Occidentale.

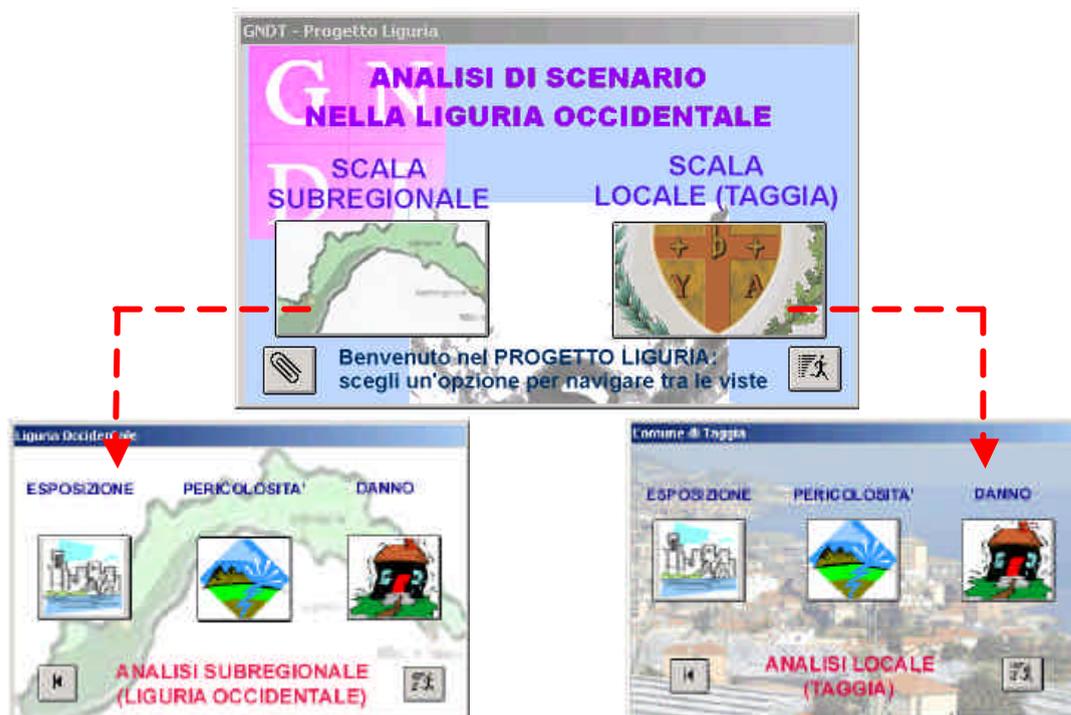


Figura 1. Navigazione tra i dati del Progetto Liguria Occidentale, con pulsanti che rimandano alle view "Esposizione", "Pericolosità", "Danno", per le analisi a scala sub-regionale e locale (Taggia).

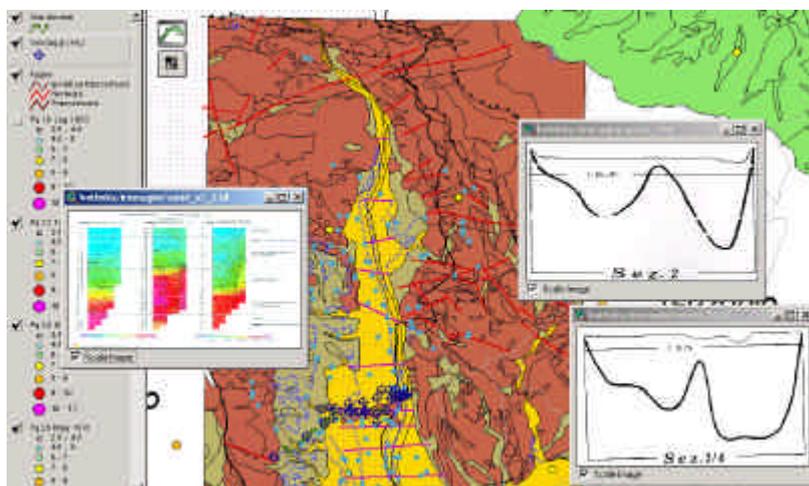


Figura 2. "Pericolosità" a scala urbana (Taggia) e interrogazione di alcune informazioni associate ai sondaggi ed alle sezioni geoelettriche.

## Scenari dettagliati e provvedimenti finalizzati alla prevenzione sismica nell'area urbana di Catania

Coordinatore: Prof. Michele Maugeri

### Introduzione

I principali argomenti di ricerca nel secondo anno di attività del Progetto riguardano: la caratterizzazione del moto atteso al suolo e gli effetti di sito; la vulnerabilità dell'ambiente fisico, delle infrastrutture viarie e del sistema urbano; la vulnerabilità ed il miglioramento sismico degli edifici per prevenire il danno. Per ognuno di questi argomenti l'attività di ricerca e gli obiettivi da raggiungere sono riportati nel seguito.

Gli obiettivi principali riguardo alla caratterizzazione del moto atteso al suolo e gli effetti di sito sono: modello di sorgente del terremoto di scenario; rilievo geologico di dettaglio e mappa geologica dell'area urbana di Catania; misure di microtremori; valutazione degli effetti di sito; accelerogrammi sintetici in superficie ed alle differenti profondità del "bedrock".

I principali obiettivi riguardo alla vulnerabilità dell'ambiente fisico, delle infrastrutture viarie e del sistema urbano sono: indagini su siti campione di rilevante interesse; prove in situ dentro i fori di sondaggio; campionamento indisturbato e prove di laboratorio in campo dinamico per valutare il comportamento non lineare del terreno; aggiornamento delle proprietà dinamiche del terreno e della mappa geotecnica includendo le stratigrafie di tutti i sondaggi ed i risultati delle misure geofisiche e delle prove di laboratorio; microzonazione sismica dell'area urbana di Catania; modellazione della vulnerabilità dei pendii al terremoto di scenario ed applicazione del modello alla frana di Monte Po, nell'area urbana di Catania; modellazione del fenomeno di liquefazione e dei relativi fenomeni di instabilità noti come "lateral spreading"; rilievo delle cavità presenti nel sottosuolo di Catania ed implementazione di una banca dati delle cavità rilevate; vulnerabilità delle infrastrutture viarie, incluso fenomeni di instabilità di pendii, di rilevati e di opere di sostegno che possono causare l'interruzione del sistema viario; valutazione della vulnerabilità del sistema urbano.

I principali obiettivi riguardo alla vulnerabilità ed al miglioramento sismico degli edifici per prevenire il danno sono: valutazione della tipologia costruttiva, prove di identificazione, valutazione della vulnerabilità e della resistenza al sisma di edifici monumentali; valutazione della vulnerabilità e della resistenza al sisma della più diffusa tipologia di edifici in c.a.; miglioramento sismico della più diffusa tipologia di edifici in c.a. con tecniche tradizionali ed innovative; realizzazione di un codice di pratica per il miglioramento della più diffusa tipologia di edifici in c.a.; trasferimento del codice di pratica agli Ordini Professionali ed ai tecnici; trasferimento agli Uffici del Comune del Sistema Informativo Territoriale (SIT), contenente la banca dati ed i risultati ottenuti dal Progetto di Ricerca; criteri di priorità per l'esecuzione dei lavori di miglioramento.

L'unità di ricerca N. 8 si è ritirata dal Progetto per difficoltà causate dalla riduzione temporanea del finanziamento per il secondo anno di ricerca; tuttavia gli obiettivi principali del Progetto di Ricerca non sono cambiati perché l'attività di ricerca prevista per l'U.R. N.8 sarà svolta dalla U.R. N.4 e dalla U.R. n.9.

### **Caratterizzazione del moto atteso al suolo ed effetti di sito**

La caratterizzazione del moto atteso al suolo e gli effetti di sito sono gli argomenti principali dell'attività di ricerca della U.R. n. 4 (Responsabile Scientifico: G. Lombardo), U.R. n. 5 (Responsabile Scientifico: G. Immè), U.R. n. 9 (Responsabile Scientifico: E. Priolo) ed U.R. n. 1, quest'ultima limitatamente alla valutazione degli effetti di sito (Responsabile Scientifico: M. Maugeri).

L'attività di ricerca della U.R. n. 4 può essere riassunta come segue:

- gli studi riguardanti le simulazioni dello "strong ground motion" prodotto nell'area urbana da diversi terremoti di scenario sono proseguiti confermando in parte i risultati già pubblicati. Contemporaneamente, sono state completate le analisi ed interpretazioni di un set di registrazioni di microtremori, i cui risultati sono stati oggetto di pubblicazione (Catalano et al., 2003);
- sono state realizzate ed analizzate numerose nuove campionature dei microtremori in aree campione ubicate nel centro storico ed in prossimità di particolari strutture tettoniche, ed inoltre sono state realizzate misure in siti caratterizzati dalla presenza di cavità ed in alcuni edifici storici e di civile abitazione;
- è stato realizzato un rilievo geologico di dettaglio, in una parte dell'area del centro storico di Catania consentendo un significativo miglioramento della carta geologica di Catania (Monaco et al., 2003).

L'attività di ricerca della U.R. n. 5 riguarda la realizzazione di misure in laboratorio di velocità sismiche in campioni di roccia sottoposti ad alte pressioni.

Sono state effettuate misure in laboratorio di velocità sismiche attraverso campioni di rocce di tipologie differenti. In particolare sono state sottoposte a compressioni ultrasoniche sia rocce vulcaniche della regione etnea sia carbonati appartenenti al suo basamento. Il set-up sperimentale per i tests di pressione consistevano di un generatore di impulsi e di un oscilloscopio digitale, in dotazione già dell'U.R. Si è potuto constatare che la velocità  $V_p$  è fortemente influenzata dalla presenza di microfratture e dalla mineralogia delle rocce. Tali velocità vengono anche influenzate dalle caratteristiche di anisotropia delle rocce. L'interesse per questo studio, nell'ambito del progetto, è legato alle informazioni fondamentali che se ne possono trarre dalla determinazione delle velocità di trasmissione delle onde sismiche in mezzi strutturalmente differenti, e al confronto con eventuali segnali provenienti da un sismometro sottomarino (Beranzoli and Favali, 2003), trasmessi attraverso cavi a fibre ottiche, ai fini della realizzazione di un sistema di pre-allarme sismico.

L'attività di ricerca della U.R. n. 9 riguarda: a) simulazione di terremoti (Laurenzano and Priolo, 2003) e risposta locale a Catania e nell'area circostante (Priolo et al., 2003); b) inversione del data-base aggiornato di intensità, per una migliore caratterizzazione della sorgente (Pettenati et al., 2003).

Nell'ambito del tema a) è stato simulato numericamente il terremoto della Sicilia Orientale del 13.12.1990 ( $M=5.8$ ), l'unico terremoto significativo registrato nell'area in esame. La valutazione degli effetti di sito del terremoto di scenario del 1693 ( $M=7$ ), è stata effettuata in sette siti attraverso un metodo 2-D, con lo scopo di analizzare come il campo d'onda si modifica durante il suo passaggio attraverso la sequenza degli strati di suolo più superficiali. I risultati di queste simulazioni sono stati usati anche dalla U.R. 1 per stimare l'applicabilità di un metodo 1-D (Grasso et al., 2003).

Le simulazioni numeriche sono state effettuate con il metodo agli elementi spettrali 2-D di Chebyshev. I siti studiati sono allineati lungo il transetto  $t_{01}$ , lo stesso che fu utilizzato per le simulazioni del terremoto distruttivo del 1693 di Catania durante il primo progetto (GNDT, 1999; Priolo, 1999). In questo studio, la struttura superficiale del modello è stata definita in dettaglio presso i sette siti prescelti usando tutte le informazioni geotecniche disponibili. I sismogrammi sono stati calcolati a differenti profondità, partendo dalla superficie, per studiare la propagazione del campo d'onda attraverso un centinaio di metri di suolo. La sorgente è posizionata lungo il segmento settentrionale della faglia Ibleo-Maltese ed ha meccanismo normale puro (Figura 1). La sorgente è definita da 5 sorgenti puntuali elementari, che sono usate per riprodurre la propagazione della rottura e la distribuzione eterogenea del momento sismico lungo la faglia in modo approssimato. Sono stati simulati quattro diversi tipi di distribuzione e rilascio di momento sismico.

A titolo di esempio dei risultati ottenuti, la Figura 2 mostra un confronto tra le risposte calcolate presso tre siti (rispettivamente i nn. 1, 3, e 5). La figura mostra le strutture 1-D dei siti, le forme d'onda calcolate ed i rapporti spettrali tra le accelerazioni calcolate ad alcune profondità e il ricevitore più basso, che è collocato nell'ipotetico bedrock.

Nell'ambito del tema b) sono state eseguite inversioni automatiche per la sorgente partendo da vari "data set" di intensità - fra cui Barbano e Rigano (2001) - disponibili per i due terremoti distruttivi del 1693, dei quali si sono quindi ottenuti i principali parametri cinematici e geometrici di sorgente. A seconda dei diversi cataloghi utilizzati, le sorgenti del 9 e dell'11/1/1693, ottenute per inversione, formano una faglia complessa segmentata e/o en-echelon orientata per NNE, lunga circa 60 km, da verticale a immergente ad alto angolo verso ESE o WNW, con meccanismo da strike-slip a 50% strike-slip e 50% dip-slip. Questa struttura attraverserebbe la Sicilia SE dal Plateau Ibleo fino quasi alla costa jonica a sud di Catania. Al limite dell'errore negativo la sorgente invertita per l'11 gennaio sarebbe compatibile con il decorso della linea Scicli-Ragusa-Monte Lauro, che affiora circa 12-14 km più ad ovest.

L'attività di ricerca della U.R. n. 1, riguardante gli effetti di sito, si è concretizzata nella valutazione di tali effetti in corrispondenza di 108 chiese, che sono state georeferenziate. La risposta sismica locale è stata valutata con un codice 1-D che tiene conto della non linearità del terreno (Grasso and Maugeri, 2003a).

### **Vulnerabilità dell'ambiente fisico, delle infrastrutture viarie e del sistema urbano**

La vulnerabilità dell'ambiente fisico, delle infrastrutture viarie e del sistema urbano sono i principali argomenti di ricerca delle U.R. n.1 (Responsabile Scientifico: M. Maugeri) e della U.R. n. 3 (Responsabile Scientifico: G. Dato).

L'attività di ricerca della U.R. n.1 può essere riassunta come riportato nel seguito.

La tecnica GIS (Grasso and Maugeri, 2003b) è stata utilizzata per la zonazione della vulnerabilità dell'ambiente fisico della città di Catania. In aggiunta al sito campione di via Stellata, sviluppato nel primo Progetto, i due nuovi siti campione di Piazza Palestro e della Chiesa di San Nicola alla Rena sono stati analizzati. Sondaggi, prove in situ e prove di laboratorio, incluse prove di colonna risonante e taglio torsionale ciclico sono state eseguite per valutare il comportamento non lineare del terreno. Sono in corso le indagini in due nuovi siti campione in corrispondenza di due

edifici la cui vulnerabilità è stata valutata in un caso nell'ambito del primo Progetto Catania e nell'altro caso nell'ambito di questo Progetto.

Per valutare il pericolo di instabilità dei pendii, due nuovi modelli sono stati sviluppati, di cui uno per pendii in argilla, la cui instabilità è influenzata dalla degradazione ciclica della resistenza (Biondi and Maugeri, 2003) ed uno per pendii in sabbia saturi, per i quali la stabilità è influenzata dall'incremento della pressione interstiziale (Biondi et al., 2002). Il modello riferito ai pendii in argilla è stato applicato per l'analisi degli spostamenti della frana di Monte Po in Catania (figg. 3 e 4). Il modello riferito a pendii in sabbia satura, è stato applicato a pendii lungo la costa di Catania, dove a causa della liquefazione fenomeni di rottura con forti spostamenti laterali sono possibili.

Un nuovo modello per l'analisi della capacità portante, tenendo conto anche delle forze di inerzia nel terreno sottostante la fondazione e solidale con essa è stato messo a punto, seguendo le indicazioni dell'Eurocodice EC8 (Maugeri and Novità, 2003). Il modello è stato applicato alla verifica delle fondazioni di un edificio in c.a. costruito a Catania, prima dell'entrata in vigore delle norme sismiche. Il fenomeno di interazione terreno-struttura è stato analizzato mediante prove su tavola vibrante; sono in corso di esecuzione applicazioni ai telai di un edificio in c.a. sito in Catania.

È continuato il rilievo delle cavità presenti nel sottosuolo di Catania per costituire una apposita banca dati. In particolare sono state esaminate: la Casa di Sant'Agata, la cavità di Piazza A. Di Benedetto, le cavità di via Lavandaie, il Pozzo Gammazita, la cavità di Piazza Currò e la Cripta della Chiesa di S. Agostino (Bonaccorso and Lo Giudice, 2003). Per quanto riguarda il sistema delle infrastrutture viarie una metodologia originale è stata sviluppata per valutare la funzionalità residua del sistema in caso di sisma, ai fini della libera circolazione dei soccorsi (Cafiso et al., 2003). Tale metodologia è stata applicata ad un'area del centro urbano di Catania. La vulnerabilità fisica delle strutture viarie è correlata alla stabilità delle opere di sostegno. A tal fine è stato elaborato un modello di calcolo (Caltabiano et al., 2003a), con particolare riferimento alla valutazione del fattore di sicurezza in caso di sisma (Caltabiano et al., 2003b).

L'attività di ricerca dell'U.R. n. 3 può essere sintetizzata nel modo seguente.

La vulnerabilità sismica del sistema urbano di Catania è considerata con una serie di relazioni tra le aree costruite e le aree vuote di collegamento. Sono state esaminate 1.346 aree vuote costituite da strade e piazze. Sono state definite le cause di esposizione della popolazione in ogni area vuota, dipendenti dalle attività praticate nelle contigue aree costruite. A questo fine le principali tipologie delle attività economiche sono state determinate mediante la compilazione di una apposita scheda. Il punteggio assegnato alle cinque categorie individuate (anno di costruzione del manufatto dove l'attività è localizzata, numero di fruitori per ora, funzione della strada, presenza di attività analoghe nel raggio di 300 m, vulnerabilità generale) ha il limite superiore di 50, che corrisponde al massimo indice di rischio. Per quanto riguarda la valutazione della vulnerabilità generale del sistema urbano di Catania, i seguenti fattori sono stati considerati: organizzazione delle strutture verticali (presenza di connessioni tra muri ortogonali); la natura delle strutture verticali (materiali impiegati e loro condizioni); localizzazione dell'edificio; tipo di fondazioni; distribuzione degli elementi resistenti; regolarità del progetto; presenza di appendici o aggetti; stato di fatto ed eventuali interventi di miglioramento o di mantenimento realizzati; unione di strutture.

## **Vulnerabilità e miglioramento sismico degli edifici per prevenire il danno**

La vulnerabilità ed il miglioramento sismico degli edifici per prevenire il danno sono i principali argomenti di ricerca della U.R. n. 7 (Responsabile Scientifico: G. Zingone), della U.R. n.2 (Responsabile Scientifico: G. Oliveto) e della U.R. n. 6 (Responsabile Scientifico: F. Braga).

L'attività di ricerca della U.R. n. 7 è stata dedicata alla definizione del modello di calcolo dinamicamente identificato della Chiesa di S. Nicolò l'Arena, che rappresenta uno dei più importanti monumenti del centro storico di Catania. Alla scelta del suddetto monumento si è pervenuti attraverso un'indagine di carattere diagnostico effettuata a mezzo schede appositamente elaborate, che hanno consentito di definire una scala di priorità basata sui livelli di vulnerabilità di 10 chiese ad una o più navate.

A tale scopo sono stati utili i risultati ottenuti nella prima fase del Progetto Catania.

Per l'acquisizione delle caratteristiche dinamiche in termini di accelerazione si è proceduto ad una prova vibrazionale in sito. Sono state impiegate moderne tecniche di identificazione strutturale, che consentono di potere definire modelli di calcolo di elevata attendibilità (fig. 5a) rispondenti a quelli reali in termini di frequenze e modi di vibrare. L'analisi del dominio del tempo e delle frequenze dei dati acquisiti hanno consentito di trarre utili informazioni sui valori delle rigidezze flessionali e torsionali e sullo stato di danneggiamento dei vari elementi strutturali. Il modello di calcolo dinamicamente identificato è stato utilizzato per la determinazione dei vari modi di vibrare, di tipo torsionale (fig. 5b) e flessionale (fig. 5c), che hanno messo in luce interessanti aspetti riguardanti: la vulnerabilità globale di primo e secondo livello e la resistenza sismica dei vari elementi strutturali; la formazione di meccanismi di probabile collasso di macro-elementi significativi del sistema strutturale.

L'attività di ricerca della U.R. n. 2 è stata dedicata ai problemi della valutazione della resistenza sismica e della vulnerabilità degli edifici esistenti, nonché a quelli dell'adeguamento antisismico di edifici esistenti vulnerabili. I due problemi sono stati considerati in stretta successione procedurale nel senso che preliminarmente è stata valutata la resistenza sismica, e di conseguenza la vulnerabilità, di un edificio esistente e successivamente è stato definito e valutato l'intervento di adeguamento antisismico elettivo per lo stesso edificio.

L'edificio considerato, costruito negli anni '70 e mai completato, presentava uno stato di degradazione che andava opportunamente valutato ai fini della determinazione della resistenza sismica attuale. In tale direzione sono stati applicati i procedimenti di valutazione della resistenza e della vulnerabilità sismica messi a punto nel corso del primo anno e che hanno trovato la loro collocazione nella letteratura nazionale (Oliveto et al., 2001) e internazionale (Oliveto et al., 2002). I risultati dell'analisi hanno messo in evidenza uno stato di alta vulnerabilità per la classe di sismicità attesa per il sito di costruzione. Tra i possibili sistemi di adeguamento antisismico, l'edificio in esame risultava particolarmente adatto all'applicazione delle tecniche di adeguamento mediante isolamento alla base. La struttura esistente risultava tuttavia vulnerabile anche per il terremoto filtrato dal sistema di isolamento alla base, per cui si rendeva necessario in ogni caso il suo irrigidimento. Esso veniva perseguito con la disposizione di modeste pareti in conglomerato cementizio armato che ponevano comunque interessanti problemi di modellazione (Marletta, 2003). Pertanto l'edificio adeguato si presentava dotato di un sistema di isolamento alla base e di un sistema di irrigidimento della sovrastruttura.

Lo studio ha messo in evidenza un comportamento interessante e peraltro atteso. La disposizione delle pareti, comportando un irrigidimento del sistema, ha determinato una diminuzione dei periodi di vibrazione dell'edificio attraendo forze sismiche maggiori. L'aumento di resistenza non è risultato tuttavia commisurato all'incremento di sollecitazione per cui, per certe direzioni del sisma, la resistenza sismica diminuiva anziché aumentare. L'intervento del sistema di isolamento, aumentando in misura considerevole i periodi di vibrazione e introducendo uno smorzamento addizionale, riduceva notevolmente le forze sismiche facendo in modo che il comportamento della sovrastruttura fosse essenzialmente lineare. I risultati degli studi sopra descritti sono stati presentati nel corso del Workshop sul secondo anno di attività del Progetto (Caliò and Marletta, 2003; Caliò et al., 2003); alcuni argomenti fanno parte del contenuto di una tesi di dottorato di prossima discussione (Marletta, 2003).

L'attività di ricerca della U.R. n. 6 ha riguardato due prodotti: un Codice di Pratica contenente indicazioni sulle strategie di intervento da attuare per ridurre il rischio sismico nella città di Catania (Braga et al., 2003) e lo sviluppo di un sistema intelligente per la valutazione della vulnerabilità delle strutture (Padula, 2003).

Il Codice di Pratica fornisce indicazioni sull'acquisizione dati, sulla valutazione della capacità prestazionale degli edifici e sulle strategie di intervento. L'impostazione del Codice è simile a quella delle raccomandazioni proposte dall'ATC 40 ("Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings"). Le metodologie proposte dall'ATC 40 saranno opportunamente calibrate sulla realtà presente sul territorio della Città di Catania. La calibrazione è in fase di attuazione.

La Banca Dati è un sistema integrato finalizzato alla valutazione della vulnerabilità sismica degli edifici in c.a. e costituisce un supporto al Codice di Pratica. E' un sistema integrato in quanto integra tra loro diversi moduli: 1) un sistema CAD per l'acquisizione dati; 2) un banca dati di tipo relazionale; 3) un sistema esperto; 4) algoritmi finalizzati ad elaborazioni meccaniche ed a sintesi di tipo statistico; 5) un sistema GIS per la gestione dei dati a livello territoriale.

## Conclusioni

Il primo Progetto Catania ha proposto un terremoto di magnitudo  $M=7$  per simulare il terremoto di scenario dell'11 gennaio 1693. Il terremoto di scenario proposto è caratterizzato da valori di accelerazioni di picco (PGA) variabili da 0.15 a 0.35g. Studi di dettaglio sono stati effettuati per approfondire le caratteristiche del terremoto di scenario e valutare le incertezze relative ai modelli applicati. A tal fine sono state considerate differenti distanze della sorgente sismica dalla città di Catania, variabili da 15 a 25 km, e diversi modelli di sorgente impiegati dalla U.R. n. 4 e dalla U.R. n. 9. A parità di distanza della sorgente sismica (15 Km) ed impiegando la stessa metodologia (SPEM) sono stati valutati gli effetti dovuti ad una sorgente estesa di tipo uniforme o con una o più asperità (U.R. n. 9). Un carattere innovativo è rappresentato dalla sperimentazione in laboratorio su campioni in roccia ad elevate pressioni (U.R. n.5), per i riflessi dei risultati sulle leggi di attenuazione. Misure di microtremiti eseguite in alcune aree campione hanno evidenziato significativi fenomeni di amplificazione locale, dovuti alle particolari condizioni geolitologiche del terreno (U.R. n. 4). In relazione al ruolo fondamentale giocato dalla natura geologica dei terreni è stato approfondito il modello geologico della città di Catania (U.R. n. 4), praticamente ignorato dal primo Progetto Catania. Gli effetti di sito sono stati altresì

studiati con diversi modelli di risposta di tipo 2-D ed 1-D. Una procedura innovativa è stata quella di generare accelerogrammi sintetici alla profondità corrispondente al bedrock convenzionale. Questo aspetto innovativo ha consentito di evidenziare significative amplificazioni del terreno che hanno fornito valori di accelerazione al suolo fino a 0.5g, considerevolmente maggiori di quelli massimi indicati dal primo progetto Catania.

Per quanto riguarda la vulnerabilità sismica dell'ambiente fisico (U.R. n. 1), oltre il sito campione di via Stellata studiato nel primo Progetto Catania, sono stati studiati altri due siti campione rappresentativi in Piazza Palestro ed in corrispondenza della Chiesa di San Nicola alla Rena, la cui vulnerabilità è stata studiata anche in campo strutturale. Altri due siti campione, ubicati in corrispondenza di un edificio esaminato dal primo Progetto Catania e di un edificio esaminato in questo Progetto sono in corso di studio. La simulazione della risposta del terreno con modelli 1-D ha mostrato una notevole influenza delle caratteristiche di non linearità del terreno sul moto atteso in superficie. Dai risultati ottenuti risulta preferibile impiegare nelle zone epicentrali e pianeggianti modelli 1-D non lineari rispetto a modelli 2-D lineari. Per l'analisi della vulnerabilità dell'ambiente fisico da frana, sono stati messi a punto due modelli innovativi di cui uno riferito a pendii in argilla ed uno riferito a pendii in sabbia satura. I modelli presentati a Riviste e Convegni internazionali sono stati applicati alla valutazione della pericolosità di frane nella città di Catania e del pericolo di liquefazione. Un altro elemento considerato, peculiare per la città di Catania, è la pericolosità derivante dalla presenza di cavità nel sottosuolo (U.R. n. 1). Un modello originale è stato altresì sviluppato per la valutazione della stabilità delle fondazioni, tenendo conto dell'inerzia del terreno sottostante la fondazione, come raccomandato dall'Eurocodice EC8. Un modello originale è stato infine sviluppato per la stabilità dei muri di sostegno in condizioni sismiche. Tale argomento è di rilevante importanza per la vulnerabilità delle infrastrutture viarie intese come elemento fisico. Una procedura originale è stata altresì elaborata per l'analisi della funzionalità delle infrastrutture viarie durante e dopo l'evento sismico (U.R. n. 1). Un ulteriore aspetto innovativo è rappresentato dall'esame della vulnerabilità sismica del sistema urbano, considerato nel suo complesso, ancorché analizzato con sistemi speditivi per quanto riguarda sia la vulnerabilità degli aggregati urbani sia la valutazione della esposizione della popolazione al rischio sismico (U.R. n. 3).

Una procedura originale è stata utilizzata per la identificazione strutturale della Chiesa di S. Nicola alla Rena (U.R. n. 7), nonché per l'esame della vulnerabilità e della resistenza al sisma di un edificio, per il quale è stato proposto un intervento di adeguamento sismico con sistemi innovativi (U.R. n. 2).

Per quanto riguarda lo stato di avanzamento della redazione del Codice di Pratica e del sistema integrato finalizzato alla valutazione della vulnerabilità degli edifici (U.R. n. 6), si può affermare che è stato già effettuato il 65% del lavoro.

I risultati ottenuti nel secondo anno di ricerca sono stati esposti e dibattuti nell'ambito del Workshop *"Detailed Scenarios and Actions for Seismic Prevention of Damage in the Urban Area of Catania"*, tenuto a Catania il 09-10 Gen. 2003, al quale hanno partecipato tecnici locali e ricercatori di altri progetti. Non essendo stato assegnato personale temporaneo al Progetto, come risulta dagli interventi nel Workshop, i risultati sono stati ottenuti con il contributo dei dottorandi (G. Biondi, A. Condorelli, S. Grasso, M. Marletta) che hanno in corso tesi con argomento inserito nell'ambito dei

temi di interesse del progetto e che fanno parte delle U.R. n. 1 e n. 2. Tuttavia per il secondo e terzo anno di attività il Progetto potrà avvalersi di un ricercatore a tempo determinato (M.R. Massimino) e di una borsista di post-dottorato (D. Novità), assegnati al Progetto con fondi dell'Università di Catania.

Complessivamente lo stato di avanzamento del Progetto ha consentito di raggiungere gli obiettivi previsti nel secondo anno di ricerca. In particolare sono stati completati gli aspetti di tipo metodologico nonché l'elaborazione di modelli originali ed innovativi. Nel terzo ed ultimo anno di attività è prevista l'applicazione di tali modelli e metodologie in aree campione dove tutte le U.R. lavoreranno con riferimento a: valutazione degli effetti di sito, microzonazione, valutazione della vulnerabilità dell'ambiente fisico (frane, liquefazione, cavità), vulnerabilità ed adeguamento di edifici campione. Dovrà essere altresì completamento il Codice di Pratica per gli edifici in c.a. ed il sistema esperto.

### **Pubblicazioni dei risultati ottenuti nel secondo anno di ricerca**

*Workshop su "Detailed Scenarios and Actions for Seismic Prevention of Damage in the Urban Area of Catania", Catania 9-10 Gen. 2003.*

- Beranzoli L., Favali P., 2003: SN-1 – The first Italian seafloor observatory for seismic monitoring.
- Biondi G., Maugeri M., 2003. Cyclic degradation effects on the Monte Po landslide of Catania.
- Biondi G., Grasso S., Maugeri M., 2003. Evaluation of the lateral spreading of the liquefiable soil at San Giuseppe La Rena (Catania).
- Bonaccorso R. and Lo Giudice E., 2003. Cavities and hypogeal structures of the historical part of the city of Catania.
- Braga F., Negri M., Nisticò N., Tanzillo M., 2003. A systematic approach concerning the assessment and strengthening of reinforced concrete buildings of the Catania city.
- Cafiso S., Condorelli A., Mussumeci G., 2003. Functional analysis of the urban road network in seismic emergency. A GIS application on Catania city.
- Caliò I., Marletta M., 2003. Seismic resistance of reinforced concrete buildings with shear walls.
- Caliò I., Marletta M., Vaccaro S., 2003. Seismic resistance of existing reinforced concrete buildings retrofitted by base isolation.
- Caltabiano, S., Cascone, E., Maugeri, M., 2003b. Seismic factor of safety evaluation for earthquake retaining walls.
- Campo G., 2003. The seismic vulnerability of the urban framework of Catania: scenarios and interventions.
- Catalano S., De Guidi G., Gresta S., Langer H., Lombardo G., Monaco C., Rigano R., Tortorici L., 2003: Geolithological features and site response in the town of Catania.
- Cavallaro, A., Maugeri M., 2003. Non linear behavior of sandy soil for the city of Catania.
- Diliberto E., Grasso S., Maugeri M. and Puglia A., 2003. Landslides vulnerability of the Catania city area.
- Grasso S., Maugeri M., 2003b. Vulnerability of physical environment of the city of Catania using GIS technique.
- Grasso S., Maugeri M., 2003a. Site Effects on the Cultural Heritage Areas of the city of Catania.
- Grasso S., Laurenzano G., Maugeri M. and Priolo E., 2003. Seismic response in Catania by different methodologies.
- Laurenzano G., Priolo E., 2003. Numerical modeling of the december 13, 1990 M = 5.8 eastern Sicily earthquake.
- Massimino, M.R., Maugeri, M., 2003. Shaking table test and numerical modelling of dynamic soil structure interaction.
- Maugeri, M., Novità, D., 2003. Evaluation of the dynamic bearing capacity of a masonry building by means of a characteristics line method.
- Monaco C., Catalano S., De Guidi G., Tortorici L., 2003: The Geological map of the urban area of

Catania (Eastern Sicily).

- Padula A., 2003. A shell for the construction of knowledge bases aimed at assessing the behaviour of RC buildings under seismic actions.
- Pettenati F., Gentile F. and Sirovich L. (2003). The sources of the two destructive earthquakes of 1693 retrieved by automatic inversion.
- Priolo E., Michelini A., Laurenzano G., Addia R. Puglia, A., 2003. Seismic response from microtremors in Catania (Sicily, Italy).
- Valente G., Zingone G., 2003. Methodology and techniques for seismic protection of the monumental patrimony.

*Pubblicazioni su caratterizzazione del moto atteso al suolo ed effetti di sito:*

- Barbano M.S., Rigano R., 2001: Earthquake sources and seismic hazard in Southeastern Sicily. *Annali di Geofisica*, **44**(4), 723-738.
- Barbano M.S., Rigano R., Cosentino M., Lombardo G. 2001. Seismic history and hazard in some localities of southeastern Sicily. *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, **42**(1-2), 107-120.
- Cavallaro A., Grasso S., Maugeri M. (2002): "Seismic Geotechnical Hazard and soil response analysis for the historical ecclesiastical buildings of the city of Catania". 7th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Boston, 21-25 July, 2002, Paper No. 308.
- Fontana E.; Imme' G.; La Delfa S.; Lo Nigro S.; Morelli D.; Patane' G., 2002. Considerazioni preliminari sulla correlazione fra attivita' sismica ed emissione di radon sull'Etna. 21° Convegno Nazionale - Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida. vol. 1 pp. 307-309.
- Gentile F., Pettenati F. and L. Sirovich (2002). Instrumental Validation of the Automatic Source-Parameter Inversion of The USGS Intensities of the Whittier Narrows, California, 1987 Earthquake. *Conv. GNGTS*, 19-21 nov. 2002, extended abstract.
- Giampiccolo E., Gresta S., Mucciarelli M., De Guidi G., Gallipoli M.R., 2001. Information on subsoil geological structure in the city of Catania (Eastern Sicily) from microtremor measurements, *Annali di Geofisica*, **44**, 1, 1-11.
- Laurenzano G., Priolo E., and Michelini A., 2001. Seismic response from microtremors in Catania (Sicily, Italy). EGS 2001, XXVI General Assembly, Nice (France), March 25-30, 2001.
- Lombardo G., Coco G., Corrao M., Imposa S., Azzara R., Cara F., Rovelli A., 2001: Results of microtremor measurements in the urban area of Catania (Italy). *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, **42**(3-4), 317-334.
- Lombardo G., Rigano R., 2002: Site effects in proximity of tectonic structures. E.S.C. XXVIII General Assembly, SCF-3, Sept. 2002 Genova, 279.
- Pettenati F. and Sirovich L., 2003. Test of source parameters inversion of the USGS intensities of the Whittier Narrows, 1987 Earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*, in press.
- Pettenati F., Gentile F. e L. Sirovich (2002). Sorgenti degli eventi del 1693 da inversioni automatiche delle intensita'. *Atti Conv. GNDT*, 2-3 dic. 2001, CD-ROM.
- Priolo E., 2001. Validation of ground motion modelling with experimental data: the site of the accelerometric station of Catania. EGS 2001, XXVI General Assembly, Nice (France), March 25-30, 2001.
- Priolo E., 2001. Earthquake ground motion simulation through the 2D spectral element method. *J. Comput. Acoustics*, **9**(4), 1561-1581.
- Priolo E., 2001. Deterministic ground motion prediction for a destructive earthquake in Catania (Sicily, Italy). EGS 2001, XXVI General Assembly, Nice (France), March 25-30, 2001.
- Priolo, E., Michelini, A., Laurenzano, G., Addia, R., and Puglia, A., 2001. Seismic response from microtremors in Catania (Sicily, Italy). *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, Special Issue on "Site response estimation from observed ground motion data", Eds.: E. Priolo, A. Michelini, and L. Hutchings, 335-359.
- Sirovich L. and Pettenati F., 2001. Test of source parameters inversion of the intensities of a 54,000-death shock of the XVII Century in SE Sicily. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **91**, 4, 792-811.
- Trovato C.; Vinciguerra S.; Imme' G., 2003: Laboratory measurements of seismic velocities on rocks from Etna Region (Italy). *European Geophysical Society, Nice*. vol. 1 pp. 78-80.

*Pubblicazioni su vulnerabilità dell'ambiente fisico, delle infrastrutture viarie e del sistema urbano:*

- Biondi G., Cascone E., Maugeri M., 2001: "Flow and deformation failure of sandy slopes". Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol.22, pp. 1103-1114.
- Biondi G., Cascone E., Maugeri M., Motta E., 2002: "Earthquake effects on the displacements of the liquefiable slopes". Topic: 2.2 - "Dam and Slopes". 12-th European Conference on Earthquake Engineering, Londra, 12-16 September 2002.
- Bonaccorso R. and Lo Giudice E., 2002. Vulnerabilità al sisma delle cavità e delle strutture ipogee nel centro urbano di Catania. Atti Convegno: Verso una città sicura: strumenti tecnici e normativi per la riduzione dei rischi in un'area ad elevata sismicità. Maugeri e Grasso editori. Le Nove Muse, Catania, dicembre 2002, pp. 60-68.
- Caltabiano, S., Cascone, E., Maugeri, M., 2003a. Sliding stability of retaining walls with different surcharge conditions. Submitted to Geotechnique.
- Campo G., 2002. Città e territori a rischio: analisi e piani di prevenzione civile. Atti Convegno: Verso una città sicura: strumenti tecnici e normativi per la riduzione dei rischi in un'area ad elevata sismicità. Maugeri e Grasso editori. Le Nove Muse, Catania, dicembre 2002, pp. 60-68.
- Castelli F., Maugeri M., 2002: Analisi del dissesto di una paratia per il sostegno di uno scavo. Atti XXI Convegno Nazionale di Geotecnica. L'Aquila, 11-14 Settembre 2002, pp. 283-289.
- Grasso S., Maugeri M., Puglia A., 2002: Sistema informativo territoriale per la zonazione del rischio di frana nel centro abitato di Catania. Atti XXI Convegno Nazionale di Geotecnica. L'Aquila, 11-14 Settembre 2002, pp. 283-289.
- Maugeri M., 2002: "Dynamic response of geomembranes liners", Chapter 4 of Special Publication of TC5 Committee of ISSMGE on Environmental Geotechnics.
- Maugeri M., Grasso S., 2002. Scenari dettagliati e provvedimenti finalizzati alla prevenzione sismica nell'area urbana di Catania. Atti Convegno Verso una Città sicura: strumenti tecnici e normativi per la riduzione dei rischi in un'area ad elevata sismicità. Maugeri e Grasso editori. Le Nove Muse Editrice, Catania.
- Maugeri M., Novita' D., Taylor C., 2002: Unidirectional shaking table tests of 1:6 reduced scale steel model. Topic 2.4 – Soil structure interaction". 12th European Conference on Earthquake Engineering, Londra, 12-16 September 2002.
- Teramo A., Maugeri M., Bottari C., Termini D., 2002: On a quick seismic microzonation on wide areas. Special Issue on the 90th anniversary of the Messina Great Earthquake. International Journal of Pure and Applied Geophysics.

*Pubblicazioni su vulnerabilità e miglioramento sismico degli edifici per prevenire il danno:*

- Cavaleri L., Zingone, G. (2000). Structural identification and potential systems. 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 30 January - 4 February 2000, paper No.0043.
- Cavaleri L., Cucchiara, C., Tommaselli, A., Zingone, G., 2001. Static and dynamic tests of a strengthened vault made of calcarenite ashlar. 9th Canadian Masonry Symposium. New Brunswick (Canada) 4,5,6, June 2001.
- Cavaleri L., Zingone, G. (2001). Some experiences about the retrofitting of tower masonry structures. ERES 2001, Malaga, 4-6 September, 2001.
- Cavaleri L., Cucchiara C., Tommaselli, A., Zingone, G., 2001. Comportamento meccanico di una volta in conci di calcarenite rinforzata con CFRP. Rivista Ingegneria Sismica N. 3/2001.
- Marletta M., 2003. Vulnerabilità sismica e adeguamento di edifici in cemento armato. Tesi per il conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria delle Strutture. Tutor: G. Oliveto, I. Calì. Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Catania.
- Oliveto G., Calì I., Marletta M., 2001. Resistenza di un edificio in c.a. realizzato nella città di Catania antecedentemente all'entrata in vigore della legge sismica. In: E. Cosenza (editor), Comportamento sismico di edifici in cemento armato progettati per carichi verticali: applicazioni all'edilizia della città di Catania, CNR-GNDT, Esagrafica. Roma, ISBN: 88-88151-02-8.
- Oliveto G., Calì I., Marletta M., 2002. Seismic resistance and vulnerability of reinforced concrete buildings not designed for earthquake action. In: G. Oliveto (editor), Innovative Approaches to Earthquake Engineering. WIT Press, Southampton (UK), ISBN: 1-85312-885-6.

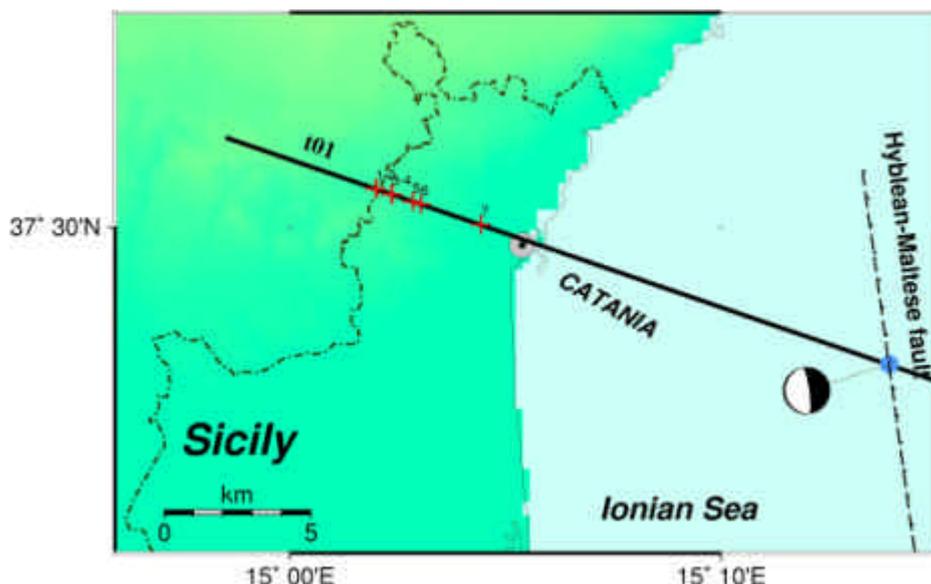


Figura 1. Mappa dell'area studio, illustrante la posizione del transetto e la localizzazione dei siti. Il cerchio blu mostra la posizione assunta per il terremoto di riferimento dell'11 gennaio 1693.

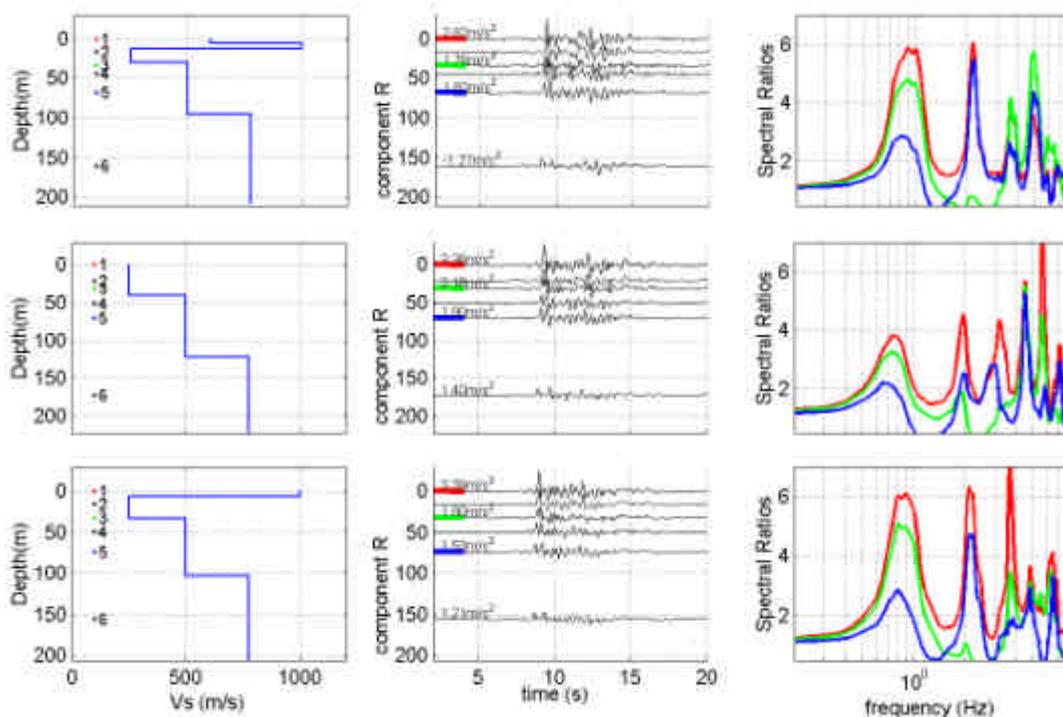


Figura 2 Risposta dei siti n. 1, 3 e 5 calcolata per una distribuzione di momento sismico caratterizzata da una asperità dominante. Profilo  $V_s$  (sinistra), storie temporali di accelerazione radiale (centro), e rapporti spettrali tra le accelerazioni calcolate a differenti profondità (ricevitore n. 1 (colore rosso, alla superficie del suolo), 3 (verde, a  $z \approx 35$  m) e 5 (blu, a  $z \approx 70$  m)) ed il ricevitore n. 6, posizionato all'interno del bedrock alla profondità di 170 m.

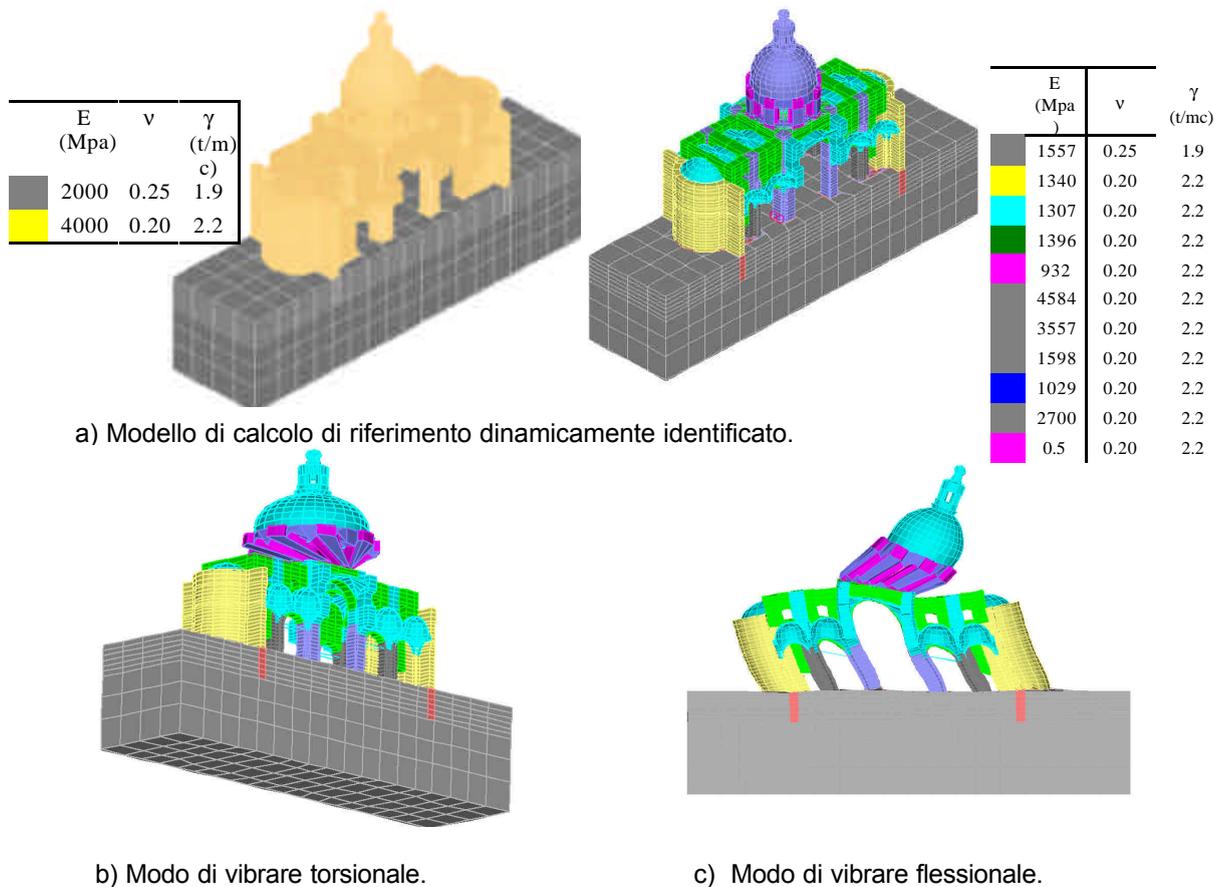
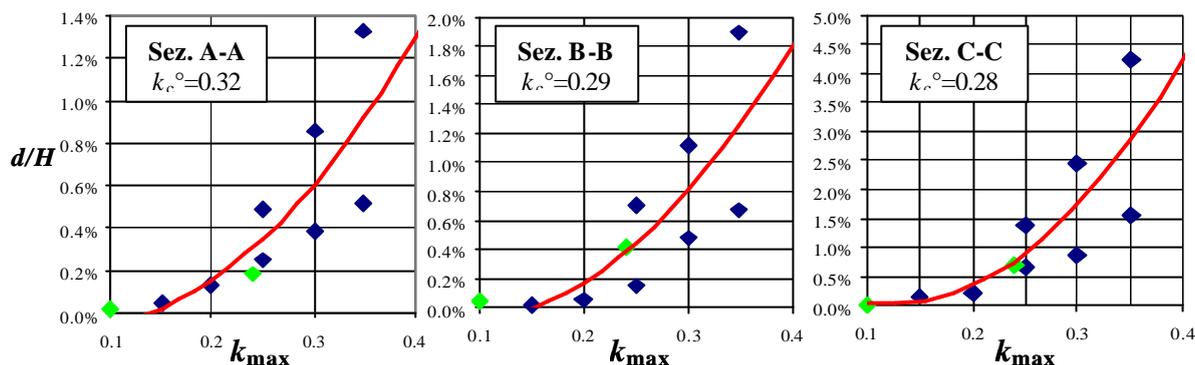
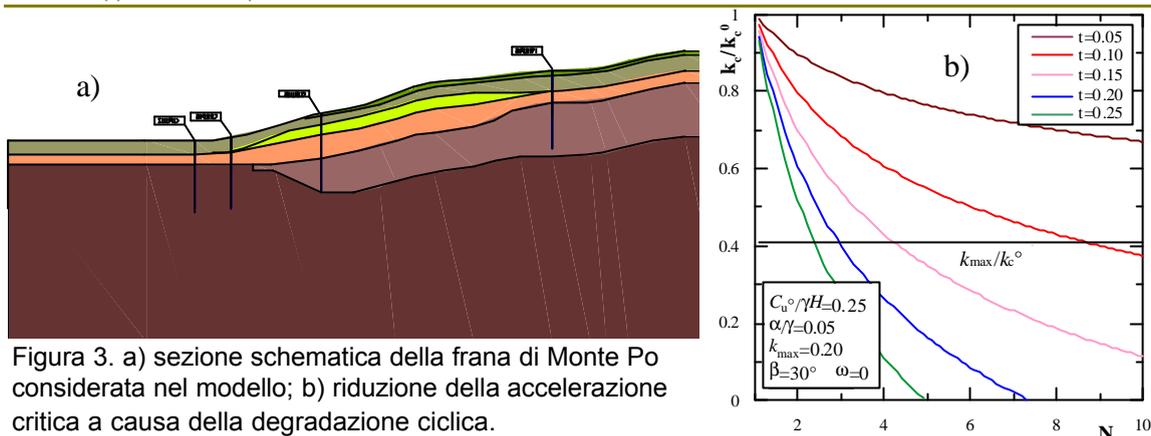


Figura 5. Modello numerico dinamicamente identificato della Chiesa S. Nicola alla Rena in Catania.

## Scenari di danno nell'area veneto-friulana

Coordinatore: Prof. Marcello Ruscetti

### INTRODUZIONE

L'obiettivo del progetto è la definizione del potenziale sismogenetico della regione considerata e la configurazione di alcuni scenari di danno nel test-site di Vittorio Veneto. A ciò si intende arrivare dopo una revisione completa del catalogo sismico onde valutarne, soprattutto, la completezza, la rilocalizzazione dei principali terremoti storici e la definizione parametrica delle principali sorgenti.

A partire da questi dati si vuole modellare la risposta di sito, in prima approssimazione in tutta la regione, ed in dettaglio a Vittorio Veneto dove verranno condotti studi dettagliati di microzonazione, di vulnerabilità sismica e di esposizione.

I due terremoti di scenario prescelti sono quello del Cansiglio (1936) e quello associabile alla struttura del Montello. Parallelamente si affronta il tema della vulnerabilità del sistema viario per ciò che riguarda i ponti.

### Sottotema 2.1 – Faglie attive dell'Italia nordorientale ed ipotesi di nuova zonazione sismogenica (A.Rebez)

Il principale obiettivo del secondo anno era quello di arrivare ad una definizione cinematica delle faglie attive nel nord-est Italia. La nuova visione delle sorgenti sismogenetiche nella parte orientale delle Alpi Meridionali è frutto della collaborazione tra CNR-IGAG e RU Uni-Udine. Le ipotesi di zonazione sismica per il nordest Italia sono state fatte in collaborazione tra CNR-IGAG e il coordinatore del task 2.3 (A. Rebez)

L'area prealpina Veneto-Friulana rappresenta il fronte della parte orientale delle Alpi Meridionali, caratterizzata da sovrascorrimenti SSE vergenti che si estendono dal Lago di Garda al Friuli, in evoluzione dall'Oligocene Superiore. In questo studio sono state definite le faglie attive e tutte le strutture tettoniche che hanno mostrato attività tettonica almeno dal Pleistocene. Le informazioni che sono servite per l'individuazione, la descrizione (sia della parte superficiale che in profondità) ed infine per la parametrizzazione delle faglie attive deriva da: 1) una mappatura di dettaglio dei depositi Quaternari (parzialmente all'interno del Progetto di cartografia geologica nazionale CARG – fogli Maniago e Udine); 2) mappatura geomorfologica e morfotettonica delle aree studiate; 3) analisi delle foto aeree; 4) analisi cinematica delle strutture individuate; 5) analisi e reinterpretazione delle sezioni sismiche della pianura Friulana (ENI/Agip) e di quella Veneta (British Gas).

Sin dall'inizio del 2002, sono state ipotizzate delle geometrie relative alle sorgenti sismogenetiche per l'area studiata basate sulla segmentazione del sistema di sovrascorrimenti che caratterizzano la parte settentrionale della pianura Veneto-Friulana. La nuova segmentazione deriva da uno studio geomorfologico a larga scala e da dati strutturali (superficiali e non). I dati strutturali sono stati forniti dalla unità di ricerca Uni-Udine e sono stati ampiamente verificati e discussi allo scopo di: 1) provare l'attendibilità dei dati geomorfologici relativi alle estremità dei singoli segmenti; 2) definire le geometrie profonde. Le formulazioni di ipotesi sulle geometrie

in profondità delle faglie risulta di fondamentale importanza per definire realmente le zone sismogenetiche. Una volta ipotizzate le strutture e la loro geometria profonda sono state fatte anche delle ipotesi sulle “thrust ramps” cioè quelle parti dei piani di faglia che sono caratterizzate dal maggior angolo. Noi crediamo infatti che le “thrust ramps” costituiscano la porzione attiva delle strutture compressionali che sono adatte a rilasciare eventi sismici. Le geometrie delle sorgenti indicano che mentre la lunghezza di una singola struttura è la stessa del segmento superficiale la larghezza in profondità è stata corretta per la rappresentazione in pianta.

Sono state formulate delle specifiche ipotesi di associazione terremoti-faglie basate principalmente sul confronto della geometria delle strutture e la distribuzione del danneggiamento dei terremoti storici. È stata inoltre valutata la consistenza delle stime di Mw ottenuta dalle classiche equazioni che legano questa quantità alla lunghezza di faglia a quelle che derivano dai valori di M associate ai terremoti in catalogo.

Dai dati disponibili è possibile individuare 10 principali strutture tutte associate a sovrascorrimenti nella regione che va da Tivoli (Veneto) a Pozzuolo (Friuli). Ogni struttura è stata parametrizzata nella definizione della sua geometria (lunghezza del piano di scorrimento, area di rottura, ...), cinematica (rake, slip rate – anche se con bassa attendibilità), magnitudo Mw associata e terremoto storico associato. Due di queste strutture sono da considerarsi silenti. Una di queste, la struttura Montello-Conegliano è particolarmente interessante per il progetto Vittorio Veneto. La assenza di un terremoto storico associato e il probabile comportamento silente degli ultimi otto secoli definiscono un alto livello di pericolosità. Questa struttura insieme con quella Monte Consiglio-Monte Cavallo e Polcenigo-Maniago dovrebbero essere usate per definire gli scenari di danneggiamento dell'area studiata.

Le strutture individuate sono state utilizzate per disegnare una nuova zonazione sismogenica per il nordest Italia. La prima zona è stata disegnata tracciando un poligono che include tutte le sorgenti che possono essere legate ai terremoti di magnitudo  $M=6$ . Questa zonazione è definita infatti a “strati”. La seconda e più larga zona include tutti i terremoti con magnitudo con  $5.1 \leq M \leq 5.9$ , mentre la terza contiene i terremoti con  $M=5$ . Su questa zonazione sono in corso dei test allo scopo di verificarne il grado di efficienza.

Anche sulla struttura silente Maniago-Ragogna sono in corso ulteriori approfondimenti. In particolare sono stati eseguiti durante l'anno degli studi geomorfologici a larga scala sul bacino di Squallone, mediante l'analisi di fotogrammetria aerea, con lo scopo principale di definire l'origine del bacino stesso. Sono stati inoltre datati, con il metodo del Radiocarbonio, dei depositi da pozzo sempre con lo scopo di definire la geocronologia del bacino. Queste analisi continueranno nel corso del 2003 e i risultati verranno pubblicati alla fine del progetto in corso.

***Inversione di intensità macrosismiche per le faglie di terremoti storici*** - Sono state eseguite tre tipi di analisi:

A) la validazione della nostra nuova tecnica di inversioni automatiche per la sorgente. L'inversione, che è stata utilizzata per validare tale tecnica, è stata prodotta ancora con la relazione  $I/KF$  calibrata su dati californiani (I è l'intensità macrosismica, e KF è la grandezza adimensionale radiata dalla sorgente sismica nel modello cinematico

KF). Le inversioni sono state eseguite con due tecniche diverse: mediante il calcolo di tutte le possibili soluzioni (grid-search), e mediante l'uso di un algoritmo genetico con più popolazioni che si possono evolvere in modo semi-indipendente (Niching Genetic Algorithm, NGA). L'uso dei dati californiani si è reso all'inizio indispensabile perché solo nella zona di Los Angeles erano disponibili: i) buoni dati macrosismici di più terremoti, riferiti agli stessi siti (con conseguente minimizzazione delle eventuali deviazioni sistematiche dovute ad effetto di sito), ii) terremoti con sorgenti ben note attraverso misure sismometriche. In particolare, abbiamo invertito con successo la sorgente del terremoto di Whittier Narrows, 1987; la validazione è avvenuta mediante confronto con risultati consolidati provenienti da elaborazioni di misure strumentali.

B) per tarare una nuova relazione I/KF nell'Italia del NE, avevamo bisogno di nuove inversioni nell'area. Durante il 2002, è emerso che il data set di intensità disponibile per il terremoto del 6 Maggio 1976 in Friuli non era pronto per venire trattato a causa dell'assenza della parte del campo osservato compreso nei confini austriaci e sloveni. Abbiamo quindi dovuto preparare un nuovo database, georeferenziando per ora i dati austriaci. Abbiamo infine invertito per la sorgente i dati di intensità del DOM4.1 per il terremoto di Tolmezzo del 1928, e i relativi risultati sono stati validati perché sono compatibili con l'ipocentro e la fault-plane solution disponibili su base strumentale indipendentemente dal nostro studio.

C) abbiamo eseguito l'inversione automatica delle intensità dei due maggiori terremoti che colpirono Vittorio Veneto negli ultimi secoli: gli eventi di Bosco Cansiglio (1936) e di Belluno (1873). Abbiamo trattato, e con diverse tecniche, sia la base dati di DOM4.1 che quella di CFTI. Per quanto riguarda l'evento del 1936, la validazione è stata ottenuta mediante confronto dei parametri di sorgente da noi ricavati con quelli ottenuti per via strumentale indipendentemente dal nostro studio. La sorgente del 1936 risulterebbe essere stata un segmento del cosiddetto Sovrascorrimento di Aviano. Questo risultato appare convincente. Due diversi modelli a minima varianza sono stati trovati per via automatica per l'evento del 1873, uno dei quali, quello con direzione NW-SE, più verosimile dal punto di vista sismotettonico. Comunque sia, la sorgente del 1873 non appare compatibile con quella del 1936; in particolare, essa è ubicata più a nord. Questi risultati suggeriscono la presenza di almeno due potenziali sorgenti sismiche nell'area.

***Valutazione di completezza, su base storica, dei dati del catalogo sismico CPTI nell'area corrispondente alle ZS n. 5 e 6 (Belluno/Cansiglio e Asolo/Vittorio Veneto) - Obiettivo -***

Determinazione degli intervalli temporali di completezza per i terremoti con  $M = 5.5$  nelle zone suddette, da utilizzarsi in sede di valutazioni di hazard con metodi convenzionali. Le ricerche svolte hanno riguardato in primo luogo la località di Vittorio Veneto, e inoltre quelle di Belluno, Asolo, Treviso, Bassano del Grappa per il periodo 1100-1899.

È stata compilata per ciascuna località una storia sismica che contiene sia le osservazioni macrosismiche disponibili nelle banche dati DOM e CFTI sia i valori di intensità calcolati (a partire dal catalogo CPTI) per quei terremoti per i quali non si dispone di dati osservati nelle località considerate.

Ciascuna storia sismica così ottenuta è stata analizzata per comprendere quale fosse il background informativo sinora utilizzato dagli studi storico-macrosismici. Ne

sono emerse indicazioni utili a orientare il momento successivo della ricerca, teso a individuare e consultare nuova documentazione storiografica e fonti primarie.

L'insieme degli elementi raccolti ha permesso di formulare una prima ipotesi degli intervalli di completezza delle informazioni per diverse classi di intensità, rappresentata sia in forma di tabella sia come linea spezzata evidenziata nella storia sismica per ciascuna località.

### **Sottotema 2.2 – Modelli di attenuazione nell'Italia nordorientale**

Coordinatore: D. Slejko

Poiché lo scopo del task 2.2. è quello di sviluppare nuove relazioni di attenuazione regionali utili per i calcoli di pericolosità sismica per l'area di Vittorio Veneto, è stata fatta un'analisi dettagliata dei risultati finora ottenuti e questa ha portato a una loro revisione con conseguente loro sensibile miglioramento. Più precisamente, sono stati studiati gli effetti provocati dal troncamento dati e dalla qualità delle stime di magnitudo usate ed è stata analizzata la dipendenza del modello di attenuazione da certi parametri. È stata ottenuta alla fine una nuova relazione di attenuazione che, tenendo in debito conto l'effetto di saturazione con la magnitudo, risulta valida sia per nel campo "weak" che "strong motion".

Per fare ciò, è stata aggiornata al febbraio 2002 la collezione di registrazioni ed è stata abbassata la soglia di magnitudo da 3 a 2,5. Sono state inserite, anche, le registrazioni del terremoto del Friuli 1976 dal database europeo di registrazioni "strong-motion". L'insieme conta ora 1032 registrazioni tra "strong" e "weak motion".

Durante il primo anno di progetto era stata considerata la magnitudo da durata per i terremoti recenti in Friuli. Poiché sono state messe a punto dal CNR di Milano delle metodologie di simulazione numerica del sismometro Wood-Anderson ed è stata calibrata una scala di magnitudo per l'Italia nordorientale, è stata calcolata con questo approccio la magnitudo locale per tutte le scosse del nostro insieme di dati.

I dati relativi a un terremoto sono incompleti a causa della modalità di registrazione a trigger delle stazioni. I campioni disponibili constano solo di osservazioni al di sopra di una certa soglia, risultano cioè, in termini statistici, troncati a sinistra. Il troncamento può condizionare significativamente i risultati della regressione. Per ovviarlo, si è fatto ricorso a tecniche note di regressione con dati troncati con soglia fissa e si è anche sviluppata una nuova tecnica per la regressione con soglia casuale. Si è osservato che, per i dati disponibili, la casualità del troncamento può essere trascurata e si può assumere, per ciascuna stazione, un troncamento fisso al più piccolo valore osservato.

Le suddette tecniche sono state utilizzate per calcolare i coefficienti della relazione:

$$\log(y) = a + (b + cM)M + (d + eM^3)\log(r)$$

$$r = (D^2 + h^2)^{1/2}$$

per tutto il nostro insieme di dati da magnitudo 2,5 a 6,3. Le regressioni sono state fatte sia per PGA che per SA e i risultati sono in buon accordo con quelli in letteratura per magnitudo alte mentre per magnitudo più basse (5-6) l'accordo vale solo nel campo vicino mentre a maggiori distanze il nostro nuovo modello attenua più velocemente.

### Sottotema 2.3 - Modellazioni del moto del suolo e scenari di scuotimento sismico

**Scenario di scuotimento a scala regionale per il terremoto  $M=5.8$  del Consiglio del 18 ottobre 1936** - È stato concluso il lavoro, iniziato nel primo anno con le modellazioni a sorgente puntuale, di simulazione del terremoto del Consiglio con la costruzione di scenari di scuotimento per sorgente estesa. Il modello strutturale usato nelle modellazioni è il modello differenziato per aree di pertinenza dei maggiori elementi strutturali. Al fine di considerare un numero esaustivo di possibili scenari di sorgente estesa, sono state ipotizzate tre diverse distribuzioni del momento sismico ed un elevato numero (160) di punti di enucleazione della rottura. Ad un dato sito (ovvero, ricevitore), lo scenario consiste nella statistica costruita sul set di valori di un certo indicatore di scuotimento (ad esempio, PGA) ottenuto dalle simulazioni effettuate per tutti i modelli di sorgente, e cioè la media, la prima deviazione standard, ed i valori massimo e minimo. Lo scenario ottenuto per il sito di Vittorio Veneto è illustrato in Figura 1. In questo sito il valore medio di PGA è di circa  $60 \text{ cm/s}^2$  per la componente orizzontale e di  $30 \text{ cm/s}^2$  per la verticale. Si noti come valori fino a tre volte maggiori (che corrispondono alla media più la prima deviazione standard) presentano un'elevata probabilità di occorrenza. Il massimo assoluto raggiunge i  $500 \text{ cm/s}^2$ , ed è un valore possibile seppure improbabile.

**Validazione - Modellazione di alcuni eventi deboli** - Il metodo utilizzato per il calcolo dei sismogrammi sintetici e la costruzione di scenari di scuotimento a scala regionale è stato validato tramite la modellazione di tre terremoti deboli ( $2.7 < M < 3.2$ ). I tre eventi sono localizzati a breve distanza dall'evento del Consiglio e sono stati registrati dalle stazioni della rete sismometrica dell'OGS. Il confronto tra i sismogrammi sintetici e quelli registrati è più che soddisfacente, e mostra che sia l'ampiezza che i tempi di arrivo delle fasi principali sono riprodotti correttamente. Invece, i sismogrammi registrati hanno una lunga coda che probabilmente è dovuta alla risposta di sito o allo scattering del mezzo. Per investigare questi aspetti è necessaria una più specifica analisi.

**Scenario di scuotimento a scala regionale per un ipotetico terremoto  $M=6.7$  nell'area del Montello** - Lo scopo di questo lavoro è la costruzione di uno scenario deterministico di scuotimento sismico, per un ipotetico terremoto di riferimento localizzato lungo la faglia inversa del Montello. Le modellazioni sono effettuate con il *Wavenumber Integration Method (WIM)*. La metodologia seguita è molto simile a quella utilizzata per la modellazione dell'evento del Consiglio, eccetto per alcune modifiche migliorative che sono state apportate alla procedura, come l'interpolazione dei sismogrammi sul piano di faglia e l'aggiunta di una componente stocastica ai sismogrammi calcolati in modo deterministico. Per la modellazione della sorgente estesa, sono state ipotizzate tre diverse distribuzioni del momento sismico ed un elevato numero (338) di punti di nucleazione

**Scenari dettagliati di scuotimento a Vittorio Veneto per l'evento del Consiglio** - Lo scopo è di costruire uno scenario di scuotimento dettagliato lungo alcuni transetti che attraversano l'area di Vittorio-Veneto. Le modellazioni sono state effettuate con il

metodo agli elementi spettrali 2-D (SPEM 2-D), che permette di risolvere la propagazione del campo d'onda sismico attraverso una struttura geologica complessa. Il campo d'onda è calcolato lungo piani verticali, orientati in direzione NE-SW. L'evento di riferimento è il terremoto  $M=5.8$  del Cansiglio del 18 ottobre 1936. Il modello strutturale è stato costruito utilizzando le sezioni geologiche disponibili, mentre per la definizione di dettaglio della parte più superficiale saranno utilizzate le informazioni ottenute dai risultati delle indagini geofisiche attualmente in corso, che forniranno informazioni sulla geometria e le proprietà fisiche dei suoli superficiali.

**Pericolosità sismica regionale** - Ad integrazione della modellazione deterministica del moto del suolo per il sito di Vittorio Veneto è stata calcolata la accelerazione probabilistica di progetto. Per ottenere questo risultato è stata stimata la pericolosità sismica secondo l'approccio di Cornell per il territorio intorno al sito di Vittorio Veneto. Il calcolo di pericolosità è stato sviluppato mediante la metodologia dell' "albero logico" che permette di considerare le incertezze associate ai vari ingredienti di base dell'hazard. Sono state, infatti, prese in considerazione diverse zonazioni sismotettoniche, differenti valutazioni di massima magnitudo, e due leggi di attenuazione. Ogni ramo dell'albero logico rappresenta una serie di scelte che condizionano l'hazard finale.

Sono state usate *tre differenti zonazioni sismotettoniche* che rappresentano tre differenti livelli di conoscenza sismotettonica. Il primo modello, piuttosto generale, è riferito alla zonazione GNTD adottata dal progetto di pericolosità sismica a scala nazionale. Il secondo, è una evoluzione del primo basata principalmente sulle evidenze della sismicità più recente. Il terzo è basato su un concetto completamente diverso: i forti terremoti vengono associati alle principali faglie sismogenetiche mentre i terremoti di media e bassa energia vengono associati ad aree più ampie. Più precisamente la sismicità alta ( $M>6$ ) viene associata al fronte attivo; la media sismicità ( $M>5$ ) ad un'area più ampia che circonda il fronte attivo; ed infine la bassa sismicità ad un'area decisamente più vasta.

La *magnitudo massima* è stata calcolata in tre differenti modi. Il primo semplicemente utilizzando la massima magnitudo osservata per ciascuna zona. Il secondo estrapolando di una classe (0.3 unità) la classe di magnitudo osservata quando il periodo di ritorno della magnitudo massima è maggiore della durata del periodo di osservazione del catalogo sismico (1000 anni). Il terzo è basato su un calcolo prettamente statistico.

Poichè non è attualmente disponibile una relazione di attenuazione del picco di accelerazione (PGA) specifica per l'Italia nordorientale, sono state utilizzate due leggi una a carattere europeo ed una calibrata sui dati italiani.

Il risultato è una struttura ad albero logico a 14 rami: 3 zonazioni, 3 differenti magnitudo massime, 2 leggi di attenuazione; quattro rami risultano però vuoti. Il risultato di hazard aggregato finale proviene dal contributo di ogni ramo egualmente pesato.

L'*accelerazione di progetto* per il test site Vittorio Veneto è stata calcolata mediante la generazione di accelerogrammi sintetici compatibili con lo spettro di risposta a probabilità uniforme. La metodologia usata è quella delle vibrazioni stocastiche. Lo spettro di risposta della serie temporale sintetica viene quindi comparata e corretta con delle serie di eventi reali coerenti con terremoti di progetto per il sito di Vittorio

Veneto. Questi ultimi sono stati estratti dal databank strong-motion Europeo. Questi accelerogrammi devono obbedire a dei requisiti di magnitudo e distanza compatibili con i dati derivati dal processo di disaggregazione dell'hazard probabilistico.

#### **Sottotema 2.4 - Caratterizzazione degli effetti di sito nel test-site di Serravalle**

Coordinatore: M. E. Poli

**Introduzione** - Come previsto nel piano di lavoro per il secondo anno, sono state eseguite a Serravalle sia indagini dirette (rilievi geologico-geomorfologici, sondaggio meccanico a carotaggio continuo, prove geotecniche) che indirette (sismica a rifrazione, misure down-hole in pozzo). Sempre come previsto dal programma sono state applicate ulteriori tipologie di indagine come la misura di tremori e la stima delle amplificazioni spettrali da analisi di ground-motion. Una prima analisi comparata dei dati mostra un buon accordo fra le amplificazioni spettrali ottenute da metodi di analisi di ground-motion e le frequenze di risonanza stimate con il metodo di Nakamura (in particolare si veda l'esempio della zona posta ad sud-est rispetto alla stretta di Serravalle, che mostra le maggiori amplificazioni spettrali). La presenza di un bedrock "geofisico", la cui interfaccia compresa fra 8-16 m di profondità, corrisponde al contatto fra argille e ghiaie sottostanti, è confermato nella zona di S. Andrea di Bigonzo sia dal sondaggio meccanico che dall'analisi di sismica a rifrazione. Dal progetto, è invece venuta a mancare l'analisi della distribuzione del danno nell'abitato di Serravalle-Ceneda in risposta ai terremoti del 1873 e del 1936. Poiché in particolare secondo la testimonianza di alcuni abitanti del luogo l'area di Ceneda subì dei danni elevati durante il terremoto del 1936, si tenterà un'indagine più approfondita anche in quella zona per individuare eventuali fenomeni di amplificazioni locali e mettere in luce le zone a più alto rischio. Considerata l'estrema interdisciplinarietà degli argomenti trattati nel task, si è scelto di descrivere sinteticamente ma distintamente le attività svolte da ciascun gruppo di ricerca durante il secondo anno.

**Indagini geologico-tecniche e modellazioni 1D** - Durante il secondo anno di attività è stata creata una banca dati informatizzata contenente i dati di sottosuolo ricavati dalle stratigrafie di una cinquantina di pozzi per acqua, sondaggi geognostici e pozzi profondi per esplorazione mineraria reperiti in tutta la conca di Vittorio Veneto. In particolare nella zona di Serravalle i dati a disposizione si sono rivelati assai scarsi: non vi sono informazioni sperimentali sulle caratteristiche geotecniche dinamiche dei sedimenti quaternari e nemmeno risultati penetrometrici SPT in quantità sufficiente per stimare le caratteristiche di decadimento dei moduli elastici e di andamento dello smorzamento con correlazioni empiriche da letteratura. Al fine di ricostruire dettagliatamente la stratigrafia del sottosuolo del test-site e di conoscere le caratteristiche geotecniche e geofisiche dei terreni, è stato eseguito un sondaggio geognostico verticale in località Pieve di Sant'Andrea di Bigonzo. Il sondaggio che è stato eseguito dalla Ditta IMPREFOND (Trieste) secondo gli standard internazionali, (carotaggio continuo, prove SPT, campionamento) si è fermato ad 80 m dal piano campagna senza raggiungere il substrato roccioso ed ha evidenziando la presenza fra i 3 e gli 8 metri dal p.c. di un potente livello di materiale argilloso seguito da una monotona successione di materiali ghiaiosi poligenici più o meno addensati e

cementati. All'esecuzione del sondaggio meccanico sono state affiancate prove geotecniche di laboratorio (in collaborazione con il Laboratorio geotecnico dell'Università di Trieste) e l'esecuzione di misure down hole per determinare le caratteristiche elastiche del sito. Infine, è stata realizzata una serie di profili geologici per definire lo spessore dei depositi quaternari del bacino alluvionale di Vittorio Veneto.

**Sismica di rifrazione** - Vista l'impossibilità di realizzare un transetto, anche frammentato, attraverso il centro abitato, sono stati scelti tre siti per un'indagine puntuale: 1) il Parco Fender, (margine ovest, al di là della linea ferroviaria): qui la copertura sedimentaria mostra uno spessore variabile fra 6 e 8 m e presenta una velocità delle onde P variabile fra 550 e 600 m/s. La velocità delle onde S si rileva fra 250 e 270 m/s. L'unità sottostante, che presenta un andamento concorde con la topografia del sito, mostra velocità delle onde P variabili tra 1250 e 1400 m/s; 2) Via Rio dei Casai (margine est): la copertura sedimentaria appare simile al sito 1, con uno spessore variabile fra 4 e 7 m e una velocità delle onde P variabile fra 500 e 550 m/s. La velocità delle onde S si rileva fra 250 e 270 m/s. L'unità sottostante mostra una maggiore velocità delle onde P, compresa tra 1700 e 2000 m/s.; 3) Area Borca presso Sant' Andrea di Bigonzo. In questo sito sono stati individuati tre strati. Mentre l'unità sottostante presenta velocità di propagazione simili a quelle dei primi due siti (velocità onde P variabile fra 2200-2300 m/s), la sua copertura sedimentaria (che presenta uno spessore variabile fra i 7 e i 16 m e velocità delle onde di taglio comprese fra 200 e 250 m/s) mostra un contrasto di velocità fra un primo strato superficiale di potenza variabile tra 2 e 3 m (onde P comprese fra 480-530 m/s) e un secondo strato più profondo (1300-1450 m/s). Non si riscontrano significative differenze tra le velocità determinate per gli stendimenti ortogonali, suggerendo una sostanziale isotropia del mezzo. Tutte le energizzazioni per le onde P sono state effettuate con l'impiego di un Mini Bang armato con colpi tipo Kiln 8. Nel sito di S. Andrea di Bigonzo, sono stati inoltre eseguiti anche due profili per l'analisi a dispersione. L'analisi dei profili è stata effettuata con il metodo GRM a due strati (Palmer, 1980).

**Stima dei rapporti spettrali** - Si è effettuata un'acquisizione dati per la stima degli effetti di sito nel distretto di Serravalle. Durante i sei mesi di acquisizione si sono registrate le forme d'onda relative a 35 eventi registrati anche dalla rete sismometrica del NE-Italia. Abbiamo calcolato gli spettri di Fourier dei dati per finestre di segnale corrispondenti agli arrivi delle onde S. In questa analisi preliminare dei dati, abbiamo utilizzato 11 eventi e determinato le amplificazioni spettrali ai 10 siti in cui era stato posizionato l'array. I risultati ottenuti indicano che il sito con il maggior livello di amplificazione è situato presso la scuola elementare di Via Parravicini con circa 8 volte il livello del sito medio di riferimento. Amplificazioni di 5 volte sono state individuate presso il sito VV01 ed il sito VV04 rispettivamente a frequenze di 5 e 8-9 Hz. Le rimanenti stazioni indicano invece amplificazioni molto contenute.

**Misure di rumore sismico ambientale per la stima della risposta di sito** - Nel periodo compreso tra Novembre 2002 e Gennaio 2003 è stata intrapresa una campagna di acquisizione sismica di rumore ambientale (microsismi) nell'area

urbana di Vittorio Veneto. I siti già indagati sono una cinquantina. Di questi, 7 sono allineati lungo una sezione (GNDDT3) che sarà oggetto di modellazione 2-D. In aggiunta sono state acquisite misure ad antenna presso Sant'Andrea di Bigonzo. Per tali misure sono state usate simultaneamente 13 stazioni. Per completare il lavoro è prevista un'acquisizione aggiuntiva di ulteriori 20 misure a stazione singola. I rapporti spettrali H/V (HVSR) mostrano che la maggior parte dei siti presenta delle chiare frequenze di risonanza. Risposte piatte sono osservate solo in pochi casi. La presenza di evidenti picchi di risonanza suggerisce la presenza di un forte contrasto di velocità delle onde S ( $> 2$ ) fra la copertura sedimentaria, con spessore variabile, e le formazioni sottostanti. Sono portati ad esempio di HVSR stimati due siti localizzati rispettivamente vicino al centro cittadino (Serravalle, S. Andrea di Bigonzo) e nella parte periferica a Sud (Ceneda bassa). I rapporti ottenuti per le misure di rumore identificano la frequenza di vibrazione del modo fondamentale rispettivamente a 6 Hz per il sito di S. Andrea e a 10.5 Hz per quello di Ceneda bassa. Le misure effettuate saranno integrate in seguito con sondaggi di sismica superficiale, analisi della dispersione delle onde di superficie, e dati di log in pozzo, per caratterizzare le proprietà dinamiche dei suoli e definirne il loro spessore.

***Misure in sito di velocità delle onde di taglio di terreni superficiali attraverso l'analisi e l'inversione delle onde di superficie*** - Per una linea sismica a rifrazione è stata eseguita un'analisi sul singolo canale di registrazione basata sull'inversione delle curve di dispersione del modo fondamentale delle onde di Rayleigh con lo scopo di ottenere profili verticali di velocità delle onde S. La velocità di gruppo del modo fondamentale è stata misurata per numerose tracce sismiche nella banda in frequenza compresa tra 8 Hz e 30 Hz. Successivamente sono state utilizzate le osservazioni derivate dall'analisi dei rapporti spettrali H/V (HVSR) – in particolare l'identificazione a profondità variabile di un netto contrasto di velocità - per vincolare le soluzioni ottenute dall'inversione delle onde di superficie. È stata invertita la velocità di gruppo del modo fondamentale utilizzando una tecnica non lineare e vincolando i parametri dell'inversione affinché la soluzione evidenziasse un contrasto di velocità delle onde S superiore a 2 per profondità comprese tra i 10 m ed i 20 m. L'inversione così condizionata ha fornito due diversi modelli con un netto contrasto di velocità a 14 m ed a 17 m. Entrambi i modelli ottenuti sono caratterizzati da una frequenza fondamentale di risonanza di 6 Hz, la stessa frequenza stimata con dati indipendenti ed evidenziata dagli HSVR sullo stesso sito. Ai profili così ottenuti saranno in seguito aggiunte nuove informazioni derivanti da log in pozzo e sismica classica per fornire una mappa dettagliata delle proprietà dei terreni e loro spessore nel comune di Vittorio Veneto. Questa tecnica di analisi sarà applicata alle altre due linee sismiche a rifrazione acquisite, se i parametri di acquisizione lo consentiranno.

### **Sottotema - 2.5 Vulnerabilità urbana**

Coordinatore: A. Bernardini

L'obiettivo del sottotema riguarda la misura di parametri di vulnerabilità sismica di sistemi territoriali ed in particolari edilizi, parametri che possano essere incrociati con le misure di scuotibilità al fine di produrre scenari di danno e mappe di rischio, con particolare focalizzazione sul centro storico di Serravalle (Vittorio Veneto).

Per quanto riguarda la vulnerabilità urbana in area veneta l'attività del secondo anno ha solo riproposto i risultati del primo anno, risultati che sono stati utilizzati per la scelta di un campione di Comuni significativo nell'ambito dell'area più ristretta (AS1) in cui viene valutata la vulnerabilità degli edifici ordinari.

Per quanto riguarda la vulnerabilità della rete stradale nel secondo anno è proseguito il rilievo e l'informatizzazione dei parametri utili relativi ai ponti lungo le due direttrici del fiume Piave e del fiume Brenta e lungo le principali arterie della rete stradale nella zona compresa tra i Comuni di Bassano del Grappa, Montebelluna, Conegliano, Vittorio Veneto, Belluno e Feltre. È stata inoltre chiarita la metodologia con cui procedere alla taratura delle curve di fragilità mutate dalla normativa americana (HAZUS) in funzione di una serie di indagini di dettaglio condotte su alcuni ponti, individuati come rappresentativi delle tipologie strutturali e costruttive più ricorrenti nell'area di interesse; si sta utilizzando in particolare una procedura statica non lineare semplificata (Capacity Spectrum Method).

Per quanto riguarda la vulnerabilità degli edifici ordinari sta proseguendo l'estesa campagna di raccolta dati relativi al campione di Comuni e (all'interno dei Comuni scelti) Sezioni Censuarie. L'obiettivo, da raggiungere tramite stretta collaborazione fra le UR di Padova e di Milano (e nel terzo anno anche Udine 1), è quello di produrre, dalla lettura dei dati ISTAT 1991 opportunamente corretti, distribuzioni delle classi di vulnerabilità EMS98 in ogni singola sezione censuaria dell'area AS1. A tal fine sono stati prodotti modelli preliminari di classificazione EMS98 da dati ISTAT e da dati ricavati con la scheda AeDES 05/2000 impiegata nel rilievo sul campo. Matrici di Probabilità di danno coerenti con EMS98 e curve di fragilità (VULNUS) per particolari tipologie edilizie (in particolare l'edilizia tradizionale in muratura ampiamente presente nella zona) saranno utilizzate per l'incrocio con i dati di scuotibilità. Alla fine del secondo anno sono stati schedati con AeDES circa 1500 edifici e con la procedura VULNUS circa 70 edifici in 6 diversi Comuni (circa il 50% dell'obiettivo finale del rilievo).

Per quanto riguarda infine il test site di Serravalle, durante il 2° anno dell'attività di ricerca si è proceduto al rilevamento fotogrammetrico delle facciate degli edifici di via Casoni mediante la procedura di "raddrizzamento digitale" di immagini fotografiche. Tali edifici sono stati individuati di particolare interesse per le approfondite indagini statiche e dinamiche che saranno svolte nel terzo anno. Durante il secondo anno è già stata applicata la procedura di rilievo e analisi di vulnerabilità VULNUS a questo campione di edifici, producendo curve preliminari di fragilità dei singoli edifici e del gruppo in funzione del valore atteso di PGA.

### **Sottotema 2.6 - Vulnerabilità dei centri storici e beni culturali**

Coordinatore: C. Modena

Il secondo anno di attività di ricerca si è articolato in relazione al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

1. Calibrazione di procedure non distruttive e aggiornamento di procedure di identificazione (primo semestre)
2. Test-site di Vittorio Veneto (TV): applicazione della metodologia di studio e contributo all'analisi della vulnerabilità sismica (secondo semestre)

Si è quindi conclusa la fase di analisi sperimentale sulle tipologie di edifici individuate nel primo anno di ricerca (torre, parete isolata, chiesa) e di elaborazione dei risultati ottenuti, in relazione ai seguenti aspetti:

- a. caratterizzazione del comportamento meccanico dei manufatti e calibrazione delle procedure di indagine non distruttive
- b. aggiornamento delle procedure di identificazione dinamica sulla base delle diverse condizioni di vulnerabilità riscontrate.

La metodologia di analisi messa a punto sui casi studio sopraccitati, è stata resa disponibile per lo studio analitico-sperimentale del centro urbano di Vittorio Veneto, su cui si svilupperanno le attività del 3° anno del progetto. In particolare, lo studio si è articolato nell'analisi de:

- a. individuazione delle tipologie edilizie esistenti
- b. analisi della vulnerabilità intrinseca di edifici campione
- c. applicazione delle procedure sperimentali di indagine conoscitiva.

## **1. Calibrazione di procedure non distruttive e aggiornamento di procedure di identificazione**

**1.1 Calibrazione delle procedure di indagine non distruttive** - Per ciascuna delle tipologie edilizie oggetto di studio (torre, parete isolata, chiesa) è stato individuato l'insieme delle indagini a basso grado di invasività, necessarie per la caratterizzazione meccanica dei manufatti. Le procedure d'indagine sono state calibrate in relazione alle stesse tipologie riscontrate, ed i risultati favoriscono l'affinamento di modelli comportamentali d'insieme o di singole componenti strutturali, sia di tipo fisico-meccanico (Coro Vecchio di S.ta Giustina a Padova) che analitico-numericò (Mura di Cittadella, Facciata della chiesa di S.ta Giustina, Torre dell'Orologio in Padova, Torre di S.Stefano a Venezia).

**1.2 Aggiornamento di procedure di identificazione dinamica** - Nell'ambito dell'applicazione delle procedure di identificazione dinamica si è aggiunto e completato, ai casi studio già impostati durante il primo anno di attività (Torre di S. Stefano a Venezia, Teatro Romano di Verona, Chiesa di S.ta Sofia in Padova) l'analisi sperimentale del comportamento dinamico dell'ala libera dell'Arena di Verona. La caratterizzazione dinamica ha consentito di aggiornare le procedure di identificazione sulla base delle misure ottenute mediante monitoraggio, già impostato in alcuni dei manufatti sopraccitati, e di tarare il modello ad elementi finiti degli stessi, attraverso i quali effettuare opportune simulazioni di intervento.

## **2. Test-site di Vittorio Veneto: applicazione della metodologia di studio e contributo all'analisi della vulnerabilità sismica**

**2.1 Catalogazione dell'edilizia esistente** - Nell'ambito del test-site di Vittorio Veneto si è impostata l'attività di catalogazione mediante l'analisi di database già disponibili, nonché da informazioni raccolte direttamente dall'amministrazione comunale, al fine di individuare gli edifici di maggiore rilevanza, riconducibili alle tipologie precedentemente analizzate nel progetto. Tale catalogazione tipologica comprenderà

inizialmente il sito specifico di Serravalle ma sarà estesa, durante il terzo anno di attività, a tutta la cinta urbana di Vittorio Veneto.

**2.2 Analisi della vulnerabilità sismica mediante macromodelli strutturali** - Lo studio sulla vulnerabilità sismica è stato concentrato sul test-site di Serravalle e riguarda l'utilizzo di modelli cinematici elementari che analizzano il comportamento meccanico di componenti strutturali (macromodelli). L'analisi viene effettuata a livello generale, edificio per edificio, mediante l'applicazione del programma Vulnus [1] e, più localmente, selezionando all'interno degli edifici le componenti più significative, attraverso l'applicazione di singoli modelli cinematici.

Nella fattispecie, il lavoro è stato impostato su 13 edifici appartenenti a due schiere contigue (complesso di Via Casoni) e ad un edificio singolo (Palazzo Troyer sito in Via Martiri della Libertà) (Fig. 1).

Dalle analisi, è finora emerso che:

- per la valutazione della vulnerabilità risultano fonti di problemi strutturali il piano terra porticato, il ridotto numero di catene associate alla mancanza collegamenti fra murature e solai o coperture, la disomogeneità del terreno di fondazione.
- la calibratura del procedimento Vulnus ha permesso di individuare le pareti meno resistenti a meccanismi nel piano e fuori piano: in particolare, per  $a/g=0,28$  (valore caratteristico della zona sismica considerata), il 46,2% degli edifici è vulnerabile a meccanismi fuori piano e il 53,8% a meccanismi sia nel piano che fuori di esso .
- la verifica puntuale con i modelli cinematici elementari ha confermato la vulnerabilità al ribaltamento globale dei setti di facciata.

Da tali evidenze, e attraverso le procedure automatizzate di calcolo, sarà possibile simulare alcuni interventi di rinforzo strutturale (es. incatenamenti delle pareti).

### **Sottotema 2.7 – Stima dei danni e delle perdite**

È stata analizzata la consistenza del patrimonio edilizio abitativo di V.Veneto. 85.99% delle unità è adibito esclusivamente ad abitazione, l'11.87% ha uso misto. Il 2% è per uso rurale; di questo solo la metà per esclusivo uso residenziale. Tenendo in conto, inoltre, del tipo di struttura, della sua età, del numero di unità abitative per immobile, del numero di piani e della presenza di ascensore si è costruito il quadro fisico completo, con riferimento ai dati ISTAT-1991.

Per la valutazione economica, invece, gli edifici sono stati pesati in base a: localizzazione nel contesto urbano (centro, periferia, campagna), destinazione d'uso, stato di conservazione, tipologia.

A conclusione risulta un valore esposto complessivo di un miliardo di Euro.

## **CONCLUSIONI**

Alla fine del secondo anno si è riusciti a recuperare gran parte dei ritardi accumulati durante il difficoltoso avvio del progetto. Gli studi di sismotettonica hanno portato alla definizione di una nuova zonazione con la parametrizzazione di sorgenti collegate ai

maggiori terremoti storici catalogati. L'analisi di completezza dei cataloghi porta ad escludere che vi siano terremoti "nascosti" con magnitudo superiore a 6.3-6.4.

Si è valutato il potenziale sismogenico della struttura del Montello cui non è associabile alcun terremoto storico ma che presenta grandi evidenze di attività neotettonica. Il terremoto del Cansiglio (1936) ed, appunto, quello ipotetico del Montello costituiranno gli elementi di partenza per la costruzione di due scenari di danno a V.Veneto. Per la definizione della risposta di sito si è proceduto ad una valutazione di prima approssimazione per l'intera regione con approcci diversi (curve di attenuazione e modellazione della funzione di trasferimento). Anche per la vulnerabilità si è proceduta alla valutazione del patrimonio edilizio ordinario per l'intera regione (secondo una metodologia testata in Friuli) e si è sviluppata un'analisi di dettaglio per il sito campione. Un primo approccio al problema della vulnerabilità dei sistemi è stato iniziato con lo studio dei ponti su Brenta e Piave. Infine è stata completata la valutazione monetaria del patrimonio edilizio abitativo del comune di Vittorio Veneto.

## BIBLIOGRAFIA

- Bernardini A., Gori R., Modena C., (1988): Valutazioni di resistenza di nuclei di edifici in muratura per analisi di vulnerabilità sismica, R.I. 2/88, Università di Padova, Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni,.
- Bernardini, A., Mario, E., Rizzardo, D. (2002). Vulnerabilità e scenari di danno degli edifici ordinari nel Comune di Fonte (TV). Università degli Studi di Padova. Dipartimento di Costruzioni e Trasporti. Rapporto Interno 2002/2.
- Carulli G.B., Codermatz R., Cucchi F., Peruzza L., Pettenati F., Rebez A., Sirovich L. and D. Slejko (2002). A Site-Dependent Seismic Hazard Map For The Friuli-Venezia Giulia Region (NE Italy). Proc. 12ECEE, London, Spt. 8-13, 2002, CD-ROM.
- Carulli G.B., Cucchi F., Rebez A., Peruzza L., Slejko D. and Codermatz R.; 2002: Seismic hazard in the Friuli - Venezia Giulia region (NE Italy) considering different soil typologies. In: Atti Convegno Soc. Geol. It., in press.
- Codermatz R., Nicolich R. and Slejko D.; 2002: Seismic risk assessment and GIS technology: applications to infrastructures in the Friuli - Venezia Giulia region (NE Italy). Earth. Eng. Struct. Dyn., accepted.
- Garcia J., Slejko D., Alvarez L., Peruzza L. and Rebez A.; 2002: Probabilistic seismic hazard assessment for Cuba. In: Slejko D. e Rebez A. (a cura di), G.N.G.T.S. 21° Convegno Nazionale - Riassunti estesi delle comunicazioni, Tipografia Mosetti, Trieste, pp. 173-176.
- Garcia J., Slejko D., Alvarez L., Peruzza L. and Rebez A.; 2002: Seismic hazard maps for Cuba and surrounding area. In: DipTeRis, E.S.C. 28th General Assembly Book of Abstracts, Studio64, Genova, pp. 126.
- Gentile F., Pettenati F. and L. Sirovich (2002). Instrumental Validation of the Automatic Source-Parameter Inversion of The USGS Intensities of the Whittier Narrows, California, 1987 Earthquake. Conv. GNGTS, 6-8 nov. 2001, extended abstract.
- Iliceto V., Peruzza L., Slejko D. e Rovelli A.; 2002: La difesa dei terremoti mediante zonazione sismica: sinergie tra Protezione Civile e Piani Regolatori. Geologia tecnica & ambientale, 3, 15-36.
- Pettenati F. and Sirovich L., 2002. Test of source parameters inversion of the USGS intensities of the Whittier Narrows, 1987 Earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*, in press.
- Pettenati F., Gentile F. e L. Sirovich (2002). Sorgenti degli eventi del 1693 da inversioni automatiche delle intensità. Atti Conv. GNDT, 2-3 dic. 2001, CD-ROM.
- Pettenati F., Sirovich L. and F. Gentile (2003). Source inversion of the intensities of an M 5.2-5.9 earthquake in NE Italy, the use of a genetic algorithm and instrumental validation included. In preparation.

- Pettenati F., Sirovich L., Gentile F. (2003). Validation of some TRANSALP results (southern segment) by source inversion of the Cansiglio, 1936 earthquake. TRANSALP Conf., Feb. 10-12 2003, Trieste, Italy — [transalp@dic.units.it](mailto:transalp@dic.units.it)
- Poli M.E., Peruzza L., Rebez A., Renner G., Slejko D. and Zanferrari A.; 2002: New seismotectonic evidence from the analysis of the 1976-1977 and 1977-1999 seismicity in Friuli (NE Italy). *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 43, 53-78.
- Rebez A. and Slejko D.; 2002: A simplified soil-type dependent seismic hazard assessment for north-eastern Italy. In: Slejko D. e Rebez A. (a cura di), G.N.G.T.S. 21° Convegno Nazionale - Riassunti estesi delle comunicazioni, Tipografia Mosetti, Trieste, pp. 189-191.
- Rebez A. and Slejko D.; 2002: Introducing epistemic uncertainties into seismic hazard assessment for north-eastern Italy. In: Slejko D. e Rebez A. (a cura di), G.N.G.T.S. 21° Convegno Nazionale - Riassunti estesi delle comunicazioni, Tipografia Mosetti, Trieste, pp. 192-193.
- Rebez A., Slejko D., Peruzza L. and Codermatz R.; 2002: Soil type dependent seismic hazard assessment for the Veneto region (NE Italy). In: DipTeRis, E.S.C. 28th General Assembly Book of Abstracts, Studio64, Genova, pp. 125.
- Rivera Alvarez Z.C., Slejko D., Peruzza L., Rebez A. and Codermatz R.; 2002: Seismic hazard of the Bayamo region (eastern Cuba). In: DipTeRis, E.S.C. 28th General Assembly Book of Abstracts, Studio64, Genova, pp. 126.
- Rivera Alvarez Z.C., Slejko D., Peruzza L., Rebez A. and Codermatz R.; 2002: Soil-type dependent seismic hazard map for the Bayamo region (eastern Cuba). In: Slejko D. e Rebez A. (a cura di), G.N.G.T.S. 21° Convegno Nazionale - Riassunti estesi delle comunicazioni, Tipografia Mosetti, Trieste, pp. 235-236.
- Sabetta F. and Slejko D.; 2002: The PEGASOS project: a robust way to assess seismic hazard. In: Slejko D. e Rebez A. (a cura di), G.N.G.T.S. 21° Convegno Nazionale - Riassunti estesi delle comunicazioni, Tipografia Mosetti, Trieste, pp. 196-197.
- Sirovich L., Pettenati F., Cavallini F., Bobbio M., 2002. Natural-Neighbor Ioseismals. *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 92, 5, 1933-1940.
- Slejko D. (ed); 2002: Advances in solid Earth geophysics. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, 43(1-2).
- Slejko D. and Rebez A.; 2002: A robust seismic hazard assessment for NE Italy. In: DipTeRis, E.S.C. 28th General Assembly Book of Abstracts, Studio64, Genova, pp. 125.
- Slejko D. and Rebez A.; 2002: Ground shaking at the Vittorio Veneto (NE Italy) test site from earthquake scenario modelling. In: DipTeRis, E.S.C. 28th General Assembly Book of Abstracts, Studio64, Genova, pp. 258.
- Slejko D. and Rebez A.; 2002: Modelling the expected ground motion at the Vittorio Veneto (NE Italy) test site from uniform hazard response spectra. In: Slejko D. e Rebez A. (a cura di), G.N.G.T.S. 21° Convegno Nazionale - Riassunti estesi delle comunicazioni, Tipografia Mosetti, Trieste, pp. 199-201.
- Slejko D. e Rebez A. (a cura di); 2002: G.N.G.T.S. 21° Convegno Nazionale - Riassunti estesi delle comunicazioni. Tipografia Mosetti, Trieste, 444 pp.
- Visintini, 2002a. Using MMS Techniques and CCD Images to Survey Building Façades for Seismic Vulnerability. Proceedings of the 2nd Symposium on "Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering", Berlin, 2002, pp. 216-226.
- Visintini, 2002b. Integrated Techniques for Low-Cost Surveying of Urban Areas. Proceedings of the ISPRS Commission III Symposium, Graz, 2002, IAPRS, vol. XXXIV, part 3B, pp. 287-292.

<http://ibrid.dic.unipd.it>: **Italian Bridge Interactive Database project - 2002.**

# Tema 3

## Effetti dei terremoti sull'ambiente fisico e sulle opere infrastrutturali



## VIA - Riduzione della Vulnerabilità sismica di Sistemi infrastrutturali e Ambiente Fisico

Coordinatore: Prof. Gian Michele Calvi

### Relazione generale attività secondo anno

Il progetto si propone di studiare le problematiche legate alla valutazione di vulnerabilità e rischio sismico dell'ambiente fisico e di alcune tipologie infrastrutturali comprese in una selezionata area test collocata nella provincia di Benevento e nel seguito definita area campione. Gli studi descritti nel seguito, oltre all'ambiente fisico, si riferiscono a: input sismico, reti stradali (ponti e opere di sostegno); linee di distribuzione dell'energia elettrica; grandi complessi industriali e dighe in terra.

Sono stati trattati aspetti riguardanti la catalogazione, la modellazione del moto atteso, la modellazione delle tipologie strutturali, la valutazione di vulnerabilità e rischio, i metodi per la riduzione della vulnerabilità.

Gli obiettivi del progetto si possono sintetizzare nei seguenti punti:

- catalogazione di opere e sistemi vulnerabili all'interno dell'area campione;
- sviluppo di modelli semplificati per la valutazione della vulnerabilità di infrastrutture e ambiente a livello sia deterministico che probabilistico;
- realizzazione di uno strumento informatico territoriale (GIS) capace di rappresentare la cartografia dell'area e i sistemi infrastrutturali e di visualizzare le informazioni relative e i parametri sintetici attraverso i quali si identificano vulnerabilità e rischio sismico in funzione degli eventi occorsi;
- implementazione di procedure a livelli di complessità differenziati da integrare al GIS utilizzabili per le valutazioni assistite di rischio di sistemi infrastrutturali e dell'ambiente (utilizzabili off line e on line);
- sviluppo di metodi innovativi di riduzione della vulnerabilità riguardanti: il trattamento dei terreni, l'isolamento e la dissipazione artificiale, l'utilizzo di materiali avanzati quali i fibrorinforzati;
- produzione di mappe e dati per la gestione delle emergenze: danno atteso, percorsi alternativi, effetti sull'ambiente.

L'attività prevalente del primo anno è consistita nella raccolta dei dati relativi alla sismicità dell'area campione, nel censimento e rilievo delle opere infrastrutturali, nell'acquisizione degli strumenti cartografici per l'implementazione del GIS e nello studio teorico dei modelli di valutazione di pericolosità, vulnerabilità e rischio.

L'attività del secondo anno si è concentrata su aspetti più applicativi del programma di ricerca. È stata innanzitutto implementata una prima versione del GIS, a cura del gruppo di lavoro del Task 3, *Sviluppo di un sistema GIS*, consultabile all'indirizzo web <http://geo-survey.unipv.it/progvia>, al cui interno sono stati collocati i primi risultati delle analisi di pericolosità e di rischio per l'area campione e interfacciati con sistemi di consultazione intelligente dei database e di correlazione con i dati identificativi del territorio. In merito ai dati inseriti occorre segnalare che il gruppo di lavoro del Task 1, *Input sismico*, si è occupato della definizione della pericolosità sismica dell'area campione e dello sviluppo teorico di metodi per raffinarne la valutazione. Nel Task 2, *Vulnerabilità dell'ambiente fisico*, sono stati affrontati i problemi relativi alla

zonazione, allo sviluppo di un modello di schedatura delle frane suscettibili d'instabilità e al rilievo dell'area campione per l'individuazione dei siti maggiormente esposti al rischio. Nell'ambito del Task 4, *Vulnerabilità delle reti viarie*, sono proseguiti gli sviluppi sui temi specifici di valutazione di vulnerabilità, rischio e correlazione tra stati limite transitabilità dei ponti e della rete. Si è in particolare affrontato il problema della valutazione della vulnerabilità/sicurezza dei ponti e si è poi passati ad uno studio di rete rappresentato in modo efficiente e intuitivo all'interno del GIS. Sono state inoltre messe a punto delle linee guida per la valutazione della vulnerabilità di ponti. Per quanto riguarda il Task 5, *Vulnerabilità delle reti elettriche*, è stato effettuato un fondamentale studio del comportamento meccanico dei componenti di una stazione elettrica ad alta tensione, della sua vulnerabilità e dei sistemi di riduzione della medesima. In questo quadro è stata svolta un'importante attività teorica e sperimentale finalizzata alla caratterizzazione meccanica dei dispositivi di isolamento prescelti e dello sviluppo di modelli analitici corrispondenti. Nel Task 6, *Impianti industriali*, sono state prodotte linee guida per valutazioni di vulnerabilità di strutture prefabbricate di grande luce, sia esistenti che sottodimensionate. Per quanto riguarda il Task 7, *Dighe in terra*, sono state caratterizzate le proprietà meccaniche dei materiali del corpo diga e dei terreni di fondazione, sono state effettuate differenti modellazioni del problema al contorno. L'aspetto più interessante legato allo sviluppo del GIS è l'implementazione della funzionalità per il calcolo dell'hazard sismico e per le valutazioni di rischio secondo un approccio di tipo deterministico. I risultati presentati nel seguito appaiono in soddisfacente accordo con gli obiettivi previsti dal programma sia a livello globale che dei singoli task.

### **TASK 1 – “INPUT SISMICO E EFFETTI DI SITO”**

Contributo a cura di: Dott. A. Herrero, ING - UniNA-DSF (Coordinatore)  
UniCAL-DDS Prof. F. Silvestri  
UniNA-DIG Prof. F. Vinale

L'U. R. si propone di definire la pericolosità sismica nella area campione in funzione della posizione delle strutture rilevate e di sviluppare metodi innovativi per raffinarne la valutazione. Il secondo anno è servito a mettere a punto i metodi più adeguati al compito richiesto e a fornire supporto e calcoli di input sismico specifici ad ogni Task. Lo sviluppo teorico sulla stima probabilistica della pericolosità sismica, inoltre, è continuato giungendo a risultati molto promettenti.

Lo studio effettuato sull'input sismico segue un approccio probabilistico basato sulla definizione di zone caratterizzate da una sismicità omogenea rispetto alla legge di Gutenberg-Richter. Mediante la definizione di una legge di attenuazione opportuna, per un sito dato e per un insieme di coppie di valori magnitudo-distanza individuanti il livello di accelerazione di picco, è possibile stimare la curva di probabilità di superamento associata. Data la curva, è possibile ricavare l'accelerazione di soglia corrispondente ad una probabilità di superamento (10%) su una finestra temporale data (50 anni). Il calcolo della curva può essere effettuato anche per un insieme di siti che ricoprono la zona di interesse (mappa di pericolosità sismica). La curva di probabilità di superamento per un sito assegnato, rappresenta l'input sismico di base richiesto dagli altri Task. Per la sua determinazione nella area campione, sono state prese in considerazione 5 zone sismogenetiche (fig. 1); i valori del tasso di sismicità,

del parametro  $b$  della legge di Gutenberg-Richter e delle massime magnitudo sono riassunti in tabella 1. Il picco di accelerazione spesso non è sufficiente per uno studio dettagliato della risposta della struttura ad una sollecitazione sismica. Esistono relazioni empiriche (Sabetta & Pugliese, 1996; Ambraseys et al., 1996) che seguono la filosofia delle leggi di attenuazione usate per calcolare la PGA, ma che esprimono la variazione di un certo parametro spettrale (PSV) ad una certa frequenza, in funzione della distanza, della magnitudo e per un livello assegnato di smorzamento. Utilizzando queste relazioni è possibile stimare per un sito dato e per un tempo di interesse assegnato, la probabilità di superamento del parametro spettrale in funzione dei diversi valori della frequenza propria (fig 2).

Altro obiettivo del Task consiste anche nello sviluppo di nuove metodologie. Una delle strade perseguite in questo Progetto è l'introduzione di informazione a priori sulla sorgente sismica nell'analisi probabilistica della pericolosità sismica. Questa informazione, introdotta a livello di legge di attenuazione, comprende il pattern di radiazione del meccanismo focale, l'effetto di direttività, la finitezza della faglia e la profondità focale. Nell'ultimo anno è stata studiata l'influenza del meccanismo focale sui risultati dell'analisi della pericolosità sismica; la ricerca effettuata ha permesso di introdurre nell'approccio probabilistico un'informazione a priori sul meccanismo focale; la sismicità di una data zona non solo verrà definita dal tasso di sismicità, dalla pendenza della legge di Gutenberg-Richter  $b$  e dalla magnitudo massima, ma anche da una distribuzione di meccanismi focali (p.e. 20% faglie trascorrenti e 80% faglie normali). Per un sito dato, dove il risultato si riassume in un solo valore di accelerazione, risulta complesso definire qual è la coppia magnitudo-distanza effettivamente associata. Il particolare studio chiamato *disaggregazione* permette di definire il terremoto di progetto in base ad un approccio probabilistico, partendo dalla frequenza annuale di superamento. Avendo precedentemente introdotto informazioni a priori sotto forma di pattern di radiazione nello studio della pericolosità sismica, è possibile applicare la tecnica di disaggregazione anche a questo tipo di parametro. La figura 3 mostra la marginale della densità di probabilità per tutti i parametri. Il risultato interessante e nuovo si osserva sul meccanismo focale e permette di dimostrare la maggiore importanza del dip della faglia sulla PGA.

Per quanto concerne gli obiettivi raggiunti e la congruenza con gli impegni assunti, il lavoro svolto durante il secondo anno è da considerare soddisfacente.

## **TASK 2 – “VULNERABILITÀ AMBIENTE FISICO”**

Contributo a cura di: Prof. F. Silvestri, UniCAL-DDS (Coordinatore)  
UniNA-DIG Prof. F. Vinale  
ANAS Ing. A. Capuani

I principali prodotti del secondo anno di progetto sono: a) elaborazione della zonazione del rischio di instabilità dell'ambiente fisico di Livello II mediante analisi pseudo-statiche; b) sviluppo di un modello di schedatura delle frane suscettibili di instabilità in fase sismica e applicazione alla zona in esame; c) delimitazione e rilievo geologico dell'area da studiare con metodi di Livello III; d) individuazione dei siti di maggior esposizione al rischio da analizzare con metodi dinamici. Questi prodotti risultano leggermente modificati rispetto agli obiettivi iniziali a causa della necessità, avvertita nel corso del secondo anno di ricerca, di procedere per livelli crescenti di approfondimento sulle conoscenze del sottosuolo.

Nell'ambito dei fenomeni di grandi deformazioni del suolo sismicamente indotte, l'analisi del rischio di liquefazione e di subsidenza è marginale rispetto a quella del rischio di instabilità dei versanti naturali. Si è deciso pertanto di procedere all'analisi ed alla zonazione del rischio frana in un'area di dimensioni limitate, in cui numerosi fenomeni franosi incombenti sono stati censiti (fig. 4). La metodologia di analisi e zonazione ha richiesto come elementi conoscitivi essenziali la raccolta e la sintesi di dati già disponibili per l'individuazione di zone omogenee per caratteristiche non solo litologiche ma anche fisico-meccaniche. La definizione dei caratteri geotecnici dei litotipi è stata possibile grazie alla raccolta di dati provenienti da numerose indagini in sito e prove di laboratorio eseguite nell'area campione. Ciascuna verticale di indagine è stata georeferenziata e inserita nel GIS in forma di scheda riassuntiva.

E' stato messo a punto un modello di schedatura di frane ricadenti in zona sismica, in base a esempi pubblicati in letteratura tecnica (Andrighetto, 1994) o utilizzati dalle Autorità di bacino (Regione Calabria, 2001). La scheda, in formato ACCESS, si articola nelle tre sezioni di dati generali, geomorfologici e geotecnici. La scheda è stata usata nel corso dei rilievi geomorfologici 1:10.000 che hanno condotto alla cartografia dei movimenti franosi in atto nella zona di studio, per la descrizione di alcune delle frane attive. Il precedente Task ha calcolato le curve di pericolosità di tale zona per un periodo d'interesse di 50 anni, nonché gli spettri di hazard uniforme, con riferimento ad una probabilità di superamento del 10%.

Sono stati completati i rilievi geologici 1:10.000 ottenendo una descrizione ed una perimetrazione più attendibili degli affioramenti e delle frane attive, individuando, inoltre, due siti di particolare interesse per gli approfondimenti di Livello III. Per queste frane sono state elaborate le sezioni longitudinali 1:10.000, ma si prevede di sottoporle a studi più accurati nel corso del 3° anno di progetto.

Dopo aver preparato gli strumenti metodologici, l'attività del secondo anno è stata in gran parte dedicata agli studi sull'area-campione, pervenendo ad un soddisfacente grado di conoscenza delle caratteristiche geologiche e geotecniche dei depositi. La cartografia topografica, geologica e geomorfologica (scala 1:25.000 e 1:10.000) è già predisposta per l'immediata implementazione su GIS e pronta per la redazione di mappe di rischio sia di livello II (in termini di coefficienti di sicurezza) che di livello III (in termini di spostamenti).

La caratterizzazione delle proprietà fisico-meccaniche dei depositi risulta praticamente completata e di soddisfacente affidabilità, anche se indubbiamente penalizzata dalla difficoltà di reperimento dei dati geotecnici esistenti e dell'attendibilità non sempre elevata degli stessi.

La definizione della pericolosità di riferimento è completa: a breve si adotteranno scenari per mappe di zonazione secondo un approccio deterministico, facendo riferimento ad un evento recente (Irpinia 1980,  $M_S=6.9$ ) ed uno storico (Sannio 1688,  $I=X$ ). Alla distribuzione di accelerazioni massime previste su affioramento rigido verranno applicati coefficienti di amplificazione secondo le indicazioni dell'Eurocodice 8. Per le frane attive verranno invece sviluppate analisi di vulnerabilità e rischio secondo approcci probabilistici, riferendosi alle curve elaborate dal precedente Task. Nonostante le correzioni di obiettivi in corso d'opera, e le difficoltà incontrate per effetto del ritardato finanziamento, gli obiettivi di questo Task per il secondo anno di progetto debbono quindi ritenersi senz'altro conseguiti soddisfacentemente.

### **TASK 3 “PRODUZIONE DEL GIS E CATALOGAZIONE A LIVELLO NAZIONALE”**

Contributo a cura di: Prof. R. Galetto, UniPV-DIET (Coordinatore)  
*tutte le Unità di Ricerca*

Le attività svolte dal presente Task nel primo anno sono state: a) definizione del modello concettuale del GIS; b) definizione dell'area test; c) acquisizione dei dati di impianto di conoscenza del territorio; d) scelta ed acquisto della strumentazione hardware e software per la realizzazione del prototipo di GIS; e) prime elaborazioni del GIS.

Durante il primo anno sono stati acquisiti dati di descrizione del territorio (cartografia nazionale di base, carte tematiche sulle frane e sui dissesti, ortofoto digitale). In sede di esame consuntivo delle attività dell'intero Gruppo di Ricerca, è emersa l'opportunità di realizzare un Map Server in grado di consentire a tutte le Unità di Ricerca la consultazione in rete dei dati del GIS e di utilizzarne le funzionalità.

In seguito a queste considerazioni ed agli obiettivi del primo anno, le attività del presente Task hanno riguardato: a) inserimento nel GIS di nuovi dati cartografici territoriali e di dati vettoriali e descrittivi relativi alle infrastrutture; b) predisposizione della struttura hardware e software per il Web server; c) realizzazione del Map server in ambiente ESRI; d) implementazioni di funzionalità per la gestione dei dati delle infrastrutture; e) sviluppo della funzionalità di simulazione degli effetti di un terremoto secondo un approccio deterministico; f) realizzazione del Map server in ambiente Java; g) ottimizzazione della gestione delle immagini raster e dei tempi di trasmissione via rete.

L'inserimento di nuovi dati cartografici territoriali e vettoriali delle infrastrutture per tutta la area campione è stato effettuato mediante la cartografia dell'IGMI alla scala 1:25.000 e 1:100.000 ed operando in ambiente ArcInfo. Sono state inserite nel GIS molte cartografie tematiche, fra cui la carta degli insediamenti urbani e delle infrastrutture e quella della vulnerabilità segnalata del tessuto urbano ed infrastrutturale. È stata inoltre inserita una funzionalità dedicata alla visualizzazione delle informazioni descrittive per tutti i tipi di cartografia e delle relative legende.

I seguenti dati, acquisiti dagli altri Task, sono stati inseriti nel GIS in forma di entità vettoriali sempre operando in ambiente ArcInfo: a) 40 ponti di diversa struttura e tipologia; b) 26 stazioni di energia elettrica; c) un impianto industriale.

Per l'inserimento dei dati descrittivi dei ponti è stato realizzato un database di informazioni riguardante i particolari strutturali, le immagini fotografiche, le PGA di snervamento e di collasso dei ponti rilevati. La sismicità di una data zona è simulata numericamente mediante il calcolo della PGA in funzione di intensità sismica, coordinate epicentrali, legge di attenuazione. Lo stato delle strutture susseguente al sisma è visualizzato sotto forma di rapporto tabellare in cui sono confrontate le PGA discendenti da un'analisi di vulnerabilità e quella relativa alla sismicità del sito.

Una seconda fase del lavoro ha riguardato sia l'ottimizzazione del Map server che della gestione delle immagini. Il lavoro di ricerca è stato ampliato effettuando uno studio di confronto tra Map server realizzati in ambienti differenti: la personalizzazione del Map server con l'aggiunta di funzioni non standard è risultata molto impegnativa, sia per la complessità dell'architettura client-server che per la struttura del software ArcIMS. La soluzione alternativa è stata realizzata con componenti di tipo open-source e interfaccia scritta in linguaggio Java con le stesse funzionalità della precedente in ambiente Esri. È stata dedicata particolare attenzione

alla gestione delle immagini raster, i cui tempi di risposta erano inizialmente non ottimizzati, ma successivamente ridotti di un fattore 10 mediante l'utilizzo di un apposito software di compressione.

Per quanto riguarda gli obiettivi conseguiti e la congruenza con gli impegni assunti, la ricerca effettuata nel secondo anno di attività è in perfetto accordo con quanto previsto originariamente. La pubblicazione del GIS in rete mediante Map server, inoltre, costituisce un importante miglioramento rispetto alle previsioni iniziali.

#### **TASK 4 – “VULNERABILITÀ RETI VIARIE”**

Contributo a cura di: Prof. P.E. Pinto, UniROMA1-DiSeG (Coordinatore)  
*UniPV-DMS* Prof. G.M. Calvi  
*UniNA-DIG* Prof. F. Vinale

L'attività del secondo anno è consistita nella naturale prosecuzione del lavoro svolto durante il primo anno per il raggiungimento dei seguenti obiettivi: a) realizzazione di linee guida per la valutazione della vulnerabilità sismica dei ponti; b) realizzazione di strumenti informatici per la valutazione di vulnerabilità e rischio interfacciati con il GIS; c) calibrazione del grafo di rappresentazione stradale; d) definizione dei pesi di traffico sulla rete viaria dell'area campione.

I primi tre risultati sono stati effettivamente conseguiti; l'indisponibilità dei dati ha reso necessario posporre all'anno successivo l'ultimo punto. È stato in ogni caso anticipatamente e significativamente sviluppato l'argomento “vulnerabilità della rete stradale”, previsto per il terzo anno. Le tecniche di soluzione adottate fanno riferimento allo stato dell'arte con significativi spunti innovativi.

L'Unità di Roma ha operato in ambito probabilistico mettendo a punto una procedura per la valutazione del rischio sismico di una rete viaria partendo dalla valutazione della fragilità delle opere d'arte presenti. Dal rilievo effettuato sui ponti dell'area campione risulta che la tipologia largamente predominante è quella a travi isostatiche. Ai fini dell'analisi strutturale, le pile sono modellate come un oscillatore non-lineare ad un grado di libertà; le statistiche della risposta massima di una generica pila soggetta ad eccitazione sismica si ricavano mediante simulazione. Nota la capacità di una specifica pila, ed assumendo che la capacità e la risposta siano caratterizzate da una distribuzione di probabilità log-normale, la probabilità di collasso si stima mediante un'analisi FORM ed è espressa sotto forma di curve di fragilità. Al fine della determinazione delle curve di fragilità (fig. 5), è stato calcolato il valor medio della massima domanda di duttilità in spostamento in funzione del periodo proprio e del coefficiente di progetto, sono stati utilizzati 41 accelerogrammi naturali, un legame costitutivo di tipo Takeda e uno smorzamento del 5%. La rete viaria è rappresentata mediante vari tronchi connessi ai loro estremi in cui possono essere presenti una o più opere d'arte. Il sistema ipotizzato è di natura esclusivamente connettiva; si assume inoltre che per ciascun tronco siano possibili solo due stati: transito garantito o transito interrotto. Il collasso della rete viaria a seguito di un evento sismico è definito come la mancata connessione tra due punti prescelti del grafo. La probabilità di collasso di ciascun tronco si determina ipotizzando un sistema in serie, mentre la probabilità complessiva è valutata sfruttando la teoria dei *minimal cut-set* (minimo insieme di tronchi necessari per interrompere la connessione tra due punti prescelti della rete) e i limiti di Ditlevsen.

L'Unità di Pavia ha proseguito lo studio di tipo deterministico: il codice di calcolo

SVVS per la valutazione della vulnerabilità dei ponti in c.a. è stato ulteriormente sviluppato e quindi applicato alla maggior parte delle opere d'arte rilevate nell'area campione. La procedura messa a punto prevede la definizione iniziale di stati limite di progetto globali (transitabilità ininterrotta, transitabilità consentita solo ai mezzi di soccorso, transitabilità interrotta) definiti sulla base del danneggiamento locale, individuato da variabili meccaniche quali lo spostamento o la richiesta di duttilità in sommità delle pile, la curvatura nelle sezioni di base, la resistenza a taglio e flessione. Il tipo di procedura di calcolo per la valutazione della risposta sismica del generico ponte (DDBA, direct displacement based assessment) è dipendente dalla tipologia strutturale (es: ponte a campate isostatiche, ponte a campate continue) ed è basata sull'esecuzione di analisi push over mediante le quali vengono determinati diagrammi forza-spostamento locali e globali e diagrammi momento curvatura delle sezioni degli elementi strutturali. La struttura viene successivamente ricondotta al caso dell'oscillatore semplice equivalente, caratterizzato da un periodo, da una duttilità ed uno smorzamento (Kovalsky) calcolati in funzione della risposta globale. Scelto uno spettro di risposta in spostamento (EC8) in funzione del tipo di suolo e dello smorzamento precedentemente calcolato, si determina lo spostamento spettrale per una accelerazione di picco al suolo (PGA) unitaria corrispondente al periodo equivalente. La PGA associata allo stato limite prescelto è valutata come il rapporto tra lo spostamento di stato limite ed il precedente spostamento spettrale. La procedura descritta è stata applicata alle principali opere d'arte rilevate nell'area campione. In fig. 6 sono riportati alcuni risultati parziali (curve forza-spostamento delle singole pile) per il viadotto autostradale "Sambuchi". Entrambe le metodologie (probabilistica e deterministica) sono state implementate nel GIS ad opera dell'Unità di Pavia-DIET al fine della determinazione di un database per la valutazione dello stato post-sismico delle opere d'arte dell'area test.

Secondo il presente Task, per quanto riguarda gli obiettivi raggiunti nel secondo anno di ricerca e la congruenza degli impegni assunti, il lavoro effettuato è da ritenersi soddisfacente.

### **TASK 5 – "VULNERABILITA' DI RETI ELETTRICHE"**

Contributo a cura di: Prof. R. Giannini, UniROMA3-DiPSA (Coordinatore)  
UniROMA1-DiSeG Prof. P.E. Pinto

Gli obiettivi posti per l'attività del 2° anno riguardavano prevalentemente lo studio del comportamento meccanico dei componenti di una stazione elettrica ad alta tensione, della loro vulnerabilità e dei sistemi di riduzione della medesima. In questo quadro è stata svolta una cospicua attività sperimentale, oltre che teorica, per la caratterizzazione meccanica dei dispositivi di isolamento prescelti e dello sviluppo di modelli analitici corrispondenti. È in fase di svolgimento la caratterizzazione del comportamento meccanico delle apparecchiature e del materiale ceramico che le costituisce. A compensazione del lieve ritardo dell'attività sperimentale, è già stata messa a punto una procedura informatica per la valutazione del rischio sismico della rete elettrica nazionale.

Presso il Laboratorio dell'Università di Roma Tre sono state effettuate prove sperimentali per l'analisi del comportamento ciclico di ammortizzatori a cavo metallico (Wire-Rope), costituiti da un unico cavo a trefoli in acciaio inox elicoidale. La flessibilità meccanica dell'intero cavo conferisce al Wire-Rope ottime proprietà di

isolamento dalle vibrazioni, mentre lo scorrimento mutuo dei trefoli conferisce un'elevata capacità dissipativa. Le prove sono state effettuate su tre differenti tipologie dimensionali. La fig. 7 mostra alcuni esempi del comportamento dell'isolatore sottoposto a cicli di diversa ampiezza e frequenza. Una caratteristica comune è la sostanziale stabilità e indipendenza dalla frequenza dell'eccitazione, mentre, la loro forma dipende fortemente dalla direzione di sollecitazione. Nel caso di trazione/compressione, i cicli sono asimmetrici con softening in compressione e hardening in trazione. Lo smorzamento associato è circa del 15-20%. Il comportamento ciclico per sollecitazioni di taglio è di tipo simmetrico con rigidità equivalente dipendente dallo sforzo normale. La rigidità diminuisce all'aumentare del livello di compressione. La capacità dissipativa è più elevata nel caso di sollecitazioni di taglio in direzione longitudinale (Shear). E' in fase avanzata la seconda parte dell'attività sperimentale riguardante le prove statiche su apparecchiature elettriche della sottostazione di Valmontone (isolatori per colonne portanti e di manovra di sezionatori e trasformatori TA). La finalità delle prove è la valutazione della resistenza statica dei singoli elementi, utile per la successiva fase che prevede analisi di fragilità delle apparecchiature elettriche.

Al fine di effettuare simulazioni numeriche del comportamento sismico di apparecchiature elettriche isolate alla base, i wire-rope sono stati modellati con l'ausilio del modello di Buoc-Wen classico, mentre per il caso di trazione/compressione è stato necessario adottare una parziale modifica. I parametri utilizzati per tipologia e sollecitazione sembrano cogliere soddisfacentemente il comportamento sperimentale. Sono state condotte analisi numeriche per la valutazione del comportamento sismico di apparecchiature elettriche ad alta tensione. Utilizzando un modello strutturale semplificato a 5 g.d.l. è stata simulata la risposta sismica di un interruttore da 420 kV isolato alla base con 4 ammortizzatori wire-rope. Esaminando la time-history del taglio alla base dell'interruttore con e senza isolamento si nota l'efficacia del sistema di controllo (riduzioni intorno al 50%).

Per quanto concerne gli strumenti di calcolo per analisi di affidabilità sismica della rete elettrica, lo stato dell'arte è rappresentato da ASKxELP [Giannini e Vanzi, 1999], un programma basato su procedure Monte Carlo. Nell'ottica di includere gli effetti della variabilità spaziale del moto del suolo, che possono dare luogo a localizzazioni del danno con conseguente sconnessione dello schema di rete, il valore della PGA nello spazio  $F(\mathbf{x}, \mathbf{g}, q_m, q_v)$  è stato trattato come la somma di una componente deterministica data dalle leggi di attenuazione comunemente impiegate in ingegneria sismica, ed un termine aleatorio a media nulla,  $\varepsilon(\mathbf{x}, \theta_m, \theta_v)$ , dove  $\mathbf{x}$  indica la posizione,  $\mathbf{g}$  le altre quantità osservabili che influenzano il campo, mentre  $\theta_m$  e  $\theta_v$  sono i parametri necessari a modellare la componente deterministica e aleatoria del campo. Una misura statistica della componente aleatoria e' rappresentata dalla funzione di auto-covarianza,  $C_{FF}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, q_v) = \text{Cov}[\varepsilon(\mathbf{x}_1, q_v), \varepsilon(\mathbf{x}_2, q_v)]$ , dove  $\mathbf{x}_1$  e  $\mathbf{x}_2$  sono due punti nello spazio. Differenti metodi per la valutazione della struttura di autocorrelazione dai dati di un campo sperimentale sono disponibili in letteratura e saranno oggetto di studio nel prosieguo del progetto di ricerca. Volendo integrare il funzionamento della procedura di calcolo Monte Carlo di ASKxELP generando una statistica di  $F(\mathbf{x}, \mathbf{g}, \theta_m, \theta_v)$  sufficientemente prossima a quella obiettivo, la correlazione è stata ottenuta attraverso una decomposizione di Cholesky della matrice di correlazione e, per campi non-Gaussiani.

Il lavoro svolto nel secondo anno del Progetto di ricerca è da ritenere soddisfacente in termini di obiettivi raggiunti e congruenza con gli impegni inizialmente assunti.

### **TASK 6 – “VULNERABILITÀ DEGLI IMPIANTI INDUSTRIALI”**

Contributo a cura di: Prof. G. Manfredi, UniNA-DAPS (Coordinatore)  
*UniPV-DMS* Prof. G.M. Calvi  
*UniROMA1-DISeg* Prof. P.E. Pinto  
*UniROMA3-DiPSA* Prof. R. Giannini

Il presente Task sviluppa in parallelo gli argomenti legati alla valutazione delle vulnerabilità di strutture prefabbricate e di impianti industriali, in particolare petrolchimici. Gli obiettivi del secondo anno sono: a) la realizzazione di linee guida per la valutazione della vulnerabilità di strutture prefabbricate di grande luce esistenti e sottodimensionate; b) la definizione di parametri sintetici di valutazione del potenziale di rischio e della vulnerabilità di impianti petrolchimici.

Per il raggiungimento del primo obiettivo sono state analizzate le caratteristiche strutturali degli edifici industriali prefabbricati costruiti in Italia negli anni '60 e '70, sulla base dello studio di opere effettivamente eseguite. Un edificio industriale prefabbricato, opportunamente identificato come rappresentativo di una classe di strutture costruite nel periodo di riferimento, è analizzato come caso studio in campo non lineare sotto carichi verticali ed orizzontali. L'influenza di alcuni parametri, come la deformabilità delle unioni trave-pilastro ed il fenomeno della “fixed and rotation” sulla capacità dell'edificio, sono stati valutati mediante analisi push over. Il collasso dell'edificio di riferimento è dovuto alla formazione di una cerniera plastica alla base dei pilastri, che anticipa anche il collasso della unione trave-pilastro; soltanto nel caso di barre lisce in assenza di gancio nell'unione pilastro-fondazione il collasso è dovuto al pull-out dell'armatura e, conseguentemente, la struttura presenta una duttilità molto bassa. I risultati delle analisi spettrali semplificate fondamentalmente confermano i risultati del calcolo convenzionale, sebbene il ruolo della “fixed end rotation” alla base dei pilastri appare essere rilevante.

Per quanto riguarda il secondo obiettivo, è stata dapprima analizzata la situazione italiana degli impianti industriali a rischio, in particolare le installazioni che rientrano nella definizione degli articoli 6 ed 8 del Dgls 334/99 “Seveso Bis”. Per l'analisi dei dati territoriali sono intersecati tra loro i dati del censimento degli impianti del Ministero dell'Ambiente (2001) e quelli del Servizio Sismico Nazionale per la classificazione sismica del territorio. Ciò ha consentito non solo una prima quantificazione del rischio industriale/petrolchimico nell'area campione, ma su tutto il territorio nazionale. È stato condotto uno studio dettagliato sulla vulnerabilità strutturale di serbatoi in acciaio saldati seguendo un approccio di tipo statistico-osservazionale ed uno di tipo affidabilistico. E' stato necessario eseguire una analisi di vulnerabilità sismica specifica per i serbatoi in acciaio. Gli stati limite presi in considerazione si riferiscono all'instabilizzazione del mantello ed allo spostamento rigido della struttura a seguito del superamento della soglia di attrito statico tra serbatoio e terreno di posa. I risultati della analisi, sebbene provvisori, sono stati implementati nel sistema GIS con l'aiuto dell'Unità di Pavia-DIET; è attualmente in corso la generazione di un modello tridimensionale navigabile interattivamente, inoltre, per ciascuno dei serbatoi presenti nell'impianto, sono associati una scheda di vulnerabilità e le curve di fragilità per l'instabilizzazione del mantello.

Gli studi realizzati ed i risultati ottenuti sono congruenti con gli obiettivi prefissati per il secondo anno.

### **TASK 7 – “VULNERABILITÀ DELLE DIGHE IN TERRA”**

Contributo a cura di: Prof. F. Vinale, UniNA-DIG (Coordinatore)  
*UniCAL-DDS Prof. F. Silvestri*

Durante il primo anno del progetto l'attività di ricerca è stata finalizzata allo studio di letteratura sui possibili danni che terremoti strong-motion possono arrecare alle dighe in terra e sugli approcci utilizzabili per lo studio del comportamento sismico di tali strutture. E' stata inoltre selezionata una case-history da utilizzare come diga campione per l'applicazione delle diverse procedure di analisi individuate. Durante il secondo anno di attività sono state determinate le caratteristiche meccaniche dei materiali appartenenti al corpo diga ed ai terreni di fondazione; sono state effettuate diverse modellazioni del problema al contorno risolto per via numerica.

Previsioni affidabili del comportamento sismico delle dighe in terra rispetto a meccanismi di instabilità globale ed alla riduzione del franco disponibile richiedono la definizione di uno scenario sismico plausibile e l'adozione di modellazioni in grado di prevedere in modo attendibile gli effetti dell'input sismico. Approcci numerici adeguati devono tenere in considerazione tutte le peculiarità che caratterizzano la risposta meccanica di un elemento di terreno: dipendenza dallo stato tensionale efficace, dipendenza dalla storia di sollecitazione, isteresi, liquefazione, degrado ciclico. A valle dell'ampia attività di ricerca condotta nel corso del primo anno è stata selezionata una diga campione ben documentata ed è stato individuato un approccio dinamico-accoppiato come strumento idoneo alla previsione. Nell'ambito di tale approccio il comportamento tenso-deformativo dello scheletro solido del materiale da nucleo e dei fianchi è modellato attraverso la legge costitutiva elastoplastica ad incrudimento combinato (Aubry et al., 1982 e Hujeux, 1985). Il modello riproduce attendibilmente gli aspetti principali che caratterizzano il comportamento non lineare dei terreni entro un ampio intervallo di deformazione. Il set di equazioni di governo è implementato nel codice agli elementi finiti Gefdyn. Il programma di ricerca che è stato elaborato prevede la determinazione del comportamento tenso-deformativo di tipo monotono dall'interpretazione delle prove di laboratorio e di sito disponibili, nonché dalla back-analysis dei dati del monitoraggio statico. Il comportamento ciclico è definito, invece, parametricamente sulla base di dati di letteratura.

Durante il secondo anno di attività di ricerca è stata svolta un'intensa attività sperimentale. La tecnica SASW è stata applicata al fine di determinare la rigidità iniziale dei terreni della diga (nucleo e fianchi) e della fondazione. E' stato inoltre progettato e realizzato un sistema di monitoraggio sismico costituito da cinque postazioni accelerometriche in grado di cogliere con accuratezza sia il comportamento tenso-deformativo, fortemente influenzato dalla storia di carico passata, sia l'amplificazione del segnale sismico sulla struttura.

Le fasi statiche (costruzione e primo invaso) della diga campione sono state simulate numericamente per controllare e ricalibrare i parametri costitutivi del terreno a medie e grandi deformazioni. Tramite una procedura di back-analysis sulle fasi statiche della diga è stato individuato un set di parametri in grado di riprodurre in modo soddisfacente i cedimenti e le pressioni neutre durante la costruzione ed il primo invaso. Sono state eseguite analisi bidimensionali usando l'ipotesi semplificata di

stato di deformazione piano e portando in conto la dipendenza della rigidità dei materiali dalla tensione media efficace. Lo sviluppo della ricerca ha richiesto durante il secondo anno lo svolgimento delle seguenti attività: a) caratterizzazione meccanica dei materiali da costruzione e dei terreni di fondazione; b) modellazione numerica del problema al contorno con differenti metodi di analisi. A parere del gruppo di ricerca UniNa-DIG, ciascuno degli impegni su indicati sono stati soddisfacentemente portati a termine.



Fig. 1. Geometria delle 5 zone sismogenetiche dell'area test.

Zona	l (tasso di sismicità)	b (Gutenberg-Richter)	Magnitudo max
Z56	0.004	0.7278	6.2
Z57	0.10	0.9295	5.0
Z58	0.088	0.5850	7.3
Z62	0.091	0.5722	6.7
Z63	0.315	0.6716	7.0

Tab. 1: Tabella riassuntiva della massima magnitudo delle 5 zone dell'area test.

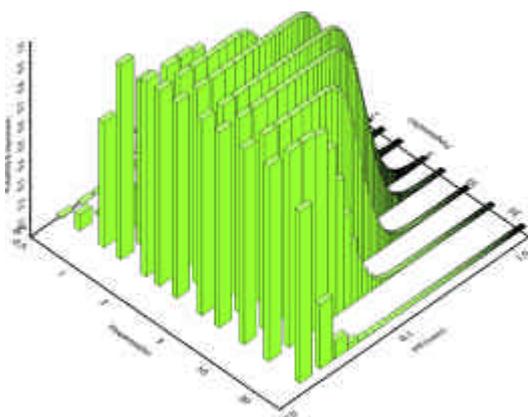


Fig. 2. Curve di probabilità di superamento di pseudo velocità per diverse frequenze proprie.

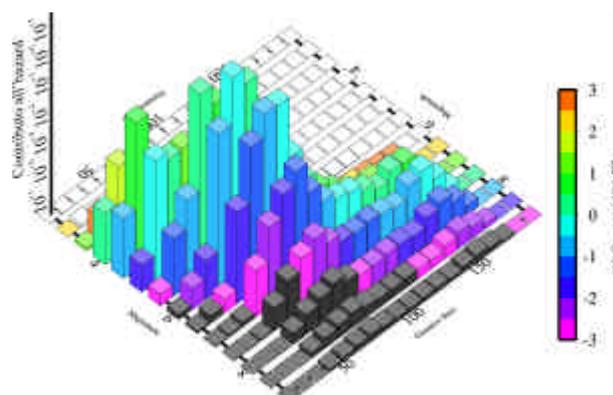


Fig. 3. Contributo alla pericolosità sismica in funzione della distanza e della magnitudo.

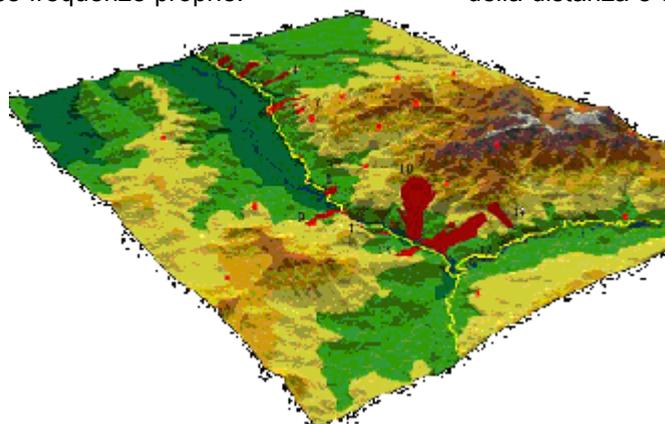


Fig. 4. Modello digitale 1:25.000 e aree in frana zona di interesse (S.S.88 lungo Fiume Sabato).

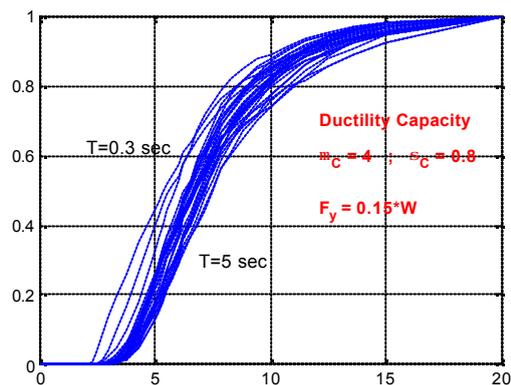


Fig. 5. Curve di fragilità per pile di capacità 4 e periodo compreso fra 0.3 s e 5 s.

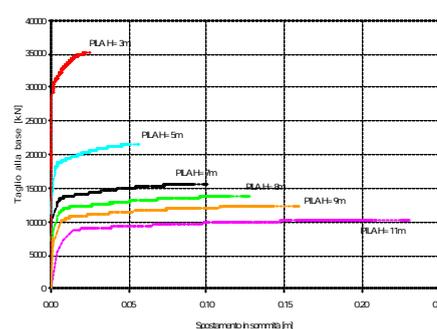


Fig. 6. Viadotto Sambuchi: curve forza-spostamento delle singole pile.

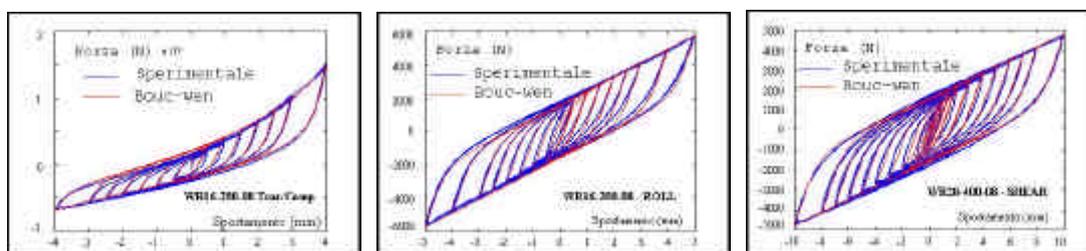


Fig. 7. Esempi di cicli sperimentali per le tipologie di sollecitazione tipiche.

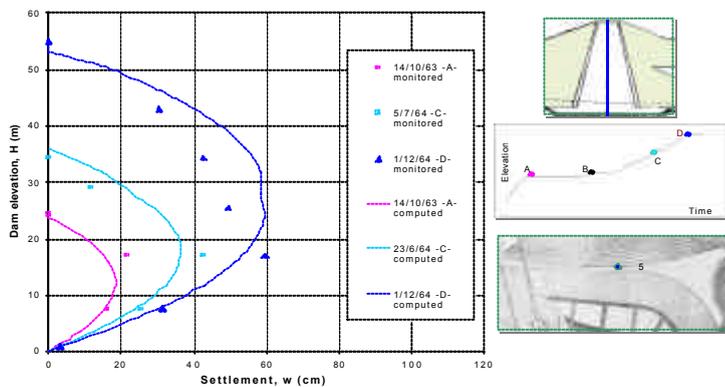


Fig. 8. Diga campione: confronto fra sedimenti calcolati e misurati in fase di costruzione.

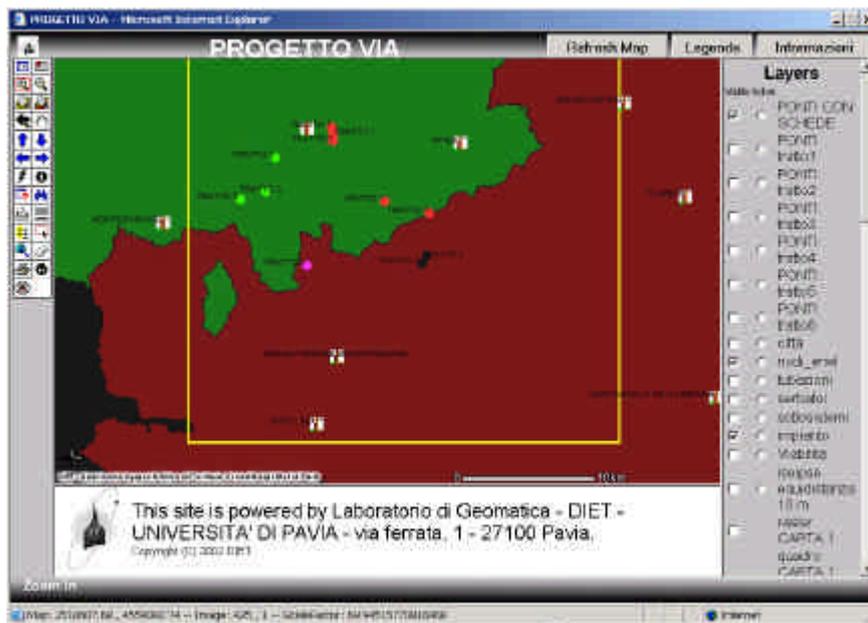


Fig. 9. Esempio di schermata del Map Server per l'interazione col client.

Caratteristiche Sisma								
Coordinate Ipocentro			Magnitudo	Parametro tipo di terreno				
Nord [m]	Est [m]	Profondità [m]						
4551196	2505018	1500	7	1				
Risultati della simulazione								
Nome	Tipo	Nord [m]	Est [m]	Dist. Ipocentro [Km]	PGA snerv.	PGA collasso	PGA simulato	Stato
DENTECANE	viadotto	2511350	4542749	10.198	0.24	0.9	0.476	Parzialmente agibile
DEL DUCA	viadotto	2511030	4542126	11	0.11	0.75	0.449	Parzialmente agibile

Fig. 10. Esempio di report dello stato post-sismico delle strutture.



# Tema 4

## Strategie per la riduzione del rischio sismico



## **Progettazione e sviluppo di una rete sottomarina di monitoraggio e allarme sismico in aree esposte a elevato rischio sismico - Realizzazione di un primo nodo nella Sicilia orientale (SN-1).**

Coordinatore: Dott.ssa Laura Beranzoli

### **Introduzione**

Gli obiettivi del progetto sono:

- la realizzazione a la messa in opera di un osservatorio di fondo mare (SN-1) rivolto al monitoraggio e all'allarme sismico;
- l'integrazione dell'osservatorio con le reti sismologiche di terra;
- l'aggiornamento delle conoscenze sulla geologia, tettonica e la geodinamica della Sicilia orientale e dello Ionio occidentale.

Per raggiungere gli obiettivi sono state costituite le seguenti Unità di Ricerca (UR)

UR 1 - Responsabile: Prof. Claudio Faccenna, Dipartimento di Scienze Geologiche Roma III University.

UR 2 - Responsabile: Ing. Francesco Gasparoni, Tecnomare S.p.A. Venezia.

UR 3 - Responsabile: Prof. Giancarlo Neri, Università di Messina.

UR 4 - Responsabile: Dott.ssa. Laura Beranzoli (INGV)

Una scheda riassuntiva in italiano e inglese del progetto viene presentata nell'Annesso 1(a,b).

### **Sottoprogetti**

Le attività descritte nell'ambito dei sottoprogetti di seguito riportati, si riferiscono al secondo anno di attività.

Sottoprogetto B (UR2): Realizzazione dell'osservatorio, integrazione e tests

*Obiettivi previsti:* completamento della realizzazione dell'osservatorio, esecuzione dei tests di funzionalità in laboratorio e in vasca, osservatorio pronto per la missione di "lungo termine" in mare.

*Obiettivi raggiunti:* osservatorio testato e pronto per la deposizione sul fondo marino.

*Descrizione dell'attività relative al sottoprogetto:*

**Realizzazione dell' osservatorio:** la progettazione e realizzazione dell'osservatorio SN-1 deriva dal concetto di osservatorio bentonico sviluppato nell'ambito dei progetti comunitari GEOSTAR 1 e 2 (1995-1998, 1999-2001). SN-1 è costituito da una struttura leggera a quattro gambe che alloggia i sensori scientifici e l'apparecchiatura necessaria per una missione di lungo termine sul fondo del mare. SN-1 viene deposto sul fondo e recuperato per mezzo di un veicolo sottomarino del tipo Remote Operating Vehicle (ROV), sviluppato nei progetti GEOSTAR, che di seguito verrà chiamato MODUS (Mobile Docker for Underwater Science). MODUS viene guidato con precisione dalla superficie per mezzo di strumentazione sviluppata ad-hoc:

thrusters (motori elettrici a elica), video camere e sonar. MODUS è stato messo a disposizione per gli scopi di presente progetto.

Per ragioni di spazio la descrizione dettagliata del sistema completo si può trovare negli Annessi dal 2 al 6. Durante il secondo anno del progetto, l'UR 2 ha lavorato allo sviluppo dei sottosistemi e apparecchiature di SN-1 progettati in sub-task precedenti. I componenti elettronici ed i materiali sono stati scelti in base ad un criterio di basso consumo di potenza e di resistenza alle alte pressioni e alla corrosione. La struttura di SN-1 è in lega di alluminio, mentre i contenitori per l'elettronica e le batterie, resistenti alle alte pressioni, sono in titanio grado 5. Tutte i componenti, inclusi connettori e cavi sottomarini, sono certificati per operare fino a 4000 metri di profondità.

I sottosistemi principali di SN-1 sono i sensori scientifici, il Data Acquisition and Control System (DACS), il pacco batterie e il sistema di comunicazione.

Per quanto riguarda i sensori geofisici, una riduzione dei fondi disponibili ha permesso l'acquisto di un idrofono, del sensore di conducibilità temperatura e pressione (CTD) e del correntometro puntuale a tre componenti. Gli altri sensori sono stati acquisiti grazie a fondi di altri progetti e presi in prestito dai precedenti progetti GEOSTAR. L'insieme di sensori installati è descritto nella Tabella 1. E' opportuno precisare che lo stesso dispositivo, progettato e sviluppato nel progetto GEOSTAR per la deposizione del sismometro, è stato montato anche su SN-1. Il sismometro è installato all'interno di una bentosfera (una sfera di vetro speciale resistente alle alte pressioni) e protetto da un ulteriore alloggiamento esterno fissato alla struttura dell'osservatorio a circa 25-30 cm di altezza dal piano dei appoggio dell'osservatorio stesso. Dopo la deposizione dell'osservatorio sul fondo marino, un dispositivo attuatore sgancia l'alloggiamento del sismometro che va così ad accoppiarsi al fondo marino. L'alloggiamento del sismometro viene tenuto legato alla struttura dell'osservatorio con una fune lenta, capace di sostenere il peso del sismometro e del suo alloggiamento in fase di recupero.

Il DACS (vedi Annessi 3 e 4 per dettagli) interroga i sensori in sequenza ed acquisisce i dati secondo un unico riferimento temporale fornito dall'orologio del sismometro a larga banda. Il DACS inoltre guida il flusso dei dati verso l'hard disk di SN-1 e fornisce ogni ora dei messaggi che possono anche essere ricevuti su richiesta dalla superficie. L'architettura hardware e software del DACS è basata su tre CPU e su schede elettroniche dedicate, a basso consumo di potenza, progettate e sviluppate ad-hoc. Le caratteristiche delle unità CPU si possono riassumere nel seguente modo:

1. L'unità HDU gestisce l'acquisizione dell'idrofono. La sua memoria di massa è di 8 Gbyte (Hard Drive);
2. L'unità SDU gestisce l'acquisizione del sismometro, del gravimetro e del CTD (inclusa la pompa di lavaggio). La sua memoria di massa è di 8 Gbyte (Hard Drive);
3. L'unità MCU gestisce l'acquisizione del correntometro, sensori di stato (per esempio inclinazione, orientamento) e la comunicazione con la superficie via cavo (durante le fasi di test e di deposizione) e attraverso un sistema di comunicazione acustica. La sua memoria di massa è di 1 Gbyte (Flash Card).

Tabella 1. Sensori installati nell'osservatorio SN-1.

Scopo	Sensore	Modello	Passo di camp.
Registrazione in modalità continua del segnale sismologico	Sismometro larga banda a tre componenti <sup>1</sup>	Guralp CMG-1T	100 camp./s
Registrazione in modalità continua del segnale sismologico	idrofono	OES E-2PD	80 camp./s
Registrazione in modalità continua del segnale gravimetrico	gravimetro	Prototipo sviluppato dall'IFSI-CNR <sup>2</sup>	1 camp./s
Registrazione in modalità continua dell'intensità e direzione della corrente d'acqua	Correntometro puntuale triassiale	Falmouth 3ACM-CBP-D	2 campioni/s
Sensore per misure complementari a quelle del correntometro	Conductivity, Temperature and Pressure sensor (CTD)	Sea Bird SBE-37	1 camp./12 min.
Sensori per misure accessorie (temperatura e umidità. all'interno dei contenitori dell'elettronica, inclinazione della struttura dell'osservatorio, e orientazione, ecc.)	Sensori vari di tipo commerciale	-	Vari passi di campionamento

1 Messo a disposizione dal progetto GEOSTAR

2 Accordo INGV-IFSI

Il sistema di comunicazione acustico è del tipo standard e viene usato per controlli periodici effettuati dalla superficie. Il sistema permette ad un operatore che si trova a bordo di una nave, di interrogare l'osservatorio, ricevendo in tal modo parametri sullo stato dei sensori e delle altre apparecchiature (per esempio la temperatura all'interno dei contenitori dell'elettronica, la corrente ed il voltaggio delle batterie, lo stato degli hard disk). Per inviare comandi e ricevere informazioni dall'osservatorio bentonico via cavo o via sistema di comunicazione acustico, è stata sviluppata un'applicazione di interfaccia per l'utente in ambiente Windows (95/98/ME/NT/2000).

SN-1 viene alimentato da un pacco di batterie al litio (12 V, 1920 Ah), garantisce un periodo operativo di 6 mesi. Per prolungare il periodo di autonomia operativa dell'osservatorio, la sua struttura è predisposta per accogliere anche un secondo pacco batterie in apposito contenitore. Un pacco separato di batterie al litio viene usato dal sistema di comunicazione acustica.

#### **Integrazione e tests in laboratorio**

Tutta l'integrazione delle parti elettriche e dei dispositivi (hardware, software, pacchetti scientifici, batterie, sensori ausiliari, sistema di comunicazione acustica) è stata portata a termine nei laboratori di Tecnomare. La funzionalità dell'osservatorio in tutti i suoi aspetti è stata controllata effettuando missioni simulate della durata da 1-2 giorni fino ad 1 settimana.

Una volta completata la fase dell'integrazione elettrica e 'tests a secco', è stata eseguita l'integrazione finale (includendo le parti meccaniche) in vista dei tests in bacino.

#### **Tests in bacino**

SN-1 e MODUS sono stati trasportati nel bacino dell' Istituto HSVA (Amburgo, Germania), per eseguire cicli di test in condizioni controllate (vedi immagini nell'Annesso 7). Il bacino e le officine elaboratori annessi sono accessibili a costo zero solo previa proposta di attività scientifica e/o tecnologica alla Commissione Europea e approvazione; in questo caso il costo di utilizzo del bacino e delle strutture

ad esso annesse sono sostenute dalla Commissione Europea. In questo sottoprogetto la Commissione Europea ha coperto il costo dello svolgimento dei tests su presentazione e approvazione di una proposta di attività scientifico-tecnologica e quindi i tests sono stati effettuati a costo zero per il progetto con l'esclusione dei costi di trasporto e assicurazione.

I test avevano principalmente lo scopo di:

- a) Simulare le sequenze operative (assemblaggio, deposizione, missione, recupero) di SN-1 dentro e fuori l'acqua.
- b) Verificare la completa funzionalità dell'osservatorio in acqua.

I tests su SN-1 sono stati condotti in parallelo con altri test mirati alla quantificazione di componenti critiche di un altro osservatorio bentico, MABEL, in fase di sviluppo nell'ambito di un progetto finanziato dal Programma Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA). Abbiamo in tal modo avuto l'opportunità unica, grazie alle caratteristiche delle infrastrutture di HSVA, di eseguire un programma di test approfondito (per esempio le componenti di SN-1 sono state provate fino a temperature prossime a 0 °C in acqua, e quindi in condizioni severe di temperatura).

I tests in acqua eseguiti all' HSVA hanno dimostrato che l'osservatorio può gestire la strumentazione scientifica e tutti gli altri sottosistemi installati. Durante le missioni simulate sul fondo del bacino (5 m di profondità) sono state raccolte alcune serie temporali di dati. Contemporaneamente sono stati effettuati controlli sui parametri di stato (temperature interne, voltaggio e corrente delle batterie, ecc.) che hanno fornito valori entro gli intervalli attesi. Una volta depresso e lasciato sul fondo del bacino, l'osservatorio è stato interrogato con successo anche l'acustica subacquea.

Alcune immagini dello svolgimento dei tests in bacino sono riportate nell'Annesso 7.

Sottoprogetto D (UR-1,3): Caratterizzazione geologica e geodinamica della Sicilia orientale.

*Obiettivi previsti:* caratterizzazione della geologia e della geodinamica della Sicilia orientale alla luce dei risultati di nuove campagne e di nuovi dati acquisiti.

*Obiettivi raggiunti:* caratterizzazione geologica e geodinamica dell'avampese Ibleo (Sicilia sudorientale) e dell' Etna e Monti Peloritani Sicilia nordorientale).

*Descrizione delle attività relative al sottoprogetto:*

Nell'ambito del progetto sono state realizzate numerose campagne di acquisizione dati nell'area della Sicilia sudorientale e nordorientale, con l'obiettivo di comprendere l'assetto geologico e geodinamico dell'avampese Ibleo, dell'Etna, dei Monti Peloritani e delle aree circostanti. Gli articoli pubblicati, in fase di pubblicazione e sottomessi su tali temi sono lesionati nella sezione Bibliografia (vedi anche Annessi dal 9 al 13).

L'avampese Ibleo e le aree circostanti sono regioni ad alto rischio sismico come testimoniato dai numerosi dati storici e strumentali. L'inversione dei meccanismi focali dei terremoti ha evidenziato che l'area in studio è caratterizzata dalla chiara transizione in direzione approssimativamente ovest-est da regimi di stress compressivo a regimi distensivi (Neri et al., AGU-EGS 2003, Session SM13).

I dati raccolti sono di due tipi: (i) dati geologico-strutturali (i.e. giacitura delle fratture e relazioni di precedenza) e (ii) dati geofisici (i.e. anisotropia della suscettività magnetica, AMS). In particolare, sono stati raccolti dati riguardanti circa 5000 fratture e 204 campioni suddivisi in 20 siti per l'analisi di AMS.

I dati di fratturazioni relativi all'avampaese Ibleo e provenienti da rocce di età Neogenica mostrano due famiglie principali, NW-SE e NE-SW (Figura 1 dell'Annesso 8).

I dati di AMS provenienti da rocce Mio-Plioceniche mostrano parimenti due famiglie principali di lineazioni K1 (i.e. "estensione"), NW-SE e NE-SW (Figura 2 dell'Annesso 8). I dati di AMS provenienti da rocce di età Plestocenica inferiore affioranti nei bacini costieri sudorientali mostrano lineazioni K1 (i.e. "estensione") in direzione ENE-WSW. Al contrario, dati di AMS provenienti da rocce di età Pleistocenica medio-superiore affioranti nei bacini costieri orientali mostrano lineazioni K3 (i.e. "compressione") in direzione ENE-WSW (Figura 3 dell'Annesso 8).

I nostri dati suggeriscono che l'avampaese Ibleo si sia flessurato secondo una doppia vergenza. Gran parte del processo flessurale si sarebbe realizzato prima del Pleistocene medio. A partire dal Pleistocene medio un differente regime tettonico si è instaurato nell'area, con compressione orientata ENE-WSW. La doppia vergenza dell'avampaese Ibleo è probabilmente riconducibile alla presenza di una transizione litosfera continentale-litosfera oceanica in corrispondenza della costa ionica della Sicilia.

L'area dell'Etna e dei Monti Peloritani costituisce una delle regioni sismicamente e vulcanologicamente più a rischio dell'intero continente europeo, come testimoniato anche dalla presenza di vulcani attivi in corrispondenza del Monte Etna e delle Isole Eolie. Anche in questo caso i dati raccolti sono di due tipi: (i) dati geologico-strutturali (i.e. giacitura delle fratture e relazioni di precedenza) e (ii) dati geofisici (i.e. anisotropia della suscettività magnetica, AMS). In particolare sono stati raccolti dati di fratturazione e di AMS lungo il margine settentrionale dei Monti Peloritani e dati di fratturazione durante le eruzioni dell'Etna del 2001 e del 2002-2003.

I dati di fratturazione e di AMS lungo il margine settentrionale sono coerenti con processi estensionali lungo direttrici WNW-ESE (Figura 4 dell'Annesso 8).

I dati di fratturazione a Monte Etna, integrati con dati geologico-geofisici provenienti dalla letteratura (Figura 5 dell'Annesso 8) suggeriscono che numerose delle eruzioni di questo vulcano avvengano a seguito o contemporaneamente alla messa in posto di dicchi a direzione preferenziale N-S e NNE-SSW, in risposta a sollecitazioni tensionali circa E-W.

Sintetizzando i dati a nostra disposizione con quelli provenienti dalla letteratura, possiamo concludere che sismicità e vulcanismo in questa area sono probabilmente riconducibili all'attivazione di segmenti di faglie trascorrenti a direzione NE-SW e NW-SE e di faglie estensionali a direzione circa N-S, nell'ambito di una tettonica "pure shear" dovuta al regime compressivo orientato N-S (Figura 6 dell'Annesso 8).

Sottoprogetto E (UR-2,4): reperimento della logistica necessaria all'esperimento, esecuzione dell'esperimento, verifiche periodiche sull'andamento dell'esperimento.

*Obiettivi previsti:* individuazione di un mezzo navale idoneo alla deposizione dell'osservatorio, definizione della procedura di deposizione, pianificazione della

missione, e definizione della procedura di controllo remoto dell'osservatorio ed esecuzione del controllo.

*Obiettivi raggiunti:* gli obiettivi previsti sono stati raggiunti

*Descrizione delle attività relative al sottoprogetto:* A causa della non disponibilità della nave oceanografica Urania (il tempo nave di questo mezzo navale può essere richiesto solo da istituti del CNR) adatta per la deposizione di SN-1, è stata presa in considerazione la possibilità di utilizzare una nave per trasporto merci. Dopo un'estesa ricerca ed ispezione di navi nei porti di Catania ed Augusta, è stato scelto il moto-pontone "Mazzarò", della Gestione Pontoni s.r.l., perché ritenuto in grado di alloggiare l'osservatorio Sn-1, il MODUS ed il sistema verricello-cavo dell'INGV e di effettuare le operazioni di deposizione. La "Mazzarò" è equipaggiata con tutti gli strumenti necessari per eseguire ed assistere le operazioni. Tuttavia è stato necessario mettere a punto una procedura *ad-hoc* per un sicuro sollevamento dal ponte e messa in acqua di SN-1, a causa dell'elevata altezza della murata della nave. Le caratteristiche del moto-pontone sono riportate insieme ad alcune immagini nell'Annesso 14; viene descritta anche la strumentazione ausiliaria e la procedura da seguire per la deposizione.

Prima della deposizione sono stati eseguiti alcuni test di funzionalità, anche in acqua, sugli apparati ausiliari (cavo e verricello), sull'osservatorio e su MODUS. L'operazione di deposizione coinvolge varie squadre: l'equipaggio della nave, gli operatori della console di MODUS, l'operatore del verricello e gli operatori del sistema di telemetria dell'osservatorio. Sono quindi state necessarie delle prove di addestramento per l'equipaggio per mantenere fissa quanto più possibile la posizione della nave durante la deposizione e per ottenere un il massimo coordinamento con la squadra scientifica. La sequenza delle operazioni di deposizione, registrate in cassetta video, possono essere riassunte nel seguente modo: (1) immersione e discesa guidata di SN-1 fino al fondo marino attraverso MODUS; (2) *touch-down* dell'osservatorio sul fondo marino e attivazione dei dispositivi e dei sensori (es. sgancio del sismometro, avvio dell'acquisizione); (3) rilascio e recupero di MODUS. Durante la discesa verso il fondo sono stati registrati parametri significativi per la verifica del corretto andamento delle operazioni (ad esempio distanza dal fondo marino, pressione, verifica dell'assenza di acqua nei contenitori). Le operazioni di deposizione si sono svolte regolarmente. Lo sganciamento dell'osservatorio e il recupero del veicolo MODUS sono stati effettuati con successo. L'osservatorio è stato deposto alla Lat. Nord N 37° 26,53312', alla Longitudine Est 15° 23,58716' e alla profondità di 2105 m. La crociera per la deposizione dell'osservatorio ha avuto la durata di 7 giorni (dal 4 al 19 ottobre, 2002). La missione è iniziata il giorno 9 ottobre. La deposizione dell'osservatorio è descritta con maggior dettaglio negli annessi Annessi 15 e 16.

A circa un mese dalla deposizione è stato effettuato il primo sopralluogo sul sito dell'osservatorio per verificarne il regolare funzionamento attraverso il sistema acustico di comunicazione. Per effettuare il sopralluogo è stato utilizzato un mezzo della Capitaneria di Porto di Catania. L'operatore grazie ad un trasduttore acustico opportunamente interfacciato con un computer portatile ha potuto interrogare l'osservatorio recuperando valori relativi a parametri significativi dell'attività

dell'osservatorio. L'esito del sopralluogo ha evidenziato il corretto funzionamento dell'osservatorio; è stato anche osservato un incremento dell'occupazione di memoria riservata ai dati nei periodi successivi all'occorrenza di eventi sismici locali riportati su bollettino. Una descrizione dettagliata delle operazioni di interrogazione per via acustica sono riportate nell'Annesso 17.

Sottoprogetto F (UR-3): Integrazione e analisi congiunta dei dati da reti marine e terrestri.

*Obiettivi previsti:* analisi delle forme d'onda sismologiche acquisite dall'osservatorio di fondo mare, esecuzione dell'integrazione dei dati dell'osservatorio con quelli delle reti a terra, e analisi congiunta dei dati al fine di fornire localizzazione ipocentrali più accurate per eventi che avvengono in aree critiche rispetto alla copertura del monitoraggio sismico terrestre.

*Obiettivi raggiunti:* acquisizione di strumenti e metodi per il trattamento di dati da strumentazione sismologica da fondo mare e per l'analisi congiunta di dati da reti marine e terrestri.

*Descrizione delle attività relative al sottoprogetto:*

Sono state individuate due linee d'azione principali:

- 1) l'analisi dei dati delle stazioni sismiche a terra per la determinazione della struttura crostale su scala locale e regionale mediante inversione tomografica dei tempi di arrivo P ed S, ed il successivo calcolo dei parametri sorgente utili per la modellazione sismotettonica e geodinamica dell'area in studio;
- 2) l'analisi integrata dei dati delle stazioni a terra ed a mare relativi ad uno sciame di eventi di bassa magnitudo verificatosi durante l'esperimento GEOSTAR del Tirreno Meridionale.

Con riferimento alla linea 1, un modello 3D di velocità crostale è stato determinato (Neri et al., Geophys. Res. Letters, December 2002) per la regione comprendente il Tirreno sudorientale, lo Ionio occidentale a ridosso della costa siciliana, la Sicilia nordorientale e la Calabria sudoccidentale (Figura 3). Una nuova inversione tomografica è in fase di completamento su un settore più ampio comprendente la Sicilia, la Calabria, e le aree tirreniche e ioniche confinanti (Barberi et al., AGU-EGS 2003; session SM3). I risultati sono ovviamente propedeutici alle analisi del dataset integrato terra-mare. Analogamente, l'approfondimento delle conoscenze sismotettoniche nell'area rappresenta un elemento rilevante per un corretto approccio all'analisi integrata delle varie tipologie di dato.

Con riferimento alla linea 2, è stato analizzato uno sciame sismico verificatosi nel Marzo 2001 in prossimità di S. Lucia del Mela (Sicilia Nordorientale). Sono state effettuate le stime dei parametri ipocentrali utilizzando vari modelli di velocità, ivi compreso il modello 3D cui si è fatto riferimento nella discussione della linea 1. Analisi distinte sono state condotte per i seguenti datasets: (a) dati delle stazioni a terra INGV; (b) dati delle stazioni a terra Poseidon; (c) dati delle stazioni a terra INGV e Poseidon; (d) dati OBS e dati a terra INGV; (e) dati OBS e dati a terra Poseidon; (f) dati OBS e dati a terra INGV e Poseidon (Figura 4). Si è in primo luogo finalizzata

l'indagine ad una valutazione degli aspetti metodologici connessi con l'integrazione dei vari datasets. Tra l'altro, si sono evidenziati problemi di sincronismo delle "basi tempo". Le conseguenti valutazioni di accuratezza dei dati hanno costituito la premessa per l'effettiva analisi dello sciame, e per la sua interpretazione in chiave strutturale (nota in preparazione).

Sottoprogetto G (UR-1,3,4): Integrazione delle attività di progetto con quelle di altri progetti in corso.

*Obiettivi previsti:* svolgimento di giornate di lavoro e studio per il confronto e la discussione dei risultati e programmazione di studi/azioni coordinati con il progetto "Uno Studio per la Valutazione della Pericolosità Derivante da Processi Geologici Sottomarini nei Mari Italiani: Terremoti, Maremoti e Frane" coordinato dal Dott. Argnani. Programmazione di azioni coordinate con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) per la connessione di SN-1 ad un cavo sottomarino di alimentazione e trasmissione dati.

*Obiettivi raggiunti:* svolgimento di giornate di studio per l'elaborazione congiunta dei risultati e di incontri tecnici per la sinergia tra progetti.

*Descrizione delle attività relative al progetto:*

**Attività coordinate con il progetto GNDT "Uno studio per la valutazione della pericolosità derivante da processi geologici sottomarini nei mari italiani: terremoti, maremoti e frane"** - Il progetto riguarda la tettonica della Sicilia orientale. In particolare, tale progetto coordinato dal Dott. A. Argnani dell'ISMAR-CNR di Bologna, è stato focalizzato sulle geometrie, cinematica e storia tettonica della Scarpata di Malta, che rappresenta, da un punto di vista morfologico, l'elemento di primo ordine nell'off-shore siciliano orientale. Ne consegue che i due progetti presentavano tematiche affini e aree di sovrapposizione. Per tale ragione, sono state organizzate alcuni incontri con il Dott. Argnani per confrontare e discutere e i risultati ottenuti durante le ricerche parallele dei due progetti.

I risultati principali ottenuti dal progetto coordinato dal Dott. Argnani possono essere così sintetizzati (vedi anche Argnani et al., 2003, Boll. Geof. Teor. Appl., in stampa): (1) La Scarpata di Malta a direzione NNW-SSE può essere suddivisa in due porzioni principali, caratterizzate da strutture e storie tettoniche differenti; (2) a Sud di Siracusa, la Scarpata di Malta, che in origine costituiva una scarpata di origine erosionale-sedimentaria, non presenta indizi di tettonica recente e si presenta come una superficie acclive che tende ad attenuare la pendenza verso il bacino Ionico. Poco ad Est della scarpata, sollevamenti regionali di età recente si allineano lungo direzioni circa NNW-SSE; (3) a Nord di Siracusa e fino alla costa siciliana a Nord di Catania e del Monte Etna, la Scarpata di Malta è caratterizzata da numerose faglie estensionali a direzione NNW-SSE e immersione verso Est. L'attività di tali faglie può essere estesa fino al Recente; (4) localmente, nel tratto settentrionale della Scarpata di Malta sono state individuate deformazioni recenti, post-estensionali, di natura compressiva che riattivano alcuni segmenti delle faglie normali a direzione NNW-SSE.

Tali risultati sono coerenti con i dati rilevati durante la realizzazione del presente progetto, che individuano evidenze di estensione e compressione, entrambe a

direzione ENE-WSW lungo il margine orientale della Sicilia. Inoltre, l'ideale prolungamento verso Nord del sistema di faglie a direzione NNW-SSE della Scarpata di Malta può essere individuato lungo il margine settentrionale dei Monti Peloritani, nell'area di Tindari-Barcellona, dove vi sono evidenze di faglie estensionali attive a direzione NNW-SSE in risposta ad estensione tettonica ENE-WSW.

I risultati sopra discussi pongono nuovi vincoli per la localizzazione delle faglie sismicamente attive e per la previsione sismica nella Sicilia orientale. In particolare, l'integrazione dei dati del progetto del Dr. Argnani e quelli provenienti dal presente progetto permetteranno una nuova e più precisa ubicazione di passati e futuri eventi sismici.

**Attività di coordinamento con l'INFN** - Durante lo svolgimento del progetto sono stati parallelamente avviate azioni di coordinamento con l'INFN per realizzare nel prossimo futuro la connessione dell'osservatorio SN-1 a terra tramite cavo. L'INFN ha già provveduto a deporre un cavo sottomarino dal porto di Catania fino a circa 25 km dalla costa. Ad una distanza di 20 km circa dalla costa il cavo si dirama per una lunghezza di 5 km. Una delle diramazioni sarà destinata all'Osservatorio SN-1 mentre l'altra alimenterà un esperimento per l'osservazione dei neutrini che l'INFN intende intraprendere come esperimento pilota. E' quindi stato concordato con il personale INFN coinvolto nell'esperimento pilota, di realizzare un'interfaccia di collegamento (junction box) tra osservatorio SN-1 e cavi INFN per assicurare la corretta alimentazione e trasmissione dei dati. La progettazione dell'interfaccia è stata conclusa ed è stata avviata la sua realizzazione.

## Conclusioni

Le attività svolte hanno determinato la realizzazione e la messa in opera di un osservatorio di fondo mare, SN-1, che rappresenta un punto di osservazione strategico rispetto alle reti di monitoraggio sismologico esistenti nell'area dello Ionio e della Sicilia orientale e costituirà nel prossimo futuro la prima stazione sismologica sottomarina permanente in Europa grazie al collegamento a terra con cavo elettro-ottico tramite il quale sarà alimentata e invierà in tempo reale i dati acquisiti.

Gli strumenti per l'integrazione e l'analisi dei dati sono stati sviluppati e testati su dati prodotti da precedenti campagne di monitoraggio sottomarino. Dati importanti sulla geologia e sulla geodinamica dell'area sono stati acquisiti durante nuove campagne e fornendo nuovi elementi per l'interpretazione dei dati sismologici.

I dati acquisiti dall'osservatorio saranno recuperati e integrati con quelli prodotti dalle altre reti e saranno analizzati sia per mettere a punto un sistema di allarme sia per contribuire all'arricchimento delle conoscenze sismologiche dell'area.

## Bibliografia

Barberi G., Cosentino M.T., Gervasi A., Guerra I., Neri G., Orecchio B., 2003. Seismotomography of the crust of the Calabrian Arc, South Italy. EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice 2003, session SM3.

Billi, A., Acocella, V., Funiciello, R., Giordano, G., Lanzafame, G., Neri, M., 2003. Mechanisms for ground-surface fracturing and incipient slope failure associated with the 2001 eruption of Mt Etna, Italy: analysis of ephemeral field data. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2568, 1-14. **(Annesso 9)**

Billi, A., 2003. Characterisation of fractured carbonate rocks from the foreland of Southern Apennines and Sicilian Maghrebides, Italy. Geological Society Special Publication, submitted. **(Annesso 12)**

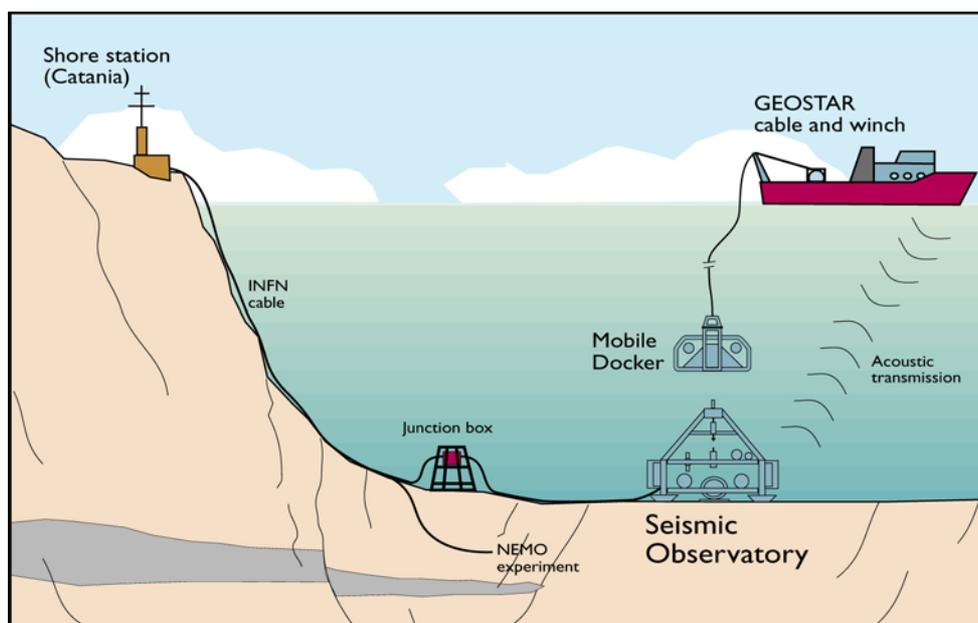
Funiciello, R., Billi, A., 2003. Etna e Isole Eolie: casualità o eventi connessi? Sicurezza Civile, 3, 8-11. **(Annesso 10)**

Funiciello, R., Billi, A., Barberi, F., 2003. Are Etna and the Aeolian Islands related? Geology, submitted. **(Annesso 13)**

Lanzafame, G., Neri, M., Acocella, V., Billi, A., Funiciello, R., Giordano, G., Structural features of the July-August 2001 Mount Etna eruption: evidence for a complex magmatic system. Journal of Geological Society, London, in press. **(Annesso 11)**

Neri G., Barberi G., Orecchio B., Aloisi M., 2002. Seismotomography of the crust in the transition zone between the southern Tyrrhenian and Sicilian tectonic domains. Geophysical Research Letters, 29, 24.

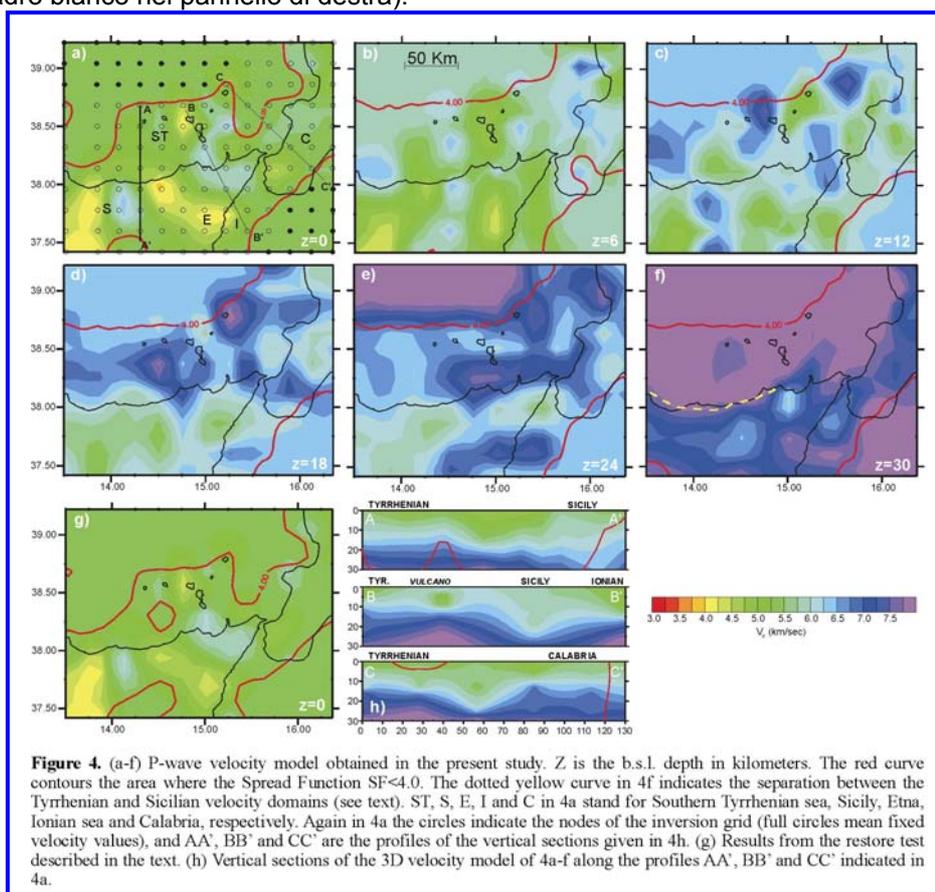
Neri G., Barberi G., Orecchio B., 2003. Recent crustal seismicity in Northeastern Sicily, South Italy. EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice 2003, session SM13.



**Figura 1.** Schema di deposizione e recupero dell'osservatorio SN-1: le operazioni sono effettuate per mezzo di un veicolo sottomarino denominato MODUS (Mobile Docker for Underwater Science); la comunicazione per via caustica può essere attivata dalla superficie e consente di recuperare parametri significativi rispetto allo stato dell'osservatorio e all'andamento della missione a fondo mare. Nel prossimo futuro sarà deposta un'interfaccia (junction box) di collegamento tra SN-1 e un cavo sottomarino già deposto nell'area dall' Istituto Nazionale di Fisica Nucleare per un esperimento di rilevazioni di neutrini. SN-1 sarà quindi integrato nelle reti terrestri di monitoraggio esistenti.

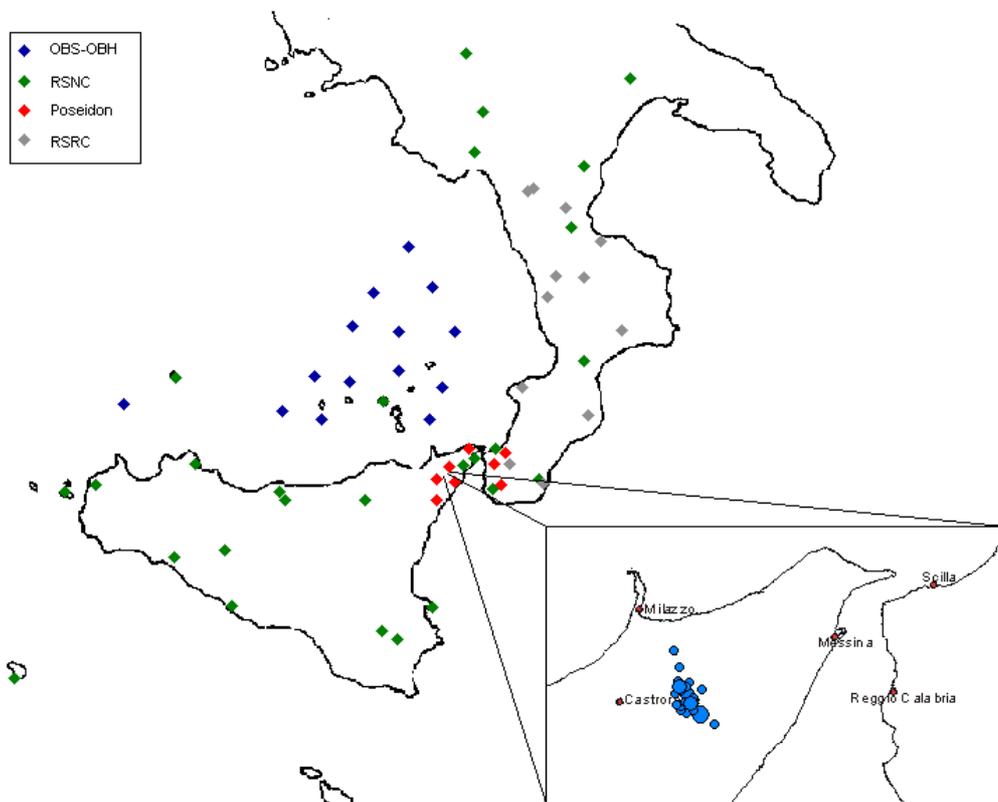


**Figura 2.** L'osservatorio SN-1 a bordo del moto-pontone "Mazzarò" durante l'assemblaggio (pannello di sinistra) e durante uno dei tests in mare effettuati prima delle operazioni di deposizione (pannello di destra). Le operazioni possono essere seguite per mezzo del sistema di telemetria di MODUS, basato su un cavo elettro-ottico la cui terminazione è visibile in cima alla struttura di MODUS (riquadro bianco nel pannello di destra).



**Figure 4.** (a-f) P-wave velocity model obtained in the present study. Z is the b.s.l. depth in kilometers. The red curve contours the area where the Spread Function  $SF < 4.0$ . The dotted yellow curve in 4f indicates the separation between the Tyrrhenian and Sicilian velocity domains (see text). ST, S, E, I and C in 4a stand for Southern Tyrrhenian sea, Sicily, Etna, Ionian sea and Calabria, respectively. Again in 4a the circles indicate the nodes of the inversion grid (full circles mean fixed velocity values), and AA', BB' and CC' are the profiles of the vertical sections given in 4h. (g) Results from the restore test described in the text. (h) Vertical sections of the 3D velocity model of 4a-f along the profiles AA', BB' and CC' indicated in 4a.

**Figure 3.** Un modello di velocità tridimensionale per le onde P determinato da Neri et al. (Geophys. Res. Letters, 2002) per la crosta terrestre al di sotto delle regioni del Tirreno sud-orientale, dello Ionio Occidentale, della Sicilia nord-orientale e della Calabria sud-occidentale.



**Figura 4.** Uno sciame sismico verificatosi nel marzo 2001 nella Sicilia nord-orientale (vedi pannello inserito) è stato studiato rispetto alle localizzazioni ipocentrali con modelli differenti di velocità e usando rispettivamente (a) i dati della rete terrestre INGV, (b) i dati della rete terrestre Poseidon, (c) i dati integrati delle reti INGV-Poseidon, (d) i dati integrati delle reti di OBS (marina) e INGV, (e) i dati integrati delle reti OBS e Poseidon, (f) i dati integrati delle reti OBS, Poseidon e INGV. Gli aspetti metodologici relativi all'integrazione dei dati sono stati lo scopo principale dell'analisi e hanno evidenziato alcuni problemi relativi alla sincronizzazione dei segnali sismologici. E' stata effettuata una selezione dei dati per procedere all'interpretazione strutturale dello sciame sismico (articolo in preparazione).

## **Edu-Risk 2002 Educazione al terremoto: un itinerario nella riduzione del rischio**

Coordinatori: Dott. Camassi Romano Daniele e Dott.ssa Peruzza Laura

### **Introduzione**

Il progetto Edu-Risk ha per scopo la preparazione di strumenti formativi e informativi come sussidio di strategie educative per la riduzione del rischio sismico da avviare nell'ambito della scuola dell'obbligo e dei corsi di formazione professionale, e per un pubblico adulto in genere.

Gli strumenti comprendono:

- tre prodotti educativi per i diversi livelli della scuola materna e dell'obbligo (nell'attuale configurazione), realizzati con materiali di base raccolti sperimentalmente dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti in precedenti progetti e rielaborati da editors professionisti del settore stampa educativa;
- un prodotto multimediale professionale (CD-Rom) sul danneggiamento sismico e la vulnerabilità sismica degli edifici, destinato all'addestramento tecnico-professionale nell'ambito delle scuole professionali, pubblica amministrazione e Protezione Civile;
- un itinerario multimediale sulle tracce dei terremoti distruttivi del passato nell'ambiente naturale e costruito del nostro paese, destinato a sensibilizzare un pubblico più generale al tema del rischio sismico e all'importanza della "memoria storica" come strumento di difesa dai terremoti.

Il Collegio del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT-INGV) ha approvato la proposta di progetto Edu-Risk (riformulata a conclusione dello studio di fattibilità) nel luglio 2002, dandone comunicazione ufficiale il 25 settembre 2002 (protocollo in arrivo INGV-Milano n. 230/2002 del 1 ottobre 2002). Il relativo finanziamento è stato erogato alla sede di coordinamento (INGV-MI) il 28 dicembre 2002.

L'attività è iniziata nel mese di ottobre 2002, cosa che ne ha reso necessaria una totale rimodulazione, in funzione di esigenze esterne ma funzionali al progetto.

Il vincolo più stringente è derivato dalla importanza che ha nel progetto la *sperimentazione* dei prodotti educativi per la scuola, che obbliga a tener conto dei tempi tecnici della programmazione scolastica. Nell'ambito dell'autonomia scolastica, infatti, ogni Istituto (Circolo Didattico o Istituto Comprensivo, inclusivo di Scuola Materna, Scuola Elementare e Scuola Media) deve predisporre entro la fine dell'anno scolastico in corso il proprio Piano dell'Offerta Formativa (POF), che sintetizza attività formative per alunni e insegnanti, strategie educative e risorse offerte agli utenti per l'anno scolastico successivo e che deve essere approvato dagli organi consultivi interni (Consiglio di Circolo o Consiglio di Istituto).

Per poter sottoporre alle scuole selezionate per la sperimentazione una proposta organica, dei prodotti finiti e un progetto formativo completo in tempo utile per il loro inserimento nei POF (marzo-maggio 2003) è stato necessario dedicare i primi 6 mesi di attività del Progetto Edu-Risk agli obiettivi previsti dal Task 1. Sono state quindi

accelerate le fasi di progettazione e realizzazione dei prodotti previsti dal Task 1, che dovranno essere pronti per la consegna alle scuole inserite nel programma di sperimentazione entro la fine di maggio 2003.

Questo consentirà di riallineare parzialmente lo sviluppo del progetto Edu-Risk con i tempi degli altri progetti in corso.

## **STATO DI AVANZAMENTO DEL PROGETTO**

Il progetto è articolato in due obiettivi, di seguito rendicontati

### **TASK 1: SCUOLA DI BASE**

Gli obiettivi di questo Task sono:

- la realizzazione di strumenti didattici per la scuola dell'obbligo (includendo anche due anni di Scuola Materna), dai formati e contenuti strutturati in base alle capacità di apprendimento ed esigenze di approfondimento conoscitivo proprie alle diverse fasce di età coinvolte. Questi strumenti mirano a offrire a ciascun livello di utenza le più aggiornate conoscenze scientifiche disponibili in Italia nel formato più accessibile ed efficace possibile. Per la realizzazione editoriale è stata coinvolta come subcontractor la Società Giunti Progetti Educativi, che garantisce un alto livello di competenza professionale nel settore dell'editoria educativa;
- la sperimentazione a campione degli strumenti formativi realizzati, mirante a fornire alla committenza una valutazione costi/benefici delle campagne realizzate.

Tale valutazione farà parte integrante dei risultati del progetto e potrà divenire a sua volta strumento di progettazione per interventi futuri nell'ambito delle attività di strutture scientifiche e organismi di Protezione Civile a diversa scala.

Nel primo semestre di attività (ottobre 2002-marzo 2003) tutte le UR coinvolte nel progetto hanno partecipato - in costante interazione con le strutture esterne - alla progettazione e realizzazione dei tre prodotti previsti per la scuola di base e alla pianificazione delle attività di sperimentazione e che, per i motivi sopra ricordati, dovranno essere approvati dagli Istituti selezionati per la sperimentazione entro il maggio 2003, divenendo esecutivi dal settembre 2003.

#### **1. Il kit per i bambini tra i 4 e i 7 anni**

Per la fascia di età dai 4 ai 7 anni (Scuola Materna e primo ciclo della Scuola Elementare) si è optato per un prodotto basato su illustrazioni e disegni che indicheranno i comportamenti da tenere in caso di emergenza. L'idea iniziale di un "colouring book" si è precisata nella forma di un kit, costituito da una cartellina contenente una guida per l'insegnante e 4 quartini in cartoncino.

La guida affronta il tema del corretto comportamento in caso di terremoto offrendo all'insegnante proposte didattiche da realizzare in sezione/classe.

I quattro quartini (concepiti per un utilizzo da parte della classe suddivisa in piccoli gruppi) sviluppano il tema del corretto comportamento in caso di terremoto in quattro contesti: casa, classe, strada e parco pubblico. I modelli di comportamento verranno illustrati dalle immagini di **Nicoletta Costa**, illustratrice di rilievo nazionale, e descritti dalle filastrocche di **Maria Loretta Giraldo**.

Il testo (in rima) è in corso di redazione e si sta predisponendo uno story-board di riferimento per l'illustratrice, che avrà ampia libertà creativa nella realizzazione. Per questo motivo, diversamente dagli altri prodotti, non è previsto per il kit un progetto grafico preliminare.

## 2. Il quaderno attivo per i bambini tra gli 8 e i 10 anni

Per la fascia d'età dagli 8 ai 10 anni (secondo ciclo della Scuola Elementare) l'idea iniziale di un gioco informatico è stata scartata a favore di un più maneggevole "quaderno attivo" che adotta il formato del "quadernone" già utilizzato nella normale attività scolastica. Il gioco informatico verrà in parte riproposto in una diversa sezione del progetto.

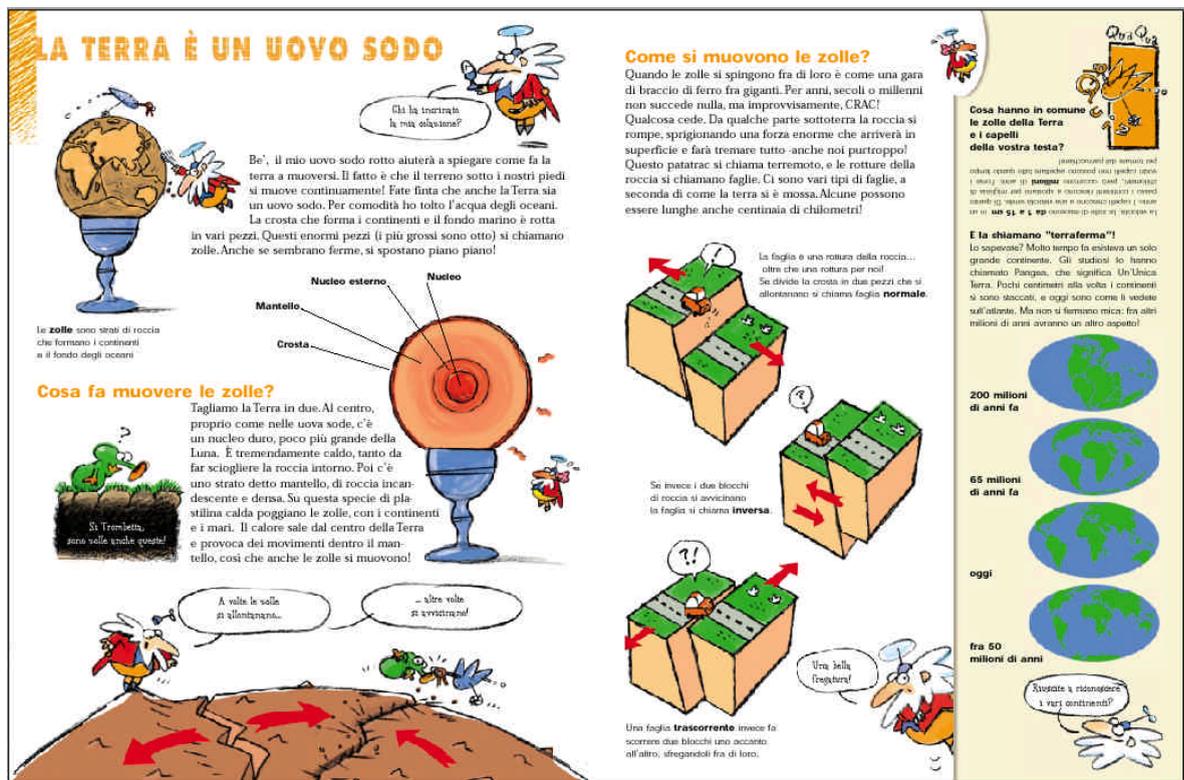


Fig. 1. Progetto grafico del quaderno attivo per la fascia di età 8-10 anni.

Il progetto grafico (Fig. n. 1) prevede l'integrazione tra un vasto corredo di disegni (riproduzioni realistiche di situazioni, modelli e schemi) e fumetti (Fig. n. 2), usati per sottolineare i concetti più importanti e offrire piccoli intermezzi umoristici. Testi e immagini si combineranno liberamente per chiarire (con esempi tratti dalla vita quotidiana) i vari aspetti del soggetto "terremoto".

Ogni apertura di pagina introdurrà un nuovo tema, con informazioni scritte e illustrate, proposte di semplici attività individuali che i lettori potranno mettere in pratica (facili test, prove di osservazione ecc.) e una scelta di "curiosità sismiche".

L'ultimo capitolo conterrà un test, utile per verificare il grado di conoscenza del fenomeno raggiunto, e una sezione conclusiva con proposte di lettura e siti web di riferimento, utili per eventuali approfondimenti.

Per gli insegnanti è previsto un quartino ogni 25 quaderni, con indicazioni di lavoro sotto forma di Unità Didattiche da svolgere in classe.

Progetto grafico, griglia di immagini e indice del testo sono stati definiti. Un autore sta elaborando il testo mentre l'illustratore e un fumettista stanno realizzando le illustrazioni. Entro la metà di aprile si prevede la revisione del testo da parte delle UR coinvolte. Entro la fine di aprile è prevista la revisione del lavoro impaginato, che andrà in stampa nella prima metà di maggio. Contestualmente un esperto di didattica sta lavorando alla predisposizione dei materiali per gli insegnanti.

Le diverse fasi di questo complesso lavoro vengono via via verificate e discusse collegialmente dalle UR coinvolte nel progetto.



Fig. 2. Il Prof. Pof e i suoi assenti, protagonisti dei fumetti utilizzati nel quaderno.

### 3. Il volume per i ragazzi delle scuole medie

Per la fascia d'età dagli 11 ai 13 anni (Scuole Medie) si è deciso di realizzare un volumetto che sviluppi organicamente i contenuti del lavoro "10 domande sul terremoto", preparato da Daniele Postpischl, rivisto da ricercatori del GNDDT, dell'ING e del SSN per conto del Dipartimento della Protezione Civile e ancora inedito. Il prodotto in corso di realizzazione manterrà sostanzialmente inalterata l'impostazione "domanda e risposta", rendendola accattivante mediante una grafica mista (foto, illustrazioni, fumetti) e una integrale riscrittura del testo da parte di un autore di libri per ragazzi.

Il progetto grafico (Fig. n. 3) prevede l'uso di immagini (fotografie, riproduzioni di documenti, iconografia classica), grafica (disegni di modelli, schemi, ecc.) e fumetto, quest'ultimo solo con funzione di richiamo e non di gestione autonoma di contenuti (come avviene nel quaderno per la Scuola Elementare).

Completato il progetto grafico, sono state avviate la raccolta e selezione del materiale iconografico e la redazione del testo, la cui revisione è prevista entro la seconda metà del mese di aprile, in modo da consentire la preparazione della versione finale del volume entro la metà di maggio.

### Progettazione della sperimentazione

Per avviare la sperimentazione scolastica degli strumenti didattici è necessario sottoporre ai diversi Istituti scelti un dettagliato progetto che dovrà essere approvato

dagli organi interni di gestione (Consigli di istituto), entro il maggio di ciascun anno per l'anno successivo.

Parallelamente all'accelerazione della progettazione e realizzazione degli strumenti didattici, è stata quindi preparata una proposta formativa complessiva per le scuole e sono stati presi contatti con alcune scuole delle aree selezionate, per definire aree e dimensioni della sperimentazione. La proposta formativa sottoposta alle scuole prevede di predisporre, entro il maggio 2003, un numero sufficiente di copie dei tre prodotti didattici di riferimento e di mettere a punto una proposta di corsi di formazione per insegnanti selezionati entro le diverse fasce scolastiche, formata da quattro moduli didattici (per complessive 6-10 ore) sui principali aspetti da sviluppare entro la scuola allo scopo di:

- contestualizzare puntualmente l'acquisizione di nozioni sul fenomeno terremoto e la pericolosità sismica locale;
- definire le caratteristiche del rischio cui la scuola, i bambini e le loro famiglie, gli insegnanti ecc. sono esposti;
- individuare le iniziative che possono contribuire a ridurlo;
- suggerire modalità di comportamento e strumenti di supporto psicologico in emergenza.

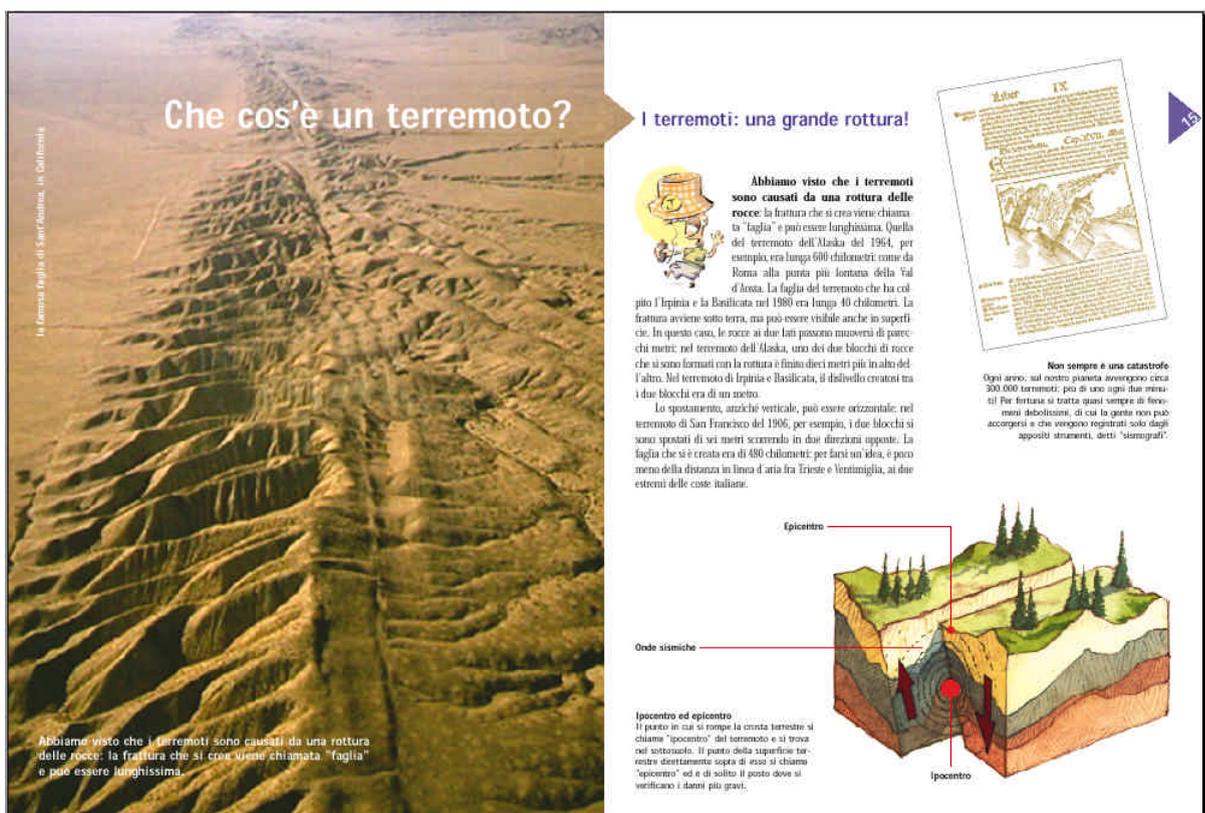


Fig. 3. Progetto grafico del volume per la fascia di età 10-13 anni.

L'attività di "formazione dei formatori" sarà strettamente correlata ai materiali forniti alla scuola (tre strumenti formativi) e alle indicazioni contenute nelle guide predisposte ad uso degli insegnanti.

### **Progettazione server dedicato**

E' in corso la predisposizione di un server web dedicato, ad accesso controllato, che metterà a disposizione degli insegnanti coinvolti nel progetto dati scientifici selezionati, informazioni sulle singole situazioni locali, proposte specifiche di attività didattica e ruoli di tutoraggio, che consentano di sviluppare le attività formative in una prospettiva di lungo termine. Il server web funzionerà come prototipo di sistema di Formazione a Distanza (FAD), che potrà essere ulteriormente sviluppato alla conclusione del progetto.

### **Selezione degli Istituti**

Le aree in cui realizzare la sperimentazione dovranno essere ristrette ma al tempo stesso rappresentative del contesto nazionale. La prima scelta è caduta sulle regioni Friuli, Emilia Romagna e Calabria, significativamente diverse per contesto culturale e per caratteristiche della sismicità locale. Per garantire la massima sinergia tra tutte le risorse locali disponibili si è ritenuto opportuno coinvolgere nella scelta degli istituti anche le amministrazioni locali. Alcuni dei contatti avviati hanno già prodotto esiti precisi, mentre per altri è necessario un ulteriore approfondimento.

La regione in cui la progettazione ha raggiunto la fase più avanzata è l'**Emilia Romagna**. Qui è stata scelta l'area della Comunità Montana Appennino Forlivese, comprendente i comuni di Santa Sofia, Civitella di Romagna, Predappio, Meldola e Bagno di Romagna con cinque Istituti Comprensivi. La progettazione della sperimentazione - concordata in due incontri fra lo staff Edu-Risk, i rappresentanti della Comunità Montana (Assessore alla Cultura e Assessore alla Protezione Civile), i dirigenti degli istituti Comprensivi e rappresentanti della regione Emilia Romagna e della Provincia di Forlì - sarà formalizzata il 9 aprile 2003 con la presentazione del progetto esecutivo da proporre ai Consigli di Istituto.

Gli Istituti di riferimento per le regioni **Friuli-Venezia Giulia, Calabria e Sicilia** (comune di Catania) verranno scelti entro la prima settimana di aprile, in modo da garantire l'avvio della procedura necessaria per ottenere l'approvazione dei progetti di sperimentazione entro il maggio 2003.

### **Monitoraggio efficacia formativa**

La sperimentazione, che coinvolgerà come si è visto anche il personale docente, sarà accompagnata da un monitoraggio costante dell'impatto reale dei diversi interventi attivati. Tale monitoraggio sarà condotto direttamente su una selezione di classi, nelle tre diverse aree nelle quali sarà realizzata la sperimentazione, per ciascuna fascia di età.

## **4. Virtual earthquake**

La necessità di privilegiare la realizzazione dei precedenti tre prodotti, necessari per la pianificazione delle attività previste per l'anno scolastico 2003-2004, ha fatto passare in secondo piano la progettazione del quarto prodotto previsto per il Task 1, cioè il CD-ROM multimediale che ricostruisce scenari virtuali di danneggiamento sismico utilizzabili per addestramento finalizzato alla valutazione della vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio italiano, al rilievo del danneggiamento sismico e alla verifica di agibilità. Nel corso del primo semestre di attività è stata comunque

completata l'elaborazione informatica della documentazione relativa a 20 edifici localizzati nella Regione Toscana (Senese, Alta val Tiberina e Garfagnana fra i quali si ritiene possibile selezionare i materiali utilizzabili per la predisposizione del prodotto. Inoltre il Partner Esterno competente (Prospero) ha avviato la progettazione logica del prodotto, a partire dall'analisi di alcuni prototipi con finalità analoghe (EVA, MEDEA) già disponibili.

## TASK 2: ITINERARI VIRTUALI NELLA STORIA SISMICA ITALIANA

Il prodotto previsto per questo Task è un CD Rom professionale, basato sulla proposta di un itinerario virtuale nel paesaggio italiano 'segnato' da terremoti distruttivi. Gli elementi chiave di questo prodotto multimediale saranno le navigazioni virtuali in formato Quick Time Virtual Reality in siti abbandonati a seguito di terremoti. Dopo una approfondita analisi della vasta documentazione raccolta nel corso dello studio di fattibilità, si è deciso di focalizzare l'attenzione su una fascia di territorio che si estende dal margine inferiore dell'Appennino Settentrionale (comprendente tutta l'area di danneggiamento dei terremoti del 1997-1998) fino al Molise (inclusa l'area danneggiata dal terremoto di San Giuliano del 31 ottobre 2002, Fig. n. 4).

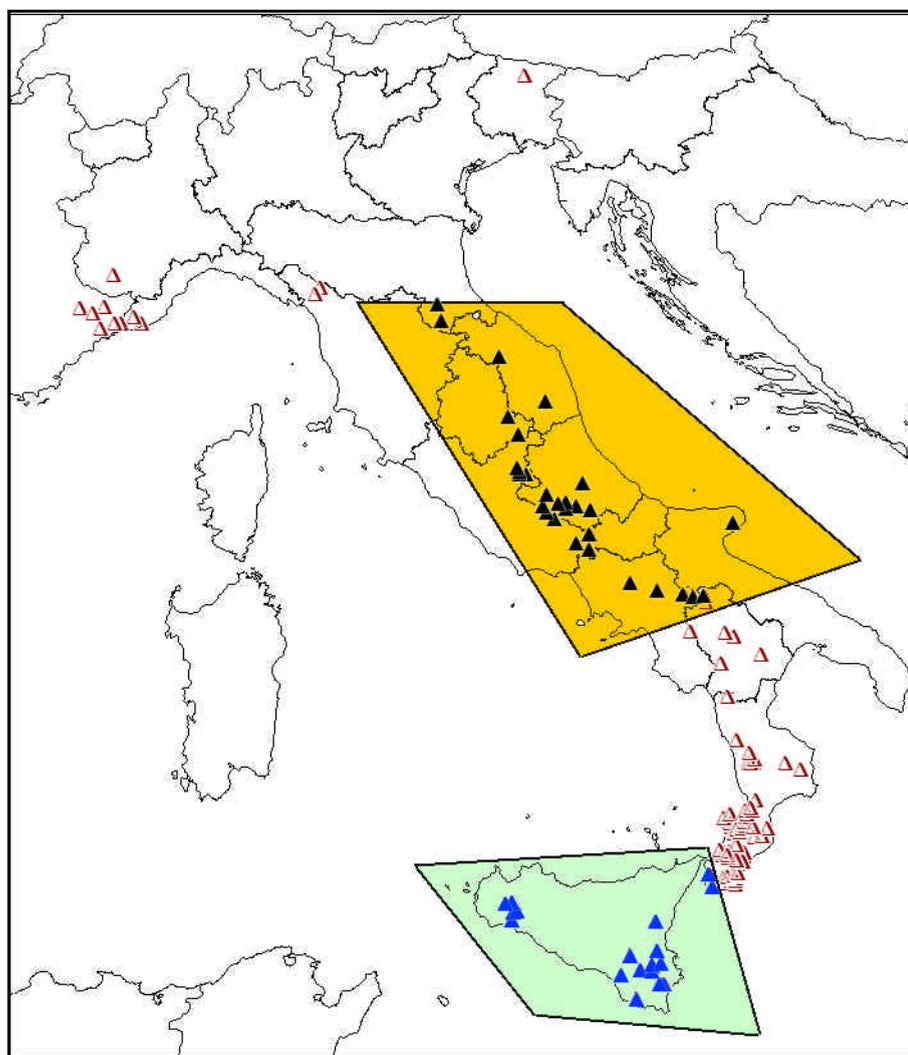


Fig. 4. Siti abbandonati a seguito di terremoti e aree selezionate per la campagna documentaria.

Sui siti individuati all'interno di quest'area si sta approfondendo la ricerca, con particolare attenzione per gli aspetti antropologici e culturali (leggende, manifestazioni culturali, ecc.) associati all'accadimento di terremoti distruttivi. Si sta inoltre pianificando una prima campagna di raccolta di documentazione visuale che sarà realizzata in gran parte entro l'estate prossima.

E' stata intanto svolta (principalmente dalla UR Catania) una ricerca mirata su una serie di siti della Regione Sicilia per cui è già stata realizzata un'ampia campagna di documentazione fotografica. Ciò consentirà di procedere alla realizzazione di un primo prototipo sperimentale del prodotto che si prevede di consegnare a conclusione dell'attività.

### **Conclusione**

La completa riprogrammazione dei tempi di sviluppo del progetto - imposta dalla necessità di predisporre entro il mese di maggio 2003 gli strumenti formativi per le scuole - ha portato le UR coinvolte nel progetto e i Partner esterni a concentrare tutte le energie del primo semestre di attività nella realizzazione di tali prodotti.

Caratteristiche, contenuti e progetti grafici dei tre strumenti formativi per la scuola di base sono stati definiti nei dettagli e la loro realizzazione è prevista entro il mese di maggio.

Contestualmente, per individuare le sedi in cui effettuare la sperimentazione dei prodotti stessi, sono stati presi contatti con diversi Istituti scolastici. Nel caso dell'Emilia Romagna si è in fase di progettazione esecutiva dell'operazione.

E' stata inoltre avviata la progettazione informatica di entrambi i prodotti multimediali previsti dal progetto e, nel caso di quello previsto dal task 2 (itinerario virtuale nella storia sismica italiana) è stata svolta una campagna documentaria su 12 siti, a partire dalla quale verrà predisposto un prototipo sperimentale che servirà da esperienza-pilota per la realizzazione del prodotto finale.

## Vulnerabilità dei Centri Storici e dei Beni Culturali

Coordinatore: Ing. Luciano Marchetti

### Introduzione

L'attività di ricerca è volta a sperimentare su centri storici campione la possibilità di organizzare in banche dati sistematiche le informazioni utili all'approntamento dei piani di recupero e alla progettazione degli interventi sui beni culturali. In particolare tali informazioni riguarderanno le caratteristiche tecnologico-costruttive degli edifici censiti, le caratteristiche della struttura e dei materiali (con particolare riferimento alle tecnologie costruttive ed ai materiali impiegati per le murature portanti) anche di quelli impiegati per le riparazioni prima del terremoto, i meccanismi di collasso degli edifici e delle strutture causati dal terremoto anche ad edifici già riparati.

Attraverso una valutazione sull'efficacia degli interventi passati di messa in sicurezza sarà possibile redigere linee guida per la riparazione ed il miglioramento.

Nel secondo anno di ricerca, una volta conclusa la campagna di rilievo dei due centri di Montesanto e di Roccanolfi, i rilievi hanno interessato le altre due aree campione di Campi Alto e Castelluccio di Norcia (PG). Su tali centri sono state eseguite indagini in situ e di laboratorio atte a caratterizzare la tessitura muraria, le caratteristiche delle strutture e dei materiali della muratura oggetto di studio.

### Titoli dei sottoprogetti

U.R. 1 - Responsabile scientifico: arch. Margherita Guccione – Indagine sugli interventi di messa in sicurezza e loro valutazione in base al valore storico-artistico e monumentale dei manufatti.

U.R. 2 - Responsabile scientifico: Prof. Luigia Binda – Interpretazione della consistenza dell'edilizia storica dei casi studio, analisi del danno sismico pregresso e valutazione di vulnerabilità

U.R. 3 - Responsabile scientifico: Prof. Claudio Modena – Valutazione sull'efficacia degli interventi passati e produzione di linee guida per la riparazione ed il miglioramento

---

### U.R. 1 - Responsabile scientifico: arch. Margherita Guccione

Un'approfondita ricerca storica è stata svolta negli archivi e nelle biblioteche non solo del territorio provinciale ma anche di Roma (in quanto territorio afferente in passato allo Stato Pontificio) allo scopo di individuare le origini e l'evoluzione dei due centri storici, la ricostruzione degli eventi sismici nella zona e per spiegare la presenza di certe vulnerabilità degli edifici, mediante la conoscenza del loro sviluppo in tempi successivi.

**Campi Alto di Norcia:** Si tratta di un castello di pendio circondato da mura con case disposte su una serie di terrazzamenti concentrici delimitati da vie raccordate da brevi rampe radiali (v Fig.1). I volumi degli edifici di Campi si adeguano all'orografia, escogitando soluzioni funzionali alla vita sociale e religiosa del castello e si presentano nella maggior parte dei casi con disposizione a schiera.

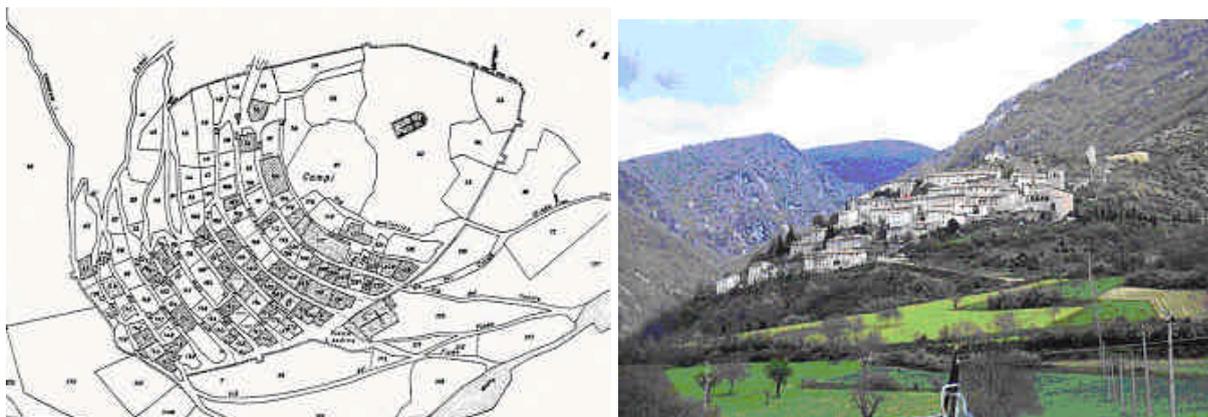


Figura 1. Pianta e veduta di Campi Alto di Norcia.

Campi appartiene al comune di Norcia, da cui dista 11 km, si trova ad un'altitudine di circa 900 m e conserva ancora l'aspetto del castello medievale. Oggetto di studio è Campi Alta, in quanto esiste anche una parte a valle denominata Campi Bassa ovvero "La Civitas Campi": un agglomerato agricolo di probabile origine etrusca con testimonianze romane chiamato anche, nel Medioevo, "Campi vecchio". In seguito alla distruzione di questa cittadina, i coloni si trasferirono più a monte e costruirono il Castello di Campi detto anche "Campi nuovo". Il castello risale al 1288. Le mura castellane sono crollate ma si conserva ancora l'arco d'ingresso e un torrione. Le caratteristiche edilizie dell'abitato indicano ancora, nonostante i danni provocati dal tempo e dai terremoti, l'importanza del castello di Campi che possedeva un Monte di Pietà già nel 1502 e due cenobi (un convento dei minori francescani e il monastero di S.Orsola delle benedettine).

**Castelluccio di Norcia:** sorge su una collina a 1453 m sul livello del mare. Il nucleo urbano è di sommità con sviluppo elicoidale. Le case si dispongono a semicerchi concentrici sul pendio esposto a sud, restando deserto il versante nord per le avverse condizioni climatiche e orografiche (Fig.2). Lo sviluppo urbanistico del paese si manifesta in due fasi: la prima accentrata attorno al Cassero, la parte più in sommità di cui si conserva solo l'impianto planimetrico ed il reticolo viario, e la seconda verso i piedi della collina, dove si sono conservate le costruzioni adibite a stalle.

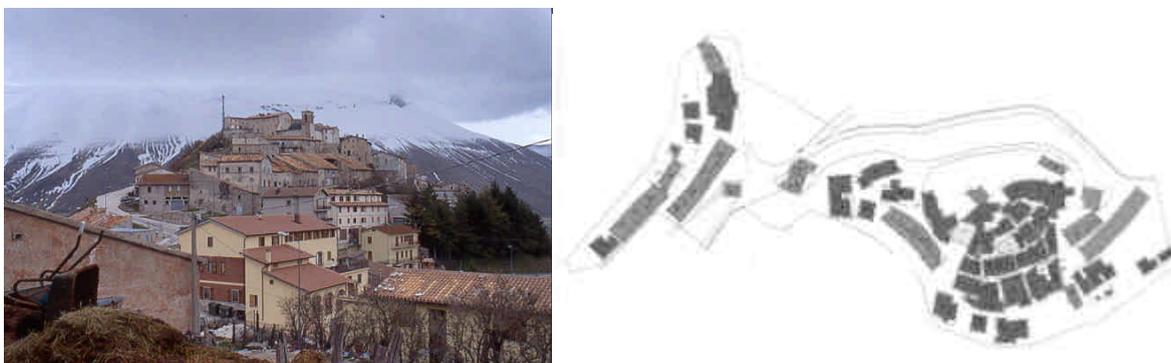


Figura 2. Pianta e veduta di Castelluccio.

I primi documenti su Castelluccio sono datati 1276. Nelle riformanze del 1442, nella consegna dei palii Castelluccio è chiamato Castello de Monte Precino ed appartiene al comune di Norcia.

Fino a circa la metà del 1900 esisteva un solo nucleo abitato, quello compreso tra le vecchie mura, mentre all'esterno ed in basso si raccoglievano le stalle. Oggi, però a causa della decadenza degli allevamenti, dell'abbandono del paese, si è formato un secondo polo nella parte bassa del colle, lungo la strada provinciale che viene da Norcia. Castelluccio ha conservato, così, quasi interamente la sua antica struttura.

Sempre per ragioni climatiche, le vecchie finestre del paese erano di dimensioni molto piccole, incassate, soprattutto quelle a nord, per ripararsi dal freddo e dal vento.

L'epoca di maggiore attività edilizia è stata il XVI sec., mentre per tutta la prima metà del 1700 venivano riparati i danni causati da due grandi terremoti, quello del 1703 e del 1730.

Durante il secondo anno è stata svolta anche una raccolta di documenti presso il Comune di Norcia e la Soprintendenza relativamente ai piani ed ai progetti di intervento proposti ed eseguiti dopo il terremoto del 1979.

---

## **U.R. 2 - Responsabile scientifico: Prof. L. Binda**

I due centri si prestano allo studio atto ad analizzare i meccanismi di danno attivati dal terremoto ed interpretarli sulla base di una conoscenza delle tecniche costruttive originali e delle modifiche apportate dai successivi interventi (compresi quelli recenti di adeguamento sismico); lo scopo è quello di fornire indicazioni utili nell'impostazione del piano di recupero dei centri, ovvero della loro restituzione all'uso che sarà decisa dalle autorità competenti e dai proprietari degli immobili, e nella loro prevenzione e salvaguardia dai futuri eventi sismici [1].

### **a) Campi alto di Norcia:**

In tutto il territorio nursino l'unico tipo di abitazione riscontrato è la casa unifamiliare a due o più piani, costruita secondo una tecnica costruttiva semplice con muri in pietra, solai e coperture in legno [2]. I diversi modi in cui la casa unifamiliare può aggregarsi sono i soli fattori che determinano le diverse tipologie edilizie: casa isolata, casa a schiera semplice o doppia, casa a blocco.

In conseguenza del forte dislivello del terreno in cui è ubicato Campi Alto (oltre 100 metri dalla base al culmine dell'aggregato) gli edifici seguono il naturale andamento delle curve di livello del terreno e si sviluppano secondo una tipologia a schiera, genericamente su tre livelli: uno con accesso dalla strada a valle (per stalle, depositi o cantine), uno intermedio ed uno con accesso dalla strada a monte (per l'abitazione). I primi due sono seminterrati ed il terzo è a livello della strada a monte (v. Fig.3).

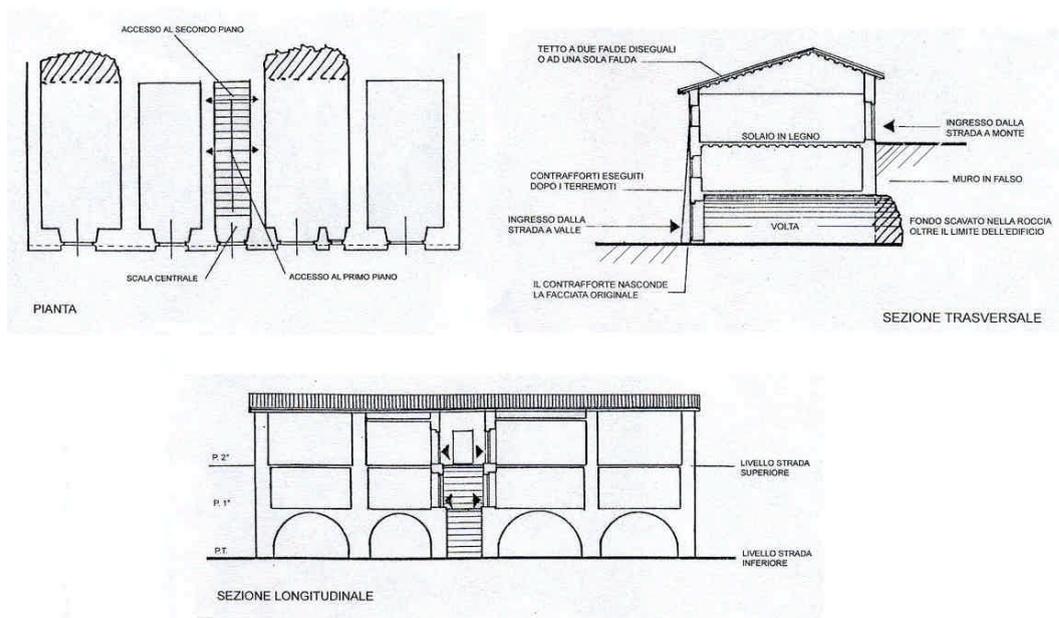


Figura 3. La tipologia edilizia in Campi Alto.

Il piano inferiore in molti casi non presenta muratura di fondo ma risulta scavato nella roccia e si estende sotto la strada a monte con profondità variabili. Tali locali presentano per lo più volte a botte in pietra, che, nonostante i numerosi eventi sismici, restano ancora ben conservate, persino negli edifici parzialmente crollati (v. Fig.4). Un dettaglio rilevato in quasi tutti questi edifici, ancora da comprendere, è l'arretramento di circa 1m delle volte rispetto alle facciate.

I numerosi sismi verificatisi nel passato, tra cui ricordiamo i più importanti nel 1705, 1730, 1859 e tra i più recenti quello del 1979, hanno profondamente segnato tra gli altri anche questo centro storico, che mostrava non solo le piaghe di tali eventi ma anche quelle dell'abbandono protrattosi per lungo tempo. In figura 5 si presenta un confronto tra lo stato di fatto al 1820-35 e il 1997. Le ricerche d'archivio hanno anche avuto lo scopo di chiarire l'esistenza a Campi di una elevata concentrazione di piccoli edifici religiosi: 22 di cui solo 13 sopravvissuti.

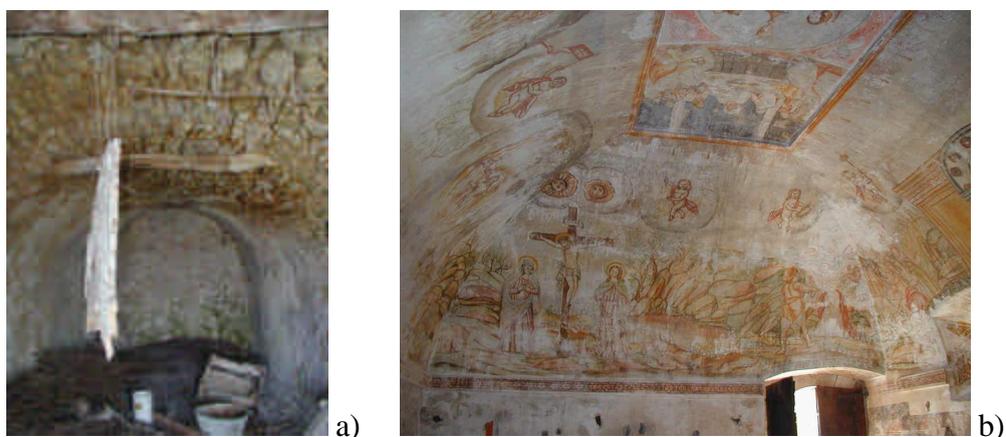


Figura 4. Campi: esempi di piani seminterrati con volte a botte; a) U.I.190 e b) U.I.191.

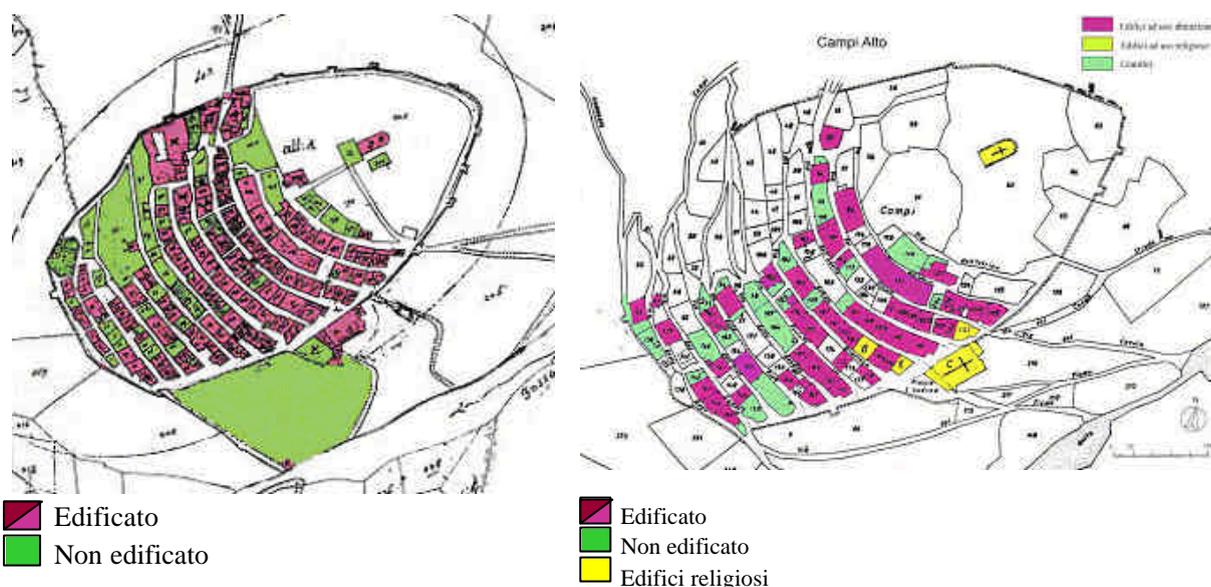


Figura 5. Confronto tra lo stato di fatto di Campi al 1835 e il 1997.

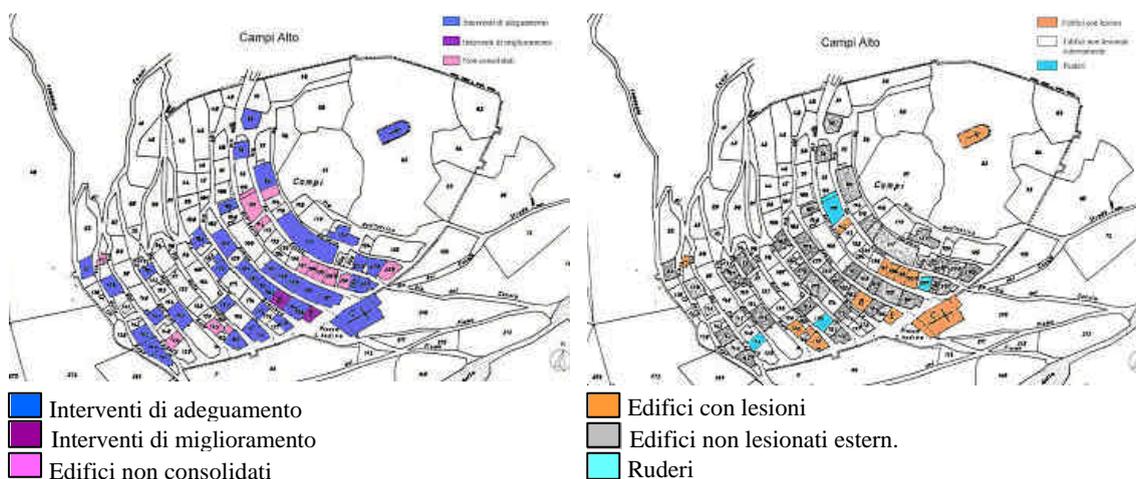


Figura 6. Confronto tra gli interventi realizzati prima del sisma del 1997 e il danno subito dopo il sisma.

A seguito del sisma del 1979, che ha causato numerosi danni alle strutture murarie, il centro storico di Campi Alto ha subito una serie di interventi di adeguamento sismico che hanno compromesso nella quasi totalità le tipologie originarie dei paramenti murari che risultano ora di difficile lettura (Fig.6). Il più delle volte si potrebbe affermare che essi sono stati determinanti nella salvaguardia del centro storico dopo il sisma del 1997, anche se di fatto la scossa sismica in questa valle – Val Castoriana - è stata meno sentita. Infatti i danni riscontrati a Campi dopo il 1997 sono stati di poca entità, per lo più localizzati negli edifici che non avevano subito manutenzione da lungo tempo.

**b) Castelluccio di Norcia:** La struttura topografica del paese è condizionata dall'orografia del terreno. La viabilità interna principale si sviluppa concentricamente rispetto al colle e divide l'abitato in quattro gironi digradanti. Le strade principali, che nella parte alta del paese si dispongono quasi in piano, si raccordano fra di loro mediante brevi e strette rampe radiali a forte pendenza, dette buci. Questi non sono altro che stretti passaggi ricoperti da volte ancora annerite da fumi secolari. Purtroppo nei primi anni del 1980 tutte le vie del paese sono state pavimentate con cemento.

Non esistono case singole, tranne due edifici di recente edificazione. Il paese è tutto raccolto in una configurazione edilizia molto compatta. Si ricorda che negli aggregati edilizi di forma composita, lo studio del comportamento sismico risulta molto più complesso e in generale meno chiaro rispetto a quelli di forma più regolare.

**c) Indagini di laboratorio e in situ:** E' stata condotta a Campi e a Castelluccio una campagna d'indagini diagnostiche, eseguite su alcuni edifici abitativi con tipologia ricorrente (abitazioni e stalle) ed alcuni religiosi messi gentilmente a disposizione dalla Soprintendenza ai Beni Architettonici della Regione Umbria. Si tratta di edifici religiosi di notevole pregio, ma molto degradati non solo per effetto del sisma ma anche per mancanza di manutenzione e presenza di umidità in particolare nei locali seminterrati.



Figura 7. Campi: Edifici religiosi (U.I.C e U.I.B).

Le indagini svolte in situ sono consistite in: 1) rilievi geometrici e materici dei singoli edifici, riportati nelle opportune schede, basi di partenza anche per il modello matematico, 2) rilievi dei quadri fessurativi, 3) rilievi anche fotografici dei dettagli utili per studiare l'evoluzione dell'edificio, 4) prove con i martinetti piatti, 5) indagini soniche, 6) prelievi dei materiali per la loro caratterizzazione chimico-fisico-meccanica. I metodi di controllo sonici si collocano all'interno delle indagini non distruttive capaci di caratterizzare e descrivere qualitativamente la muratura. I martinetti piatti si collocano all'interno delle prove semidistruttive al fine di individuare lo stato di sollecitazione e il comportamento tenso-deformativo della muratura. Le prove di laboratorio sono state eseguite sui materiali prelevati (malte e pietre) e sono servite per la definizione di parametri fisici e meccanici e per lo studio della

composizione delle malte. I risultati saranno molto utili nella scelta dei materiali per l'intervento. La fase diagnostica sulle strutture e sui materiali è importante per interpretare il comportamento delle strutture, scegliere modelli opportuni per l'analisi strutturale e scegliere tecniche d'intervento di miglioramento.

Le indagini consigliate forniscono un livello minimo di conoscenza della muratura che è possibile raggiungere anche in casi di carenza di fondi per la sperimentazione.

Su alcuni edifici rappresentativi dei centri storici sono stati prelevati dei campioni di malta e dei materiali lapidei più ricorrenti (v Fig.7), sui quali sono state eseguite della analisi chimico-fisico-meccaniche (v Figg.8, 9, 10).

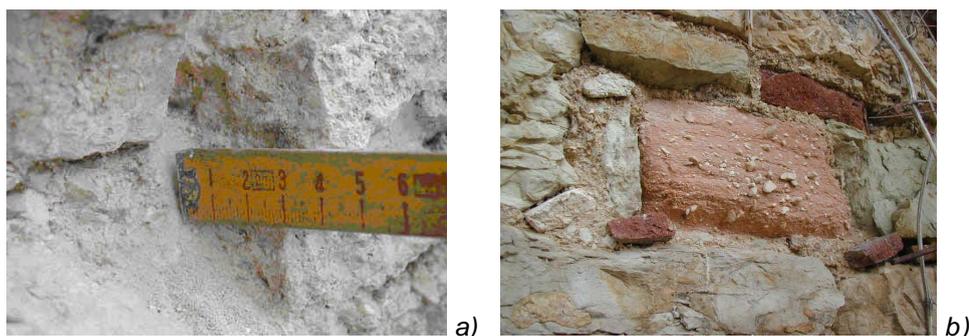


Figura 8. Prelievo di materiali costituenti le murature locali: a) prelievo di malta da un edificio religioso (Chiesa di S.Andrea): presenza di numerosi calcinelli; b) tipologia di elementi lapidei ricorrenti negli edifici abitativi.

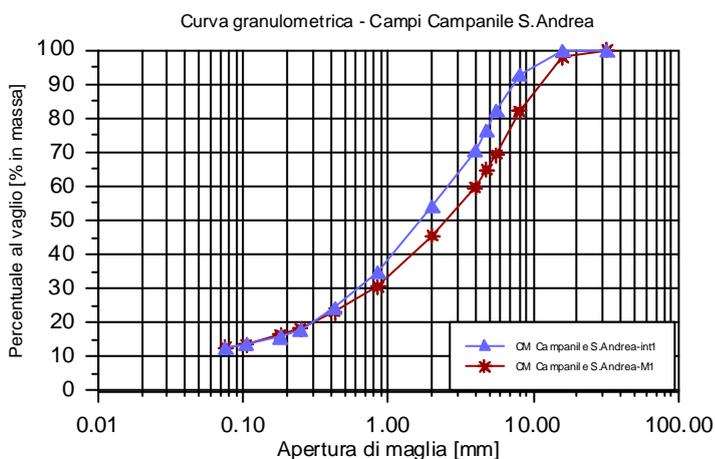


Figura 9 – Analisi granulometrica dell'aggregato di malte prelevate in situ all'interno ed all'esterno della muratura di un edificio religioso.

Le malte prelevate su edifici sia abitativi che religiosi hanno rivelato tutte una elevata presenza di calcinelli che, come le analisi chimiche hanno confermato, rivelano la natura aerea del legante. L'aggregato risulta di natura prevalentemente calcarea ed il suo rapporto col legante può essere stimato intorno a 1:2 ÷ 1:2,5.

Sui campioni degli elementi lapidei sono stati eseguiti dei carotaggi per ricavare provini cilindrici da provare a compressione e a trazione indiretta in condizioni essiccate e sature nella direzione di lavoro e perpendicolare alla direzione del carico. In Fig.10 sono riportati i diagrammi sforzi-deformazioni a compressione, di alcune pietre prelevate in situ.

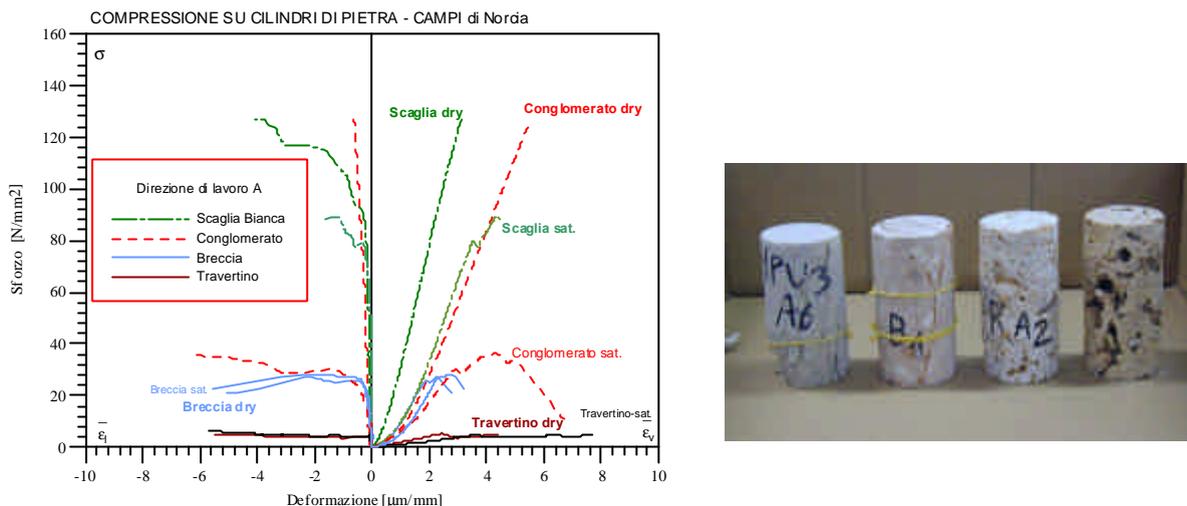
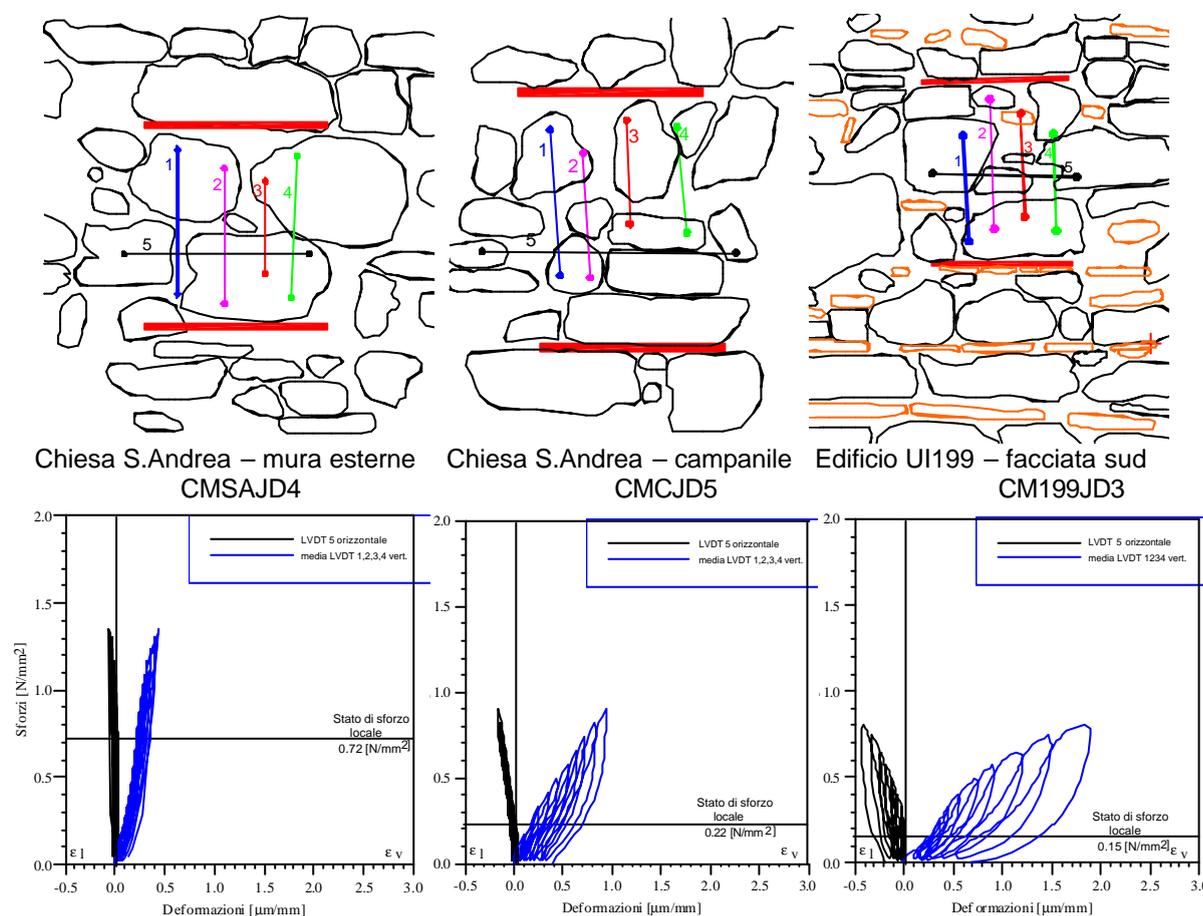


Figura 10. Prove di compressione monotona su cilindri di pietra prelevata in situ, provata nella direzione di lavoro essiccata e saturata.



	CMSAJD4	CMCJD5	CM199JD3
Stato di sforzo locale	0.72 N/mm <sup>2</sup>	0.22 N/mm <sup>2</sup>	0.15 N/mm <sup>2</sup>
Stato di sforzo max. applicato	1.35 N/mm <sup>2</sup>	0.90 N/mm <sup>2</sup>	0.81 N/mm <sup>2</sup>
Modulo Elastico (di Young)	3116 N/mm <sup>2</sup>	902 N/mm <sup>2</sup>	435 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson	0.16	0.18	0.25

Figura 11. Alcuni risultati ottenuti dalle indagini con i martinetti piatti singoli e doppi.

Nella Figura 11 si riportano i risultati delle prove con martinetto piatto semplice e doppio eseguite su alcuni edifici rappresentativi di Campi di Norcia. I risultati permettono di distinguere la differenza di comportamento delle murature di edifici più importanti o con struttura molto complessa (Chiesa, campanile), da quello di edifici di abitazione.

Allo stesso modo, è possibile confrontare i valori della velocità sonica misurati nelle stesse aree dove è stato eseguita la prova con martinetto piatto (Fig.12). Anche se il rilievo delle differenze non è immediato, sarà possibile forse utilizzare in futuro l'indagine sonica (ND) con i risultati delle prove con martinetto piatto e soprattutto verificare le zone più deboli delle murature.

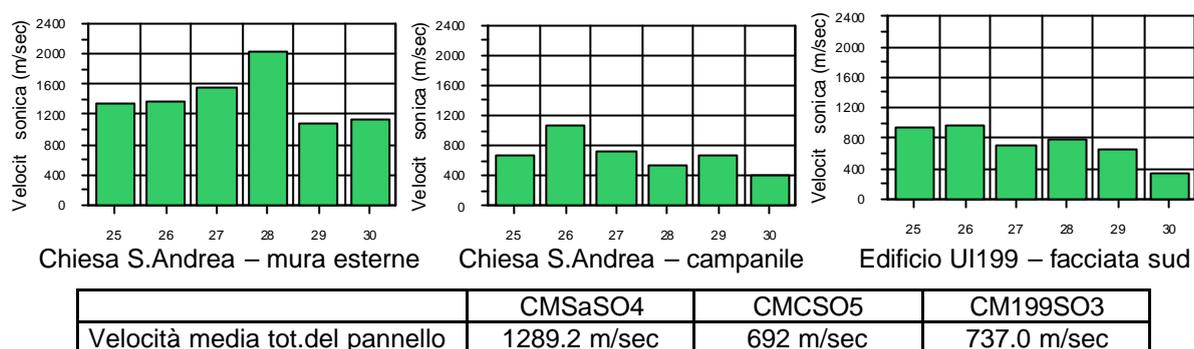


Figura 12. Risultati rappresentativi delle indagini soniche di superficie con traiettoria diagonale.

**U.R. 3 - Responsabile scientifico: Prof. C. Modena**

Nel secondo anno di ricerca l'U.O. di Padova ha concentrato le attività sulla individuazione dei modelli più appropriati per le analisi di previsione di vulnerabilità da adottare sui centri colpiti che non hanno evidenziato danneggiamento nella fase post-sisma. Sulla base dei rilievi critici sistematizzati in collaborazione con l'U.O. di Milano, l'attività è stata impostata sul centro di Campi di Norcia (PG). Lo studio ha le sue basi nella verifica preliminare della vulnerabilità dei centri maggiormente danneggiati (Montesanto e Roccanolfi), oggetto della ricerca nel primo anno di attività.

Le metodologie di calcolo adottate riguardano l'utilizzo di modelli cinematici elementari che analizzano il comportamento meccanico di componenti strutturali (macromodelli). L'analisi viene effettuata a livello generale, edificio per edificio, mediante l'applicazione del programma Vulnus [3] e, più localmente, selezionando all'interno degli edifici le componenti più significative, attraverso l'applicazione di singoli modelli cinematici. A tale proposito sono state implementate procedure automatiche in ambiente Visual Basic sia della metodologia Vulnus (versione Vulnus VB) [4] che dell'applicazione locale dei cinematicismi (con programma denominato C-Sisma) [5], al fine di rendere agevole l'applicazione su larga scala per analisi speditive.

La metodologia Vulnus individua in particolare due indici, I1 e I2, riferiti rispettivamente alla possibilità di collasso nel piano e fuori piano. Il parametro

significativo, sia per la determinazione di I1 e I2 che nell'applicazione dei singoli cinematismi elementari, è il coefficiente di collasso  $c=a/g$ , che rappresenta il moltiplicatore delle masse sismiche per il quale l'elemento considerato raggiunge le condizioni limite di equilibrio. In via preliminare, assunto il dato di sismicità della zona oggetto di studio (es.  $S=9$  per la località di Campi) è possibile verificare la vulnerabilità effettiva degli edifici in relazione alla vulnerabilità limite richiesta per la zona considerata (in zona II il valore di riferimento è  $c=0.28$ ).

In relazione al centro storico di Campi Alto sono state analizzate tre schiere di edifici, nella fattispecie composti di n. 8 unità abitative ubicate in via Graziosa, n. 5 unità abitative ubicate in via Entedia e n. 4 unità abitative ubicate in via dell'Aquila.

Per tutte le schiere studiate i valori minimi dei coefficienti di collasso si riferiscono a meccanismi fuori piano (indice I2), con una percentuale di sopravvivenza degli edifici complessiva dell'81%. I risultati denotano una particolare sensibilità ai meccanismi di danno più fragili (ribaltamento) per gli edifici di testa delle schiere.

In Fig. 13 si riportano i risultati ottenuti applicando la procedura Vulnus, evidenziando le unità contraddistinte da coefficienti che non soddisfano le richieste normative. A titolo di esempio è riportato, inoltre, in Fig. 14, il risultato dell'applicazione dei singoli cinematismi elementari, in relazione al prospetto rivelatosi maggiormente vulnerabile per la schiera di via dell'Aquila.

Infine, sempre in relazione alla schiera di via dell'Aquila, la simulazione di interventi che prevedano il rafforzamento delle murature, ove possibile, con interventi di iniezione, la chiusura di forature prossime agli spigoli delle murature portanti, e la riqualificazione di solai e coperture lignee con tecniche di irrigidimento mediante assiti sovrapposti [6], induce un miglioramento significativo, quantificabile con una riduzione della vulnerabilità specifica (v. Fig. 15).

La procedura di analisi adottata su Campi verrà successivamente applicata per le valutazioni sul centro di Castelluccio di Norcia (PG), al fine di completare il quadro generale di vulnerabilità dei siti oggetto della ricerca e di fornire un utile contributo alla stesura di una serie di raccomandazioni per la progettazione, l'esecuzione ed il controllo dell'efficacia degli interventi di riparazione e rinforzo.

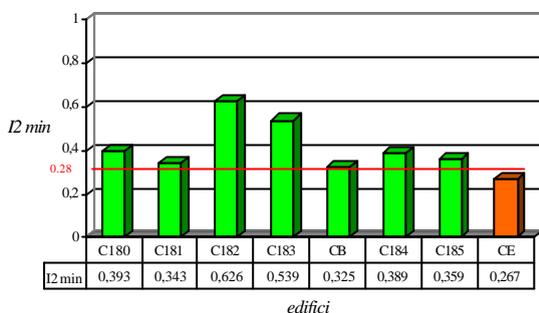
## Conclusione

L'indagine condotta dalle 3 UR, ben coordinate tra loro, grazie anche all'apporto organizzativo di Attilio D'Annibale del Dipartimento della protezione civile, ha permesso di raccogliere una grande quantità di dati su:

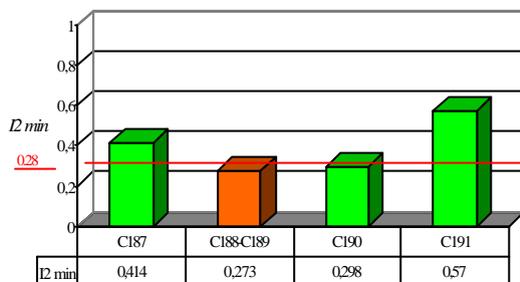
1. storia ed evoluzione degli edifici e dei centri studiati;
2. caratteristiche tipologiche degli edifici, delle strutture e dei materiali;
3. danni e interventi dopo il 1979 e danni dopo il 1997;
4. efficacia delle riparazioni dopo il 1979;
5. possibili meccanismi di danno degli edifici riparati e non riparati in futuro.

I dati sono stati utilizzati per eseguire verifiche degli edifici mediante il programma Vulnus e definirne la loro vulnerabilità oltre che a prevedere opportune tecniche di intervento.

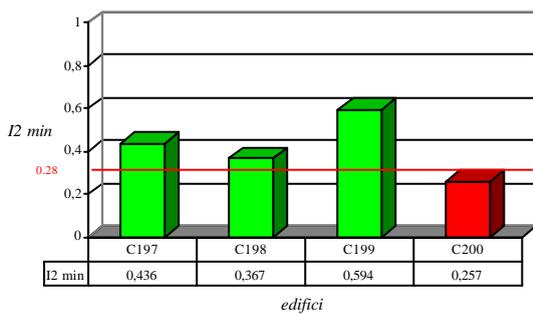
Nel terzo anno i dati ed i risultati saranno trasferiti in un data base che riguarderà i quattro centri di Montesanto, Roccanolfi, Campi e Castelluccio. Saranno inoltre stese delle Linee Guida per l'indagine diagnostica e per gli interventi di miglioramento.



a)

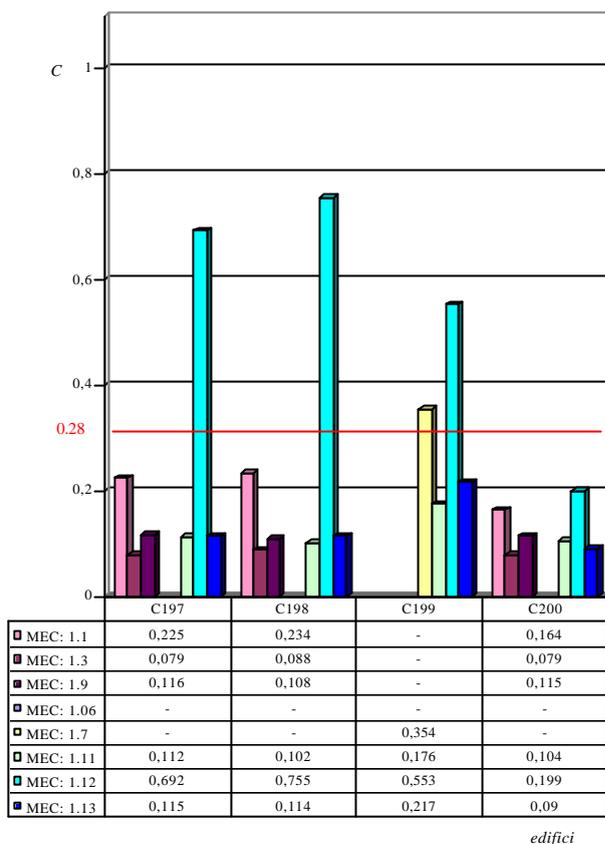


b)



c)

Fig. 13. Risultati di Vulnus per le schiere di via Graziosa (a), via Entedia (b) e via dell'Aquila (c).



edifici

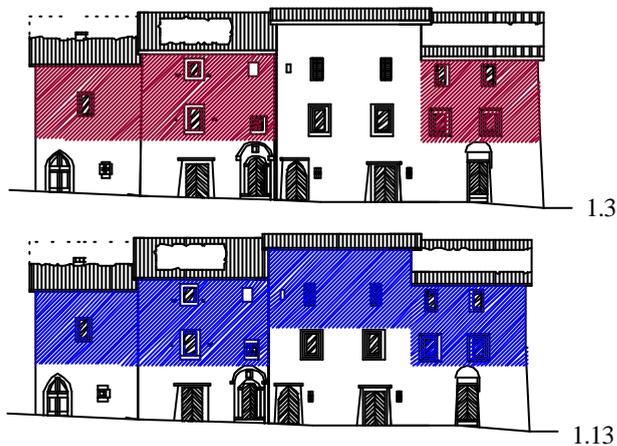


Fig. 14. Risultati di C-Sisma per la schiera di via dell'Aquila con indicazione dei setti sensibili ai meccanismi di collasso più deboli.

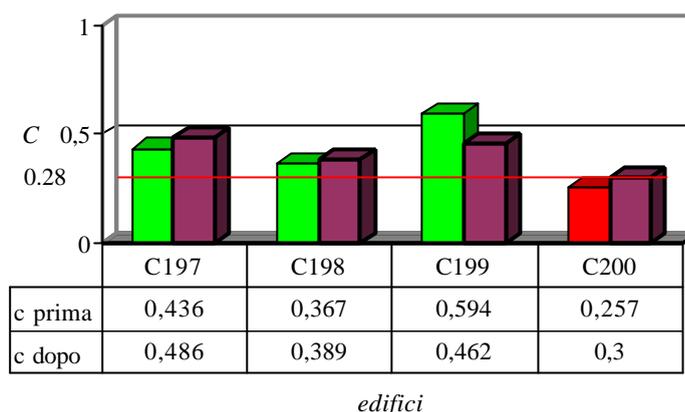


Fig. 15. Schiera di via dell'Aquila: simulazione con Vulnus di possibili interventi d consolidamento.

## Bibliografia

- [1] Binda L., Cardani G., Penazzi D., Saisi, A., Performance of some repair and strengthening techniques applied to historical stone masonries in seismic areas, ICPCM a New Era of Building, Cairo, Egypt, 18-20/2/2003, to appear.
- [2] F.Bonfanti, F. Pisco, Campi Alto di Norcia: metodologia per un'indagine conoscitiva del centro storico e per la valutazione delle tecniche d'intervento con individuazione delle principali cause di vulnerabilità ai fini della prevenzione, Tesi di Laurea, Fac. Architettura del Politecnico di Milano, A.A.2001-2002.
- [3] Bernardini A., Gori R., Modena C.: "Valutazioni di resistenza di nuclei di edifici in muratura per analisi di vulnerabilità sismica", R.I. 2/88, Università di Padova, Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni, 1988.
- [4] Faedo S.: "Analisi della vulnerabilità di edifici in muratura nelle zone colpite dal terremoto Umbro-Marchigiano del 1997 mediante procedura automatica", Tesi di Laurea, Università di Padova, A.A. 2000-2001.
- [5] Zenere M.: "Procedura automatica per l'analisi della vulnerabilità di edifici esistenti in muratura mediante l'applicazione di modelli cinematici elementari", Tesi di Laurea, Università di Padova, A.A. 2000-2001.
- [6] Modena C., Riva G., Valluzzi M.R., Mar G., Sonda D., Zonta D., Berti M., da Porto F., Franchetti P., Zanardo G.: "Caratterizzazione strutturale e consolidamento di costruzioni in muratura"; MURST 1998-2000 'Il progetto di conservazione: linee metodologiche per le analisi preliminari, l'intervento, il controllo di efficacia', Rapporti di ricerca, a cura di Serena Pesenti, Alinea Ed., Milano, Dic. 2001; ISBN 88-8125-537-5; pp. 415-457.

## **EDUSEIS: un sismografo didattico come strumento per la formazione e la sensibilizzazione sul rischio sismico**

Coordinatore: Prof. Vittorio Silvestrini

### **Introduzione**

Uno degli obiettivi principali di ricerca in questo secondo anno di progetto, è stato di fornire nuove competenze per insegnanti e studenti di scuole secondarie nel campo delle nuove tecnologie, della sismologia e del rischio sismico. Attraverso la continua acquisizione di dati sismici, è possibile contribuire attivamente alla diffusione sul territorio delle informazioni sul rischio sismico, avendo come obiettivo finale la mitigazione degli effetti sociali dei terremoti.

L'interazione tra gli insegnanti di scuola e i ricercatori che lavorano sui terremoti, i sismologi, è un elemento chiave per le applicazioni educative connesse alla sismologia, (scienze naturali, fisica, matematica, scienze tecnologiche educazione civica ecc..) e per sviluppare le conoscenze sulle nuove tecnologie.

Una rete di stazioni sismografiche digitali è stata installata in scuole medie superiori, in Istituti di Ricerca e nel Science Center di Città della Scienza (Napoli), con lo scopo di sviluppare, negli insegnanti e studenti, le necessarie competenze per gestire una stazione sismica e per l'analisi dei sismogrammi. Si tratta di stazioni sismiche progettate per fini educativi che possono essere rese operative facilmente sia dagli studenti che dagli insegnanti.

Le scuole partecipano attivamente nel progetto attraverso il mantenimento e la gestione della stazione sismica e attraverso la sperimentazione d'attività didattiche.

Questi obiettivi generali sono ottenuti attraverso una ripartizione dei compiti e delle attività tra le UR partecipanti secondo tre macro-obiettivi principali:

**Task1:***Training sulla tecnologia EduSeis e uso educativo***UNITA' DI RICERCA**

Unità di Ricerca	Ente	Responsabile scientifico	Qualifica	Partecipanti
UR1	IDIS Città della Scienza	Prof. Vittorio Silvestrini	Professore Ordinario Presidente IDIS Città della Scienza	Dr. Flora Di Martino (ricercatore) Dr. Luciana Cantore (borsista)
UR2	Dipartimento di Scienze Fisiche Università di Napoli	Dr. Emilio Balzano	Ricercatore	Prof. Aldo Zollo (Prof. Ordinario) Dr. Angela Petrillo (borsista) Dr. Maria Simini (insegnante) Dr. Antonella Bobbio (tecnico INGV) Dr Sébastien Judenherc (post-doc)
UR4	Liceo Scientifico N. Copernico	Prof. Carlo Paolantonio	Professore	Proff. M. Succi G. Tagliaferro C. Pennucci B. De Renzis S. Sorda D. Pepe

**Task2:***Sviluppo della tecnologia EduSeis (hardware, software)***UNITA' DI RICERCA**

Unità di Ricerca	Ente	Responsabile scientifico	Qualifica	Partecipanti
UR2	Dipartimento di Scienze Fisiche Università di Napoli	Dr. Emilio Balzano	Ricercatore	Prof. Aldo Zollo (Prof. Ordinario) Dr. Luciana Cantore (borsista) Dr. Angela Petrillo (borsista) Dr. Maria Simini (insegnante) Dr. Antonella Bobbio (tecnico INGV) Dr Sébastien Judenherc (post doc)
UR3	GeoAzur Nizza	Prof. Jean Virieux	Professore Ordinario	Dr. Anthony Lomax (ricercatore) Thomas Picq, Jean Virieux, Jean-Luc Bérenguer, Christophe Maron, Didier Brunel, Anne Deschamps, Stéphane Gaffet Dr.

**Task3:**

*Esperienze di formazione e sensibilizzazione sul rischio sismico basato su EduSeis*

**UNITA' DI RICERCA**

Unità di Ricerca	Ente	Responsabile scientifico	Qualifica	Partecipanti
UR1	IDIS Città della Scienza	Prof. Vittorio Silvestrini	Professore Ordinario Presidente IDIS Città della Scienza	Dr. Flora Di Martino (ricercatore) Dr. Luciana Cantore (borsista)
UR2	Dipartimento di Scienze Fisiche Università di Napoli	Dr. Emilio Balzano	Ricercatore	Prof. Aldo Zollo (Prof. Ordinario) Dr. Angela Petrillo (borsista) Dr. Maria Simini (insegante) Dr. Antonella Bobbio (tecnico INGV)
UR4	Liceo Scientifico N. Copernico	Prof. Carlo Paolantonio	Professore	Proff. M. Succi G. Tagliaferro C. Pennucci B. De Renzis S. Sorda D. Pepe

**OBIETTIVI 2° ANNO**

- Proseguimento del percorso di attività didattiche e formazione docenti.
- Attività didattiche utilizzando i dati sismici registrati dagli strumenti installati nelle scuole e nel Science Center di Città della Scienza (Napoli).
- Elaborazione di materiale educativo e formativo per le attività sociali e didattiche.
- Aggiornamento del sito web EduSeis.
- Sviluppo dal data base EduSeis.
- Installazione e implementazione di nuove stazioni sismiche.
- Sviluppo della tecnologia EduSeis (hardware e software).
- Studio delle caratteristiche di differenti sensori sismici.
- Esperienze EduSeis nelle scuole e nel museo: attività educative sulla sismologia e sul rischio sismico.
- Creazione di un laboratorio di sismologia.
- Organizzazione di conferenze ed eventi rivolti al pubblico del museo, occasioni di contatto tra scienziati e cittadini per aiutare a comprendere le problematiche legate alla pericolosità sismica.

**RISULTATI 2° ANNO**

- Installazione di stazioni sismiche a larga banda (20 s-20 Hz) e a corto periodo (4.5 Hz).

- Installazione e sperimentazione di un nuovo software di acquisizione dati e gestione della rete EduSeis.
- Analisi delle caratteristiche dei differenti sensori sismici.
- Sviluppo del software d'utilità "SeisGram" scritto in Java da A. Lomax dell'Istituto Geoazur di Nizza per il progetto EduSeis per la visualizzazione e per l'analisi dei dati registrati.
- Addestramento d'insegnanti e studenti al funzionamento del sismografo e all'analisi ed interpretazione dei dati sismici.
- Attività didattiche con gli studenti delle scuole francesi e italiane coinvolte nel progetto.
- Sperimentazione di nuovi moduli con gli insegnanti di scuole francesi e italiane coinvolte nel progetto.
- Aggiornamento del data base sul sito web EduSeis francese e italiano.
- Inserimento nel sito web EduSeis di nuovi moduli formativi per l'aggiornamento degli insegnanti e di nuove attività didattiche rivolte agli studenti.
- Attività di informazione e sensibilizzazione sul rischio sismico attraverso la creazione di un laboratorio di sismologia e l'organizzazione di conferenze ed eventi rivolti al grande pubblico.

## PRODOTTI DELLA RICERCA

- Realizzazione da parte degli studenti del Liceo scientifico N. Copernico di un giornalino informativo sui terremoti e sul rischio sismico (UR4).
- Sviluppo di una sezione di sismologia sul sito web del Liceo Scientifico N. Copernico (<http://digilander.iol.it/copernico2000/index.htm>) (UR4).
- Partecipazione degli studenti del Liceo Scientifico N. Copernico alla iniziativa educativa "Futuro Remoto 2002" della Fondazione IDIS (Napoli).
- Partecipazione al XXVIII General Assembly of the European Seismological Commission Genova, 1-6 Settembre 2002 nella sessione speciale SWS-1 School Yard Seismology – Educational Approach to Seismology, con tre poster (UR1, UR2, UR4) e quattro interventi orali (UR1, UR2, UR3, UR4).
- Articolo accettato dal "Seismological Review Letters-Education and Outreach": "THE EDUSEIS PROJECT IN ITALY: AN EDUCATIONAL TOOL FOR TRAINING AND INCREASING AWARENESS ON THE SEISMIC RISK" L. Cantore, A. Bobbio, F. De Martino, A. Petrillo, M. Simini, A. Zollo (UR1, UR2).
- FRENCH EDUCATIONAL SEISMOLOGICAL NETWORK "Sismo des Ecoles", Picq, T. Bérenquer, J.-L., Virieux, J., 2003, Seismological Research Letters (submitted) (UR3).
- Azorea national meeting: implementation of information technology in the teaching of natural sciences, Mar. 2002. Oral presentation and demonstration of several direct applications and experiments linked to seismology, by teachers involved in the French Eduseis program (UR3).
- Agence Régionale pour l'environnement (ARPE – Provence-Alpes-Côte d'Azur) Euro-Mediterranean meeting on education of natural hazard, Antibes (France), Oct. 2002. Stand and oral presentation of our action at a regional scale (UR3).

- American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting, San Francisco (USA), Dec. 2002. Poster presentation about the technical and educative aspects of the French Eduseis project (UR3).
- Moduli didattici disponibili alla voce *Moduli didattici* nel sito web EduSeis (<http://eduseis.na.infn.it>) (UR1, UR2).
- Attività didattiche disponibili alla voce *Attività didattici* nel sito web EduSeis (<http://eduseis.na.infn.it>) (UR1,UR2).
- Sezione dedicata al progetto Eduseis sul sito del Science Center di Città della Scienza ([www.cittadellascienza.it](http://www.cittadellascienza.it)) e link al sito web EduSeis (UR1).
- Progettazione, realizzazione e inaugurazione a Città della Scienza di "SismaLab" laboratorio di sismologia (UR1, UR2).
- Sezione dedicata al laboratorio SismaLab sul sito di Città della Scienza ([www.cittadellascienza.it](http://www.cittadellascienza.it)) (UR1).
- Produzione di 10 schede informative per il laboratorio SismaLab "*Terremoti: Come, dove, quando, perché.....*" Aldo Zollo e Luciana Cantore (UR1, UR2).
- Implementazione di una Newsletter bimestrale sul sito web di Città della Scienza (UR1, UR2).
- A. Petrillo, "*EduSeis: un sismografo didattico come strumento per la formazione e la sensibilizzazione al rischio sismico*", Tesi di Laurea a.a. 2000-2001, Relatori A. Zollo, E. Balzano (UR2).
- B. Limoncelli, "*Il progetto EduSeis*", Tesi di Laurea in preparazione, Relatori A. Zollo, E. Balzano (UR2).

#### **Rapporti tecnici presenti alla voce Documenti nel sito web EduSeis (<http://eduseis.na.infn.it>)**

1. Tre interventi orali per la partecipazione al XXVIII General Assembly of the European Seismological Commission Genova, 1-6 Settembre 2002 presenti alla voce *Documenti* nel sito web Eduseis.
2. Progetto EduSeis finanziato dal GNDT.
3. Relazione 1° semestre progetto EduSeis.
4. Open-file report.
5. Presentazione GNDT-INGV ROMA, Febbraio, 18-19 2002.
6. Articolo pubblicato su Orfeus Electronic Newsletter (Vol.2, no3, Dicembre 2000) e recuperabile alla voce *news* dal sito web EduSeis: "The educational broadband seismic network at Naples (Southern Italy)", A.Bobbio and A. Zollo.

#### **LISTA DELLE PUBBLICAZIONI**

- L. Cantore, A. Bobbio, F. De Martino, A. Petrillo, M. Simini, A. Zollo, "*THE EDUSEIS PROJECT IN ITALY: AN EDUCATIONAL TOOL FOR TRAINING AND INCREASING AWARENESS ON THE SEISMIC RISK*", Seismological Review Letters (submitted).
- A. Bobbio and A. Zollo, "*The educational broadband seismic network at Naples (Southern Italy)*", pubblicato su Orfeus Electronic Newsletter (Vol. 2, no3, Dicembre 2000).
- L. Cantore, F. De Martino, "*Sismometri in rete per lo studio della sismologia, delle onde e della matematica. Le attività EduSeis nel progetto LES*", Atti del Convegno AICA-Didamatica, Napoli 2002.
- Virieux, J, 1999, EDUSEIS, "*An EDUcational SEISmological European Network*", Orfeus, Electronic Newsletter, 1,13.

- Virieux, J., 2000, Educational "Seismological project : EDUSEIS", Seismological Research Letters, 71, 530-535.
- Lomax, A., 2001, "QuakeExplorer-Earthquake Internet Browser and Analysis Tool", Orfeus, Electronic Newsletter, 3,1.
- Picq, T., Bérenquer, J.-L., Virieux, J., 2003, FRENCH EDUCATIONAL SEISMOLOGICAL NETWORK "Sismo des Ecoles", Seismological Research Letters (submitted).

### In preparazione

- AGU-EGS-EUG Joint Assembly, Nice (France), Apr. 2003. Oral presentation of the EduSeis project at a European scale. Special workshop: demonstration of several educative applications and experiments by involved European teachers (UR1, UR2, UR3).

### Task 1

*Training sulla tecnologia EduSeis e uso educativo (UR1, UR2, UR4)*

### OBIETTIVI 2° ANNO

- Proseguimento della formazione e aggiornamento docenti e della sperimentazione delle attività didattiche con gli studenti del Liceo scientifico N. Copernico.
- Elaborazione di percorsi interattivi alla stazione MSNI nel Science Center di Città della Scienza (SismaLab).
- Formazione di docenti dell'ITIS Majorana, Somma Vesuviana (Napoli).
- Sperimentazione di nuove metodologie d'apprendimento scientifico con l'utilizzo di strumentazioni tecnologicamente avanzate.

Nella fase d'applicazione delle metodologie sviluppate dall'unità di ricerca UR1 e UR2 per la formazione sul rischio sismico, insegnanti del Liceo N. Copernico (UR4) e dell'I.T.I.S. Majorana di Somma Vesuviana (Napoli), sono stati formati all'uso della stazione sismica e all'analisi ed interpretazione dei sismogrammi. Inoltre hanno attivamente contribuito alla sperimentazione delle attività didattiche così da verificarne la fattibilità, i contenuti e la valenza didattica.

I moduli formativi per l'attività d'aggiornamento insegnanti, sono disponibili sul sito Web EduSeis (<http://eduseis.na.infn.it>) al link **Moduli Didattici**, mentre le attività didattiche modificate a seguito della sperimentazione, o completamente nuove, sono disponibili al link **Attività Didattiche**.

Un percorso costituito da un insieme di fasi successive ha portato alla costruzione di attività didattiche sull'analisi di sismogrammi di eventi locali, regionali e telesismi registrati da stazioni della rete EduSeis (Fig. 1).

Il software SeisGram sviluppato da A. Lomax dell'Istituto Geoazur di Nizza (UR3), ha consentito la rappresentazione grafica e l'analisi dei sismogrammi utilizzati nelle attività didattiche con gli studenti.

Pagine web relative al progetto EduSeis, sono state inserite all'interno del sito web della scuola N. Copernico (<http://digilander.iol.it/copernico2000/index.htm>) (Fig. 2).

La messa in rete delle attività ha lo scopo di estendere l'esperienza didattica - formativa ad altre scuole del territorio. Inoltre un gruppo di studenti ha gestito il primo numero di un giornalino in cui sono state riportate notizie di terremoti registrati dalle stazioni della rete (Fig. 3).

Nella fase di sperimentazione didattica, importante è stata la partecipazione alla Special Session, SWS-1 School Yard Seismology-Educational Approach to Seismology, della XXVIII General Assembly of the European Seismological Commission, Genova 1-6 Settembre 2002. In questa occasione, la presentazione di alcune attività didattiche, di quattro interventi orali (UR1, UR2, UR3, UR4) e di tre poster (UR1, UR2, UR4) ha consentito il confronto e la sperimentazione didattica con altre realtà internazionali.

In questo periodo le unità UR2 e UR3, stanno preparando una presentazione orale per l'Educational Symposia dell'EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Nizza, 6-11 Aprile 2003 (GIFT- ES1 Geophysical information for teachers). In questa occasione inoltre, docenti dell'Unità di Ricerca UR4 e ricercatori delle Unità UR1 e UR2, presenteranno tre attività didattiche. Di queste attività sono state preparate delle schede che saranno inserite in un cookbook, che diventerà uno strumento di scambio e di lavoro tra realtà diverse che si occupano di divulgare la didattica delle Scienze della Terra e in particolare della sismologia.

## Task2

*Sviluppo della tecnologia EduSeis (hardware, software) (UR2,UR3)*

## OBIETTIVI 2° ANNO

- Sviluppo e aggiornamento dal data base EduSeis.
- Installazione e implementazione di stazioni EduSeis.
- Sviluppo della tecnologia EduSeis (hardware, software).

Le azioni svolte dalle unità UR2 e UR3, nell'ambito del secondo anno di progetto, sono consistite nell'installazione di nuove stazioni EduSeis, nell'implementazione di nuove procedure per la gestione delle stazioni e recupero dei dati e nella sperimentazione di moduli ed attività didattiche con studenti ed insegnanti.

La rete EduSeis italiana è costituita da sei stazioni sismiche che hanno registrato terremoti locali, regionali e telesismici, di cui quattro sono equipaggiate con sensori PMD (20 s-20 Hz) a tre componenti e due con sensori MARK L-28LB (4.5 Hz) sempre a tre elementi.

Attualmente è in via di completamento l'installazione di una stazione in una scuola media superiore di Torre Annunziata in provincia di Napoli con un sensore MARK L-28LB (4.5 Hz) a tre componenti. Altre stazioni saranno installate nell'area Irpinia e nella città di Cosenza (Fig. 4).

La rete EduSeis francese è costituita da 15 stazioni sismiche. Nove stazioni sono state installate nei pressi di Marsiglia (Bouches-du-Rhones) e nei pressi di Nantes (Loire Atlantique) (Fig. 5).

L'enorme quantità di dati sismici, registrati dalle stazioni di entrambe le reti, ha arricchito l'archivio dati sismici EduSeis facilmente accessibile attraverso il Web (<http://aster.unice.fr>, <http://eduseis.na.infn.it>) dagli insegnanti, dagli studenti e dal pubblico in generale. Questo archivio-dati fornisce le registrazioni sismiche utilizzate nelle attività educative sulla sismologia e sul rischio sismico (Fig. 6).

Speciali applicazioni software sono state concepite per facilitare il lavoro degli studenti sui dati sismologici. Le registrazioni sismiche sono visualizzate e analizzate

con un Applet Java chiamato SeiSgram, sviluppato da A. Lomax dell'Istituto Geoazur di Nizza. Questo applicativo consente agli studenti e insegnanti di analizzare i sismogrammi, di zoomare il segnale e di confrontarlo con i segnali registrati da altre stazioni sismiche, di individuare il tempo di arrivo delle fasi principali e per migliorare l'analisi dei sismogrammi sono disponibili differenti filtri band-pass. Nel 2002, sono stati sviluppati strumenti interattivi (on-line) di facile uso, per eseguire la localizzazione e la mappatura dei terremoti (UR3). Sul sito web francese EduSeis (<http://aster.unice.fr>) si trovano nel data base, i sismogrammi registrati dalla rete francese e molte attività didattiche che utilizzano tali dati (Fig. 7).

Dal 2002 tutte le attività educative sperimentate dagli insegnanti nelle scuole italiane e francesi, sono inserite in un "cookbook", (manuale di attività e percorsi conoscitivi) utile per l'estensione dell'esperienza didattico-formativa a più ampia scala.

Nel 2002 è stato fatto un importante passo nello sviluppo dell'hardware e software per l'acquisizione dei dati sismici nella scuola. Da quando il progetto EduSeis è iniziato sia in Francia che in Italia, è stata utilizzata una connessione standard telefonica, via modem, per il trasferimento dei dati dalle singole stazioni al Server Centrale (sia esso francese che italiano). Dall'inizio del 2002 una nuova generazione di sistemi sismici di acquisizione (sistema hardware compatto da connettere ad un computer) e di trasferimento dati è stato sviluppato in collaborazione con la French Agecodagis Company Sarl, (<http://perso.wanadoo.fr/ageco>). Il sistema IRAE (Internet Remote Acquisition System) permette il trasferimento di informazioni e dati velocemente e in sicurezza anche da stazioni molto lontane. La trasmissione dei dati al Server Centrale e il collegamento tra i diversi PC delle stazioni sismiche, avviene attraverso l'utilizzo della rete Internet (protocollo TCP/IP). Il software IRAE, completamente scritto in Java, può essere installato su sistemi che supportano la piattaforma Java: Linux, Windows per esempio. Contrariamente al sistema tradizionale di acquisizione, ancora utilizzato per alcune stazioni, tutti i dati registrati possono essere estratti dalla stazione e trasferiti via FTP sul Server Centrale (FTP Server). La comunicazione giornaliera tra le stazioni e il Server FTP, è più economica ed inoltre le stazioni sismiche possono essere installate anche in zone molto lontane da Centri di Ricerca. Questo sistema basato su internet dovrebbe favorire l'estensione della rete sismica in tutto il territorio francese e italiano (Fig. 8).

In Italia su tutte le stazioni è stato installato il nuovo sistema di acquisizione IRAE.

In Francia, nell'Aprile del 2002, tale sistema è stato installato con successo in una sola scuola (Centre International de Valbonne, Alpes Maritimes). Nel 2003 l'installazione del nuovo sistema di acquisizione sarà esteso alle altre stazioni.

### **Task3**

*Esperienze di formazione e sensibilizzazione sul rischio sismico basato su EduSeis (UR1, UR2, UR4)*

### **OBIETTIVI 2° ANNO**

- Sperimentazione di un percorso di approfondimento sui temi del rischio sismico e creazione di un laboratorio di sismologia.

- Organizzazione di conferenze ed eventi rivolti al pubblico del museo, occasioni di contatto tra scienziati e cittadini per aiutare a comprendere le problematiche legate alla pericolosità sismica.

Questi obiettivi sono stati raggiunti realizzando esperienze pratiche di formazione ed informazione sul rischio sismico usando il sistema EduSeis. Le esperienze sono state condotte in scuole dell'area vesuviana e nello Science Center con la partecipazione di ricercatori, insegnanti, operatori scientifici e studenti.

In questo secondo anno di progetto abbiamo dato inizio alla fase di applicazione delle metodologie sviluppate nel primo anno di progetto. Nello Science Center di Città della Scienza, dove la sperimentazione ha coinvolto gli operatori scientifici del Museo, gli insegnanti, le classi in visita ed il grande pubblico sono state svolte due attività di formazione e informazione sul rischio sismico di seguito descritte.

### 1. Manifestazione di *Futuro Remoto*

L'edizione 2002 di *Futuro Remoto* è stata una prima occasione per presentare e divulgare al pubblico il progetto *EduSeis* e per fornire risposte ai tanti interrogativi che argomenti quali i terremoti e il rischio sismico pongono. La Fondazione IDIS - Città della Scienza ha organizzato la XVI edizione della manifestazione multimediale di diffusione della cultura scientifica e tecnologica *Futuro Remoto-2002*, " *Un Viaggio tra Scienza e Fantascienza*", che si è tenuta a Napoli nel mese di novembre.

Questa manifestazione, in quindici anni di attività, ha contribuito significativamente ad avvicinare alla scienza e all'innovazione tecnologica studenti, addetti ai lavori e pubblico generico, proveniente da Napoli, dalla Campania e dalle altre regioni d'Italia: ne sono testimonianze concrete il flusso di pubblico crescente, la ricchezza dei programmi, l'attenzione dei media e della critica.

La manifestazione di quest'anno è stata dedicata al tema del rapporto tra scienza, tecnologia e società, ponendo in vista le tante domande sull'evoluzione della ricerca e delle sue applicazioni.

Gli studenti dell'UR4 sono stati i veri protagonisti della manifestazione dove, con uno stand espositivo provvisto di computer e di pannelli espositivi da loro elaborati ed hanno interagito con studenti di altre realtà scolastiche di ogni ordine e grado in visita al museo. Questa è stata la prima esperienza di divulgazione dei contenuti del progetto *EduSeis* dove gli studenti, svolgendo attività didattiche *EduSeis*, hanno assunto il ruolo di docenti ed hanno potuto svolgere anche un'azione di autoverifica sulle competenze sviluppate durante il primo anno di progetto (Fig. 9).

### 2. Progettazione e realizzazione del *Sismalab*

Nel Museo interattivo di Città della Scienza, l'11 marzo 2002 è stato inaugurato *Sismalab*, un "laboratorio" di sismologia per imparare a conoscere i terremoti. Lo scopo fondamentale dello spazio *SismaLab* è quello di avvicinare i cittadini alla sismologia, attraverso semplici esperienze di laboratorio, con l'aiuto di personale tecnico specializzato e avanzate attrezzature scientifiche (Fig. 10). In questa occasione sono state presentate altre due attività legate allo spazio:

- " *Terremoti: Come, dove, quando, perché....*" di Aldo Zollo e Luciana Cantore, 10 schede informative per saperne di più sui terremoti.

- Newsletter bimestrale per aggiornare gli utenti sulle attività del progetto Eduseis e sulle iniziative di divulgazione.

Questo spazio espositivo vuole essere un centro di informazione sui terremoti e di educazione al rischio sismico. Si propone inoltre di contribuire alla diffusione della sperimentazione nelle scuole delle attività didattiche EduSeis.

Le attività che coinvolgono studenti, docenti e pubblico generico sono articolate su tre linee di intervento:

1. Attività didattiche sui fenomeni sismici e sulla definizione di rischio sismico, rivolte a scuole di ogni ordine e grado.
2. Incontri e corsi di formazione con insegnanti di scuole di ogni ordine e grado.
3. Conferenze e seminari rivolti al grande pubblico.

Per dare sempre più visibilità al progetto e utilizzare le nuove tecnologie come mezzo di divulgazione di ampio raggio, abbiamo creato sul sito di Città della Scienza un link a pagine descrittive delle attività che si possono svolgere al *Sismalab* ed inoltre, è in fase di implementazione una newsletter bimestrale che aggiornerà gli utenti sulle attività del progetto Eduseis e sulle iniziative di divulgazione.

## Conclusioni

Il progetto ha rappresentato uno strumento efficace e capillare di informazione e sensibilizzazione al rischio, grazie al coinvolgimento diretto della comunità scolastica e la divulgazione al grande pubblico. Gli obiettivi che ci siamo proposti sono stati i seguenti:

- Sviluppo, test e implementazione della tecnologia EduSeis (hardware e software).
- Formazione e training sulle tecnologie e sul loro uso.
- Esperienze di formazione e sensibilizzazione costruite per le scuole e per il grande pubblico.

Nel corso di questo anno sono stati raggiunti i seguenti risultati:

- Addestramento d'insegnanti di discipline scientifiche al funzionamento del sismografo e all'analisi ed interpretazione dei dati sismici.
- Corsi di formazione con gli alunni del Liceo Scientifico Copernico.
- Elaborazione di materiale didattico e formativo.
- Sviluppo e aggiornamento del sito Web EduSeis francese e italiano.
- N° 5 Moduli didattici (<http://eduseis.na.infn.it/school/Modframe.html>).
- N° 9 Attività didattiche (<http://eduseis.na.infn.it/school/AttivitIn.html>).
- Installazione ed implementazione di stazioni EduSeis.
- Installazione e sperimentazione di un nuovo software di acquisizione dati e gestione della rete EduSeis.
- Analisi delle caratteristiche dei differenti sensori sismici installati.
- Addestramento d'insegnanti e studenti al funzionamento del sismografo e all'analisi ed interpretazione dei dati sismici.
- Sperimentazione di nuovi moduli e attività con insegnanti di scuole francesi e italiane.
- Aggiornamento del data base sul sito web EduSeis francese e italiano.
- Manifestazione di *Futuro Remoto*.
- Progettazione e realizzazione del *Sismalab*.
- "Terremoti: Come, dove, quando, perché....." di Aldo Zollo e Luciana Cantore, 10 schede informative per saperne di più sui terremoti.

# Figure

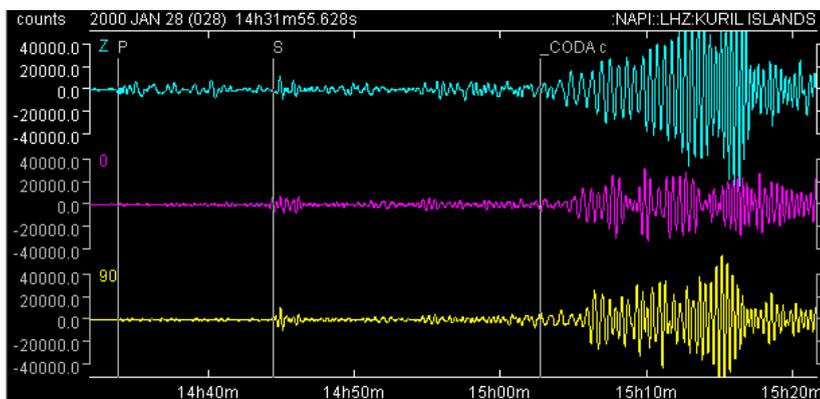


Fig. 1. Terremoto delle Kurili Islands, esempio di attività sul sismogramma.



Fig. 2. Pagine web relative al progetto EduSeis sono state inserite all'interno del sito web della scuola N. Copernico. (<http://digilander.iol.it/copernico2000/index.htm>)



Fig. 3. Primo numero del giornalino in cui sono state riportate notizie di terremoti registrati dalle stazioni della rete.

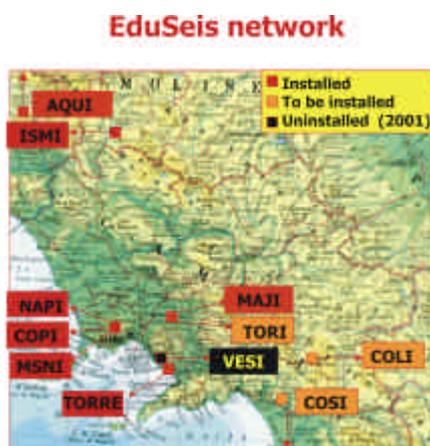


Fig. 4. Rete sismica Italiana.

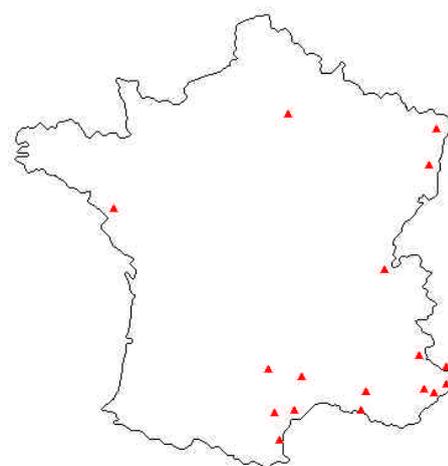


Fig. 5. Rete sismica Francese.



Fig. 6. Archivio dei dati sismici sul sito web <http://eduseis.na.infn.it>.

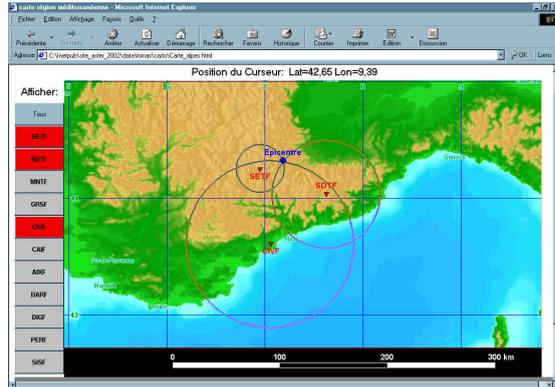


Fig. 7. Localizzazione on-line di un terremoto.

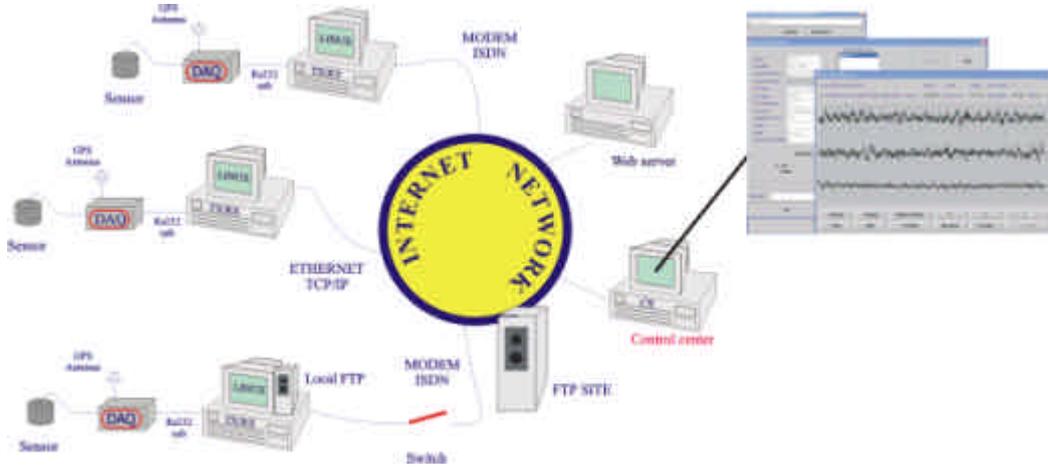


Fig. 8. Trasmissione dati e controllo delle stazioni.



Fig. 9. Manifestazione Futuro Remoto.



Fig. 10. SismaLab.



# Finanziamenti



## Finanziamenti per l'Attività di Ricerca

(le cifre sono in Euro)

### TEMA 1

<i>Coordinatore</i>	<i>1° anno (erogato)</i>	<i>2° anno (erogato)</i>	<i>Totale Triennio/Biennio</i>
A. Amato e G. Selvaggi	232.406	<b>245.317</b>	723.040
A. Argnani	154.937	<b>96.836</b>	380.887
R. Barzaghi*	-	<b>27.000</b>	54.000
M. Dolce e G. Zuccaro*	-	<b>205.000</b>	345.000
P. Gasperini	-	<b>32.000</b>	64.000

### TEMA 2

<i>Coordinatore</i>	<i>1° anno (erogato)</i>	<i>2° anno (erogato)</i>	<i>Totale Triennio/Biennio</i>
M. Cocco	222.076	<b>224.660</b>	671.396
E. Cosenza	315.039	<b>281.465</b>	877.969
S. Lagomarsino	268.558	<b>227.241</b>	723.040
M. Maugeri	160.101	<b>106.907</b>	445.186
M. Riuscetti	129.114	<b>142.026</b>	413.166

### TEMA 3

<i>Coordinatore</i>	<i>1° anno (erogato)</i>	<i>2° anno (erogato)</i>	<i>Totale Triennio/Biennio</i>
G. M. Calvi	650.736	<b>578.430</b>	1.807.596

### TEMA 4

<i>Coordinatore</i>	<i>1° anno (erogato)</i>	<i>2° anno (erogato)</i>	<i>Totale Triennio/Biennio</i>
L. Beranzoli	263.393	<b>151.450</b>	593.020
R. Camassi e L. Peruzza*	-	<b>91.000</b>	175.000
L. Marchetti	61.975	<b>72.304</b>	206.583
V. Silvestrini	46.481	<b>54.229</b>	154.939

\* Progetto finanziato soltanto per il secondo e terzo anno di attività del Programma Quadro



## Finanziamenti per la Direzione

(le cifre sono in Euro)

<b>Voci di spesa</b>	
spese postali, corriere, pronto cassa, varie	
cancelleria, fotocopie, eliocopie	
telefono, internet	
missioni e rimborsi spese	
convegni ed editing	
spese per referees	
contratti manutenzione	
materiale inventariabile	
contratti di collaborazione professionale	
<b>Totale finanziamenti alla Direzione</b>	<b>206.583</b>



## Riepilogo Finanziamenti

(le cifre sono in Euro)

<b>Attività di Ricerca</b>	
Tema 1	606.153
Tema 2	982.299
Tema 3	578.430
Tema 4	368.983
<i>Totale Attività di Ricerca</i>	<i>2.535.865</i>
<b>Direzione</b>	
Sede Roma	206.583
<i>Totale Direzione</i>	<i>206.583</i>
<b>Totale finanziamenti</b>	<b>2.742.448*</b>

\* pari a Lire 5.310.119.789

