MINISTERO DELL'ISTRUZIONE, DELL'UNIVERSITA' E DELLA RICERCA

Programmi di ricerca cofinanziati - Modello E
Relazione scientifica conclusiva sui risultati di ricerca ottenuti - ANNO 2007
prot. 2007PTRC4C

1. Area Scientifico Disciplinare principale	*04: Scienze della Terra*
2. Coordinatore Scientifico del programma di ricerca	*MUCCIARELLI Marco*
- Università	*Università degli Studi della BASILICATA*
- Facoltà	*Facoltà di INGEGNERIA*
- Dipartimento/Istituto	*Dip. STRUTTURE, GEOTECNICA, GEOLOGIA, APPLICATA ALL'INGEGNERIA*
3. Titolo del programma di ricerca	*Validazione di tecniche semplificate per la stima della amplificazione sismica di sito*
4. Settore principale del Programma di Ricerca:	*GEO/10*
5. Costo originale del Programma:	*614.800 €*
6. Quota Cofinanziamento MIUR:	*346.646 €*
7. Quota Cofinanziamento Ateneo:	*161.533 €*
8. Finanziamento totale:	*508.179 €*
9. Durata:	*24 mesi*

10. Obiettivo della ricerca eseguita

Il progetto PRIN STESSA (Simplified Techniques for Estimating Seismic Site Amplification) aveva lo scopo di caratterizzare la risposta sismica locale prendendo in considerazione le modificazioni che subisce un input sismico propagandosi verso la superficie libera del terreno. La distribuzione in ampiezza e frequenza dell'energia sismica osservata in superficie è funzione, oltre che della geometria e litologia dei terreni interessati dalla propagazione delle onde, anche dell'assetto strutturale locale, della presenza di discontinuità, della topografia e degli edifici od altre strutture antropiche presenti. I recenti sviluppi della normativa Italiana sono stati derivati in alcune parti da metodologie proposte in contesti geologici, sismologici ed edificativi significativamente differenti (p.e. California e Giappone), senza tuttavia verificarne completamente l'adattabilità al territorio italiano. La maggior parte dei paesi occidentali adotta una normativa sismica in cui la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri gioca il ruolo di parametro chiave e va sotto il nome di VS30.
Lo scopo della ricerca proposta era indirizzato su tre fronti, che bilanciano attività di ricerca innovativa con avanzamenti in settori consolidati.
1) Sviluppo dell'aspetto metodologico, affinando tecnologie esistenti per stime semplificate della risposta sismica con lo sviluppo di algoritmi che ottimizzino tecniche già affermate in letteratura e nella pratica (rapporti H/V, Refraction Microtremor, Vs30), ma anche conducendo ricerche innovative su altre tecniche originali (tecnica passiva di stratigrafia sismica basata sulla inversione dei rapporti spettrali del tremore, Vs10) .
2) Applicazione delle metodologie sopra proposte a diversi casi studio, ponendo particolare attenzione alla valutazione della risposta sismica locale in presenza di situazioni di particolare interesse ingegneristico e sociale (edifici strategici, edifici di tipologia costruttiva particolarmente diffusa) e geologico - geomorfologico frequenti ma poco considerate in passato (valli intramontane a sedimentazione disomogenea, colline moreniche, aree geotermali, zone di faglia, cavità naturali, scarpate morfologiche).
3) Verifica della congruenza tra l'amplificazione sismica misurata a seguito di registrazioni di terremoti ed i parametri acquisibili mediante stime speditive, su di un data base di siti da predisporre.
Le attività proposte prevedevano un'interazione sinergica con altri progetti internazionali e nazionali in cui i partecipanti sono coinvolti, quali l'Attività JRA4 del Progetto Europeo NERIES, Il progetto NATO Science for Peace ASSASBV-980857, il Progetto Sismologico S6 dell'INGV-DNPC, l'attività del Gruppo di lavoro "Indirizzi e criteri generali per la Microzonazione sismica" del Dipartimento Nazionale di Protezione Civile. Con questi progetti sono state scambiate informazioni circa i siti investigati, i dati e le indagini esistenti, i risultati ottenuti, e le esperienze maturate relativamente alle procedure di archiviazione, analisi ed elaborazione.
Il progetto si proponeva di fornire i seguenti prodotti: un archivio di informazioni generali per i siti selezionati comprendente i dati e le elaborazioni effettuate; metodi di calcolo ed elaborazione originali con software disponibili; valutazioni metodologiche circa le procedure da adottare nella stima della risposta di sito (linee guida); pubblicazioni scientifiche.

11. Descrizione della Ricerca eseguita e dei risultati ottenuti

I risultati sono raggruppati nelle attività descritte negli obiettivi

1. Aspetti metodologici

1.1 Inversione di H/V

L'U.R. UniBo ha sviluppato una tecnica per misurare VS30 basata sul rapporto spettrale orizzontale e verticale (H/V) del noise registrato a singola stazione. All'H/V viene adattata una curva sintetica utilizzando come vincolo lo spessore di uno strato del sottosuolo noto in modo indipendente.
La procedura si compone di tre fasi: 1) individuare la profondità di un orizzonte stratigrafico superficiale noto indipendentemente, 2) identificare il suo corrispondente marker H/V, e 3) usare quest'ultimo come vincolo per adattare la curva H/V sperimentale a quella teorica. La curva H/V sintetica è calcolata assumendo un modello di stratificazione 1D del terreno ed un campo d'onda costituito da onde di Rayleigh.
La tecnica è stata validata in vari contesti geologici utilizzando un triplo confronto: 1) tra curve teoriche di dispersione calcolate per il modello e curve sperimentali ottenute dai metodi ESAC e REMI, 2) tra i profili di VS e 3) le stime di VS30 ottenute con la tecnica proposta e quelli ottenuti utilizzando tecniche standard. Infine la stratigrafia dedotta e' stata confrontata con il modello geologico.
Questa nuova tecnica non è intesa a fornire profili di Vs il più accurati possibile, ma a fornire in maniera il più possibile rapida e poco costosa una misura di VS30 di precisione confrontabile sia con i metodi di misura classici che con quelli più moderni.
La tecnica sviluppata ha inoltre un ulteriore vantaggio: è in grado di rilevare le deviazioni dalla geometria 1D del sottosuolo. Tale capacità è stata esaustivamente

confermata da un grande numero di osservazioni dirette, nelle quali la tecnica si è dimostrata sempre in grado di risolvere la presenza di eterogeneità laterali anche di pochi metri.

1.2 Tecniche SOM

La U.R. UniUD ha ottimizzato la tecnica di analisi dati basata sulle reti neurali denominate Self Organizing Maps (SOM). E' stata messa a punto una procedura di analisi del tipo "pattern recognition" non supervisionata, applicabile in particolare al riconoscimento di forme spettrali.
Il processo di analisi è stato migliorato nei suoi tre passi principali: il pre-processamento dei dati per il calcolo degli spettrogrammi, l'addestramento della rete neurale e la definizione delle sua proprietà topologiche, l'interpretazione dei risultati dell'analisi SOM utilizzando un algoritmo di "cluster recognition".
1. Per il calcolo degli spettrogrammi si è utilizzato il metodo di Welch e si è implementata la funzione di smoothing di Konno-Ohmachi.
2. Per la fase di apprendimento si è scelto di implementare una funzione di similarità che utilizza un indice di correlazione pesato, anziché la più classica distanza euclidea. Per quanto riguarda la definizione delle proprietà topologiche si sono scelte mappe toroidali, ottenendo l'eliminazione degli "effetti di bordo".
3. Una volta addestrata la mappa SOM e proiettati su di essa i dati, inizia la fase di interpretazione. I dati proiettati vanno a disporsi sulla mappa in base alle loro caratteristiche (contenuto in frequenza e forma spettrale). La mappa SOM proietta su di uno spazio bidimensionale lo spazio n-dimensionale dei dati (con n pari alle ordinate spettrali). Sono quindi individuabili sulla mappa SOM delle zone (cluster) con caratteristiche omogenee dei dati proiettati. Si è quindi implementato un algoritmo di "cluster recognition" anch'esso basato sulla funzione di similarità utilizzata per la fase di training. Questo ha permesso di irrobustire l'analisi e di risolvere il principale errore topologico per il quale dati di caratteristiche simili vengono proiettati in posizioni diverse sulla mappa, dal momento che lo stesso cluster occupa due zone non contigue sulla mappa.
L'intera procedura si è dimostrata funzionale, con tempi di calcolo contenuti anche utilizzando dei classici personal computer che la rende adatta anche ad un utilizzo in tempo quasi reale.

1.3 Integrazione con altre tecniche

L'U.R. INOGS ha studiato l'integrazione con la gravimetria. Questa tecnica può integrarsi alle indagini basate sul noise per determinare la presenza di contrasti di impedenza che definiscono le morfologie sepolte.
Un'applicazione del metodo gravimetrico per la definizione della profondità del basamento è stata condotta studiando la valle dell'Alto Fiume Tagliamento (UD) cooperando con il progetto Interreg IIIB SISMOVALP. Sono state eseguite 240 registrazioni di noise e 270 basi gravimetriche. I due metodi sono stati applicate in modo indipendente ed i risultati mostrano un buon accordo nel ricostruire le sezioni della morfologia del bedrock geofisico.
L'U.R. UniBas in collaborazione con il CNR-IMAA ha valutato l'utilizzo congiunto di tecnica HVSR e tomografie sismiche. Il metodo è stato estensivamente utilizzato durante la campagna di microzonazione condotta per il DPC dopo il terremoto in Abruzzo. La presenza di variazioni della frequenza di risonanza in concomitanza con variazioni laterali lungo i profili tomografici ha permesso di attribuire un significato di contrasto meccanico alle variazioni di resistività. Inoltre, utilizzando gli orizzonti geoelettrici come vincolo per l'inversione proposta al punto 1.1 si sono ottenute stime di Vs che sono poi state validate a posteriori con dati D-H, mostrando un ottimo accordo.

1.4 Altre metodologie

Sono state intraprese collaborazioni con altri ricercatori di UniUD e dell'IMAA- CNR. La prima collaborazione si è focalizzata sullo sviluppo di metodologie basate sulla Independent Component Analysis e sulla Non-negative Matrix Factorization, applicate alla caratterizzazione di regimi vulcanici in presenza di un basso rapporto segnale - rumore. Un ulteriore studio ha indagato teoricamente il significato dei risultati della Singular Value Decomposition che quasi sempre vengono utilizzati in modo puramente euristico.
La seconda collaborazione invece si è concentrata sull'applicazione di tecniche basate sulla Fisher Information Measure. L'informazione di Fisher è la varianza dello score associato a una data funzione di verosimiglianza, che può essere interpretata come l'ammontare di informazione contenuta in una variabile casuale osservabile X, concernente un parametro non osservabile da cui dipende la distribuzione di probabilità di X. Ciò che è importante esaminare è l'evoluzione dinamica di questo stimatore calcolato su una successione di finestre temporali.

1.5 Sviluppo di metodi di modellazione

Nello studio della risposta di sito sono importanti gli approcci mediante i quali la amplificazione è calcolata in base ad un modello che descrive la topografia e la stratigrafia del sito in termini di parametri geofisici. Nel caso di modelli strutturali eterogenei 3D con topografia irregolare è necessario ricorrere a metodi numerici che richiedono notevoli risorse computazionali. Per disporre di uno strumento idoneo per il calcolo della RSL nei termini predetti, l'UR INOGS ha realizzato un software (FPSM3D) per calcolatori multi-processore nel quale è stato implementato un metodo numerico per la simulazione della propagazione delle onde sismiche in mezzi 3D eterogenei basato sull'approccio pseudospettrale di Fourier. L'evoluzione nel tempo del campo di velocità è calcolata mediante l'equazione della conservazione del momento lineare. L'evoluzione del campo degli sforzi è invece valutata dal campo delle velocità utilizzando un'opportuna relazione sforzo-deformazione che consente di modellare accuratamente gli effetti dell'attenuazione intrinseca del mezzo. In sostanza il metodo calcola la risposta di un modello strutturale 3D definito da una distribuzione spaziale delle quantità fisiche Vp , Vs, ρ, Qp e Qs, e delimitato superiormente da una superficie topografica irregolare. L'accuratezza del codice FPSM3D nel calcolo della risposta sismica di siti associati a modelli strutturali 3D visco-elastici complessi è stata verificata nel corso del progetto grazie alla partecipazione ad un confronto internazionale tra metodi numerici di modellazione della RSL 3D. Il modello di riferimento era quello del bacino di Volvi (Grecia), uno dei siti più investigati nel mondo. Le forme d'onda calcolate col codice FPSM3D sono state del tutto comparabili con le migliori ottenute dai vari team, denotando un elevato livello di accuratezza.

2. Applicazione delle metodologie proposte a diversi casi studio

2.1 Faglie e Cavità

L'U.R. UniCT ha avuto investigato la RSL associata alla presenza di faglie, cavità naturali e scarpate morfologiche. Le aree scelte sono ubicate nella Sicilia orientale, con particolare interesse per l'area urbana di Catania, l'area etnea e gli agglomerati urbani di Lentini, Augusta, Melilli e Siracusa.
Sono state realizzate delle prove geofisiche non invasive (Masw, ReMi) e sono state eseguite numerose misure del noise ambientale, distribuendo i siti di registrazione sui vari litotipi e lungo profili trasversali alle situazioni morfo-strutturali investigate. Sono state installate stazioni multi-componente a larga banda che hanno registrato eventi sismici per alcuni mesi. Le stazioni sono state ubicate in area di faglia e sul bedrock, così come all'interno e sopra la volta delle cavità investigate.
I dati raccolti sono stati analizzati con tecniche di rapporti spettrali includendo l'eventuale presenza di effetti di direzionalità.
I principali risultati ottenuti possono essere così sintetizzati:
- Creazione di un database contenente i dati relativi a rilievi geolitologici di superficie, sondaggi meccanici e down-hole.
- Caratterizzazione delle proprietà elastiche dinamiche dei principali litotipi in studio.
- Uso di dati relativi a registrazioni di eventi sismici e di noise, evidenziando un buon accordo tra i risultati ottenuti tramite l'analisi dei due tipi di dati.
- Per ciò che riguarda le caratteristiche della RSL in presenza di faglie, è stata osservata la tendenza all'amplificazione del moto in corrispondenza dei siti ubicati in prossimità di esse. I risultati evidenziano la presenza di una significativa polarizzazione della componente orizzontale che persiste in un'area di alcune centinaia di metri intorno alla faglia. In tutte le faglie investigate i massimi di amplificazione non coincidono con la direzione di allungamento della struttura tettonica (effetto indipendente dalla "damaged zone"). Le evidenze di effetti direzionali ottenute dal noise rappresentano un utile strumento per individuare faglie mascherate in superficie da urbanizzazione e sedimenti.
- Le indagini in cavità hanno evidenziato una notevole complessità della RSL. I risultati provenienti dall'analisi del noise e dei terremoti mostrano tuttavia indicazioni concordanti. La presenza di amplificazioni appare legata all'altezza delle cavità (amplificazioni presenti quando l'altezza supera i 3 m); spesso si osservano effetti di amplificazione nei rapporti H/V ottenuti da misure sopra la volta della cavità; si osserva la presenza di significativi effetti direzionali con amplificazione della componente orizzontale parallela alla direzione di allungamento della cavità;
- La presenza di notevoli effetti di amplificazione direzionale, riscontrati sperimentalmente sia in prossimità di faglie che di scarpate e cavità, costituisce un importante risultato che non va sottovalutato a livello ingegneristico.

2.2 Frane

Il metodo SOM è stato utilizzato per individuare le finestre temporali attraverso le quali effettuare una stima più affidabile dei rapporti H/V relativi ai depositi della mina di Raibl (UD). Per lo stesso sito sono stati condotte anche analisi di stabilità del pendio. Le analisi di stabilità del pendio soggetto ad una sollecitazione di tipo sismico sono state analizzate sia durante che dopo la fase parossistica dell'evento.

2.3 Sistemi geotermali e vulcanici

Un'altro tema del progetto riguardava la stima degli effetti di sito "attivi", ovvero della reazione di un sistema vulcanico o geotermale all'arrivo di un terremoto di origine tettonica sufficientemente energetico. E' risultato propedeutico lo sviluppo di tecniche in grado di caratterizzare regimi dinamici vulcanici o geotermali attraverso la definizione di parametri riassuntivi dello stato del sistema e tecniche in grado di valutare statisticamente la significatività di cambi nell'evoluzione dinamica di questi parametri. Per quanto riguarda la caratterizzazione di sistemi geotermali e vulcanici, il tentativo di acquisire dati sismici del sistema geotermale di Larderello non è andato in porto in quanto i dati non vengono memorizzati permanentemente. Sono stati invece ripresi in esame dati relativi al vulcano greco Nisyros, e sono state aperte nuove collaborazioni in sinergia con il centro di ricerca "GNS Science" per l'analisi di dati registrati su vulcani della Nuova Zelanda.

2.4 Effetti della morfologia del basamento sismico

L'obiettivo generale di questo punto è quello di valutare l'importanza della morfologia del basamento sismico o di altri fattori simili sulla risposta sismica in un bacino sedimentario, cercando di definirne e di quantificarne gli effetti di amplificazione.
Sono stati analizzati dei dati ad array registrati nella valle dell'Alto Fiume Tagliamento. I primi risultati ottenuti mostrano che la risposta sismica è influenzata da due importanti fattori quali la presenza di simmetrie nella geometria della valle e l'azimuth di provenienza dei terremoti. Da qui, la necessità di individuare anche in modo semplificato la principale tipologia di geometria del basamento (es.: struttura 2D della valle) con i relativi rapporti di forma, laddove non sia possibile determinare quella completa tridimensionale (3D).

2.5 Misure all'interno od in prossimità di edifici

L'U. R. UniUD ha effettuato campagne di acquisizione di rumore sismico in corrispondenza di edifici scolastici in sinergia con il progetto ASSESS (Analisi degli Scenari Sismici relativi agli Edifici Strategici Scolastici), che si pone l'obiettivo di definire una corretta strategia per la gestione del rischio sismico degli edifici scolastici su scala territoriale e che, quindi, necessita di strumenti in grado di inquadrare il singolo edificio nell'area in cui esso è inserito ed individuarne le specifiche criticità in caso di terremoto.
Anche gli edifici progettati secondo le più recenti normative antisismiche possono soffrire più del previsto se si verificano effetti di risonanza terreno-struttura. È quindi importante investigare la frequenza propria del sito e la frequenza propria della struttura, che possono essere ottenute abbastanza agevolmente e con un buon grado di approssimazione mediante misure di rumore sismico, se necessario pre-processate con le tecniche sviluppate nella parte metodologica del progetto.
L'U.R. UniBAS, in cofinanziamento e collaborazione con il progetto DPC-INGV S4/2008, ha identificato la presenza di possibili interazioni edificio-terreno analizzando le registrazioni presso le stazioni di ITACA.
I risultati numerici confermano il sospetto che anche le piccole strutture possano influenzare negativamente le registrazioni in "campo libero". La maggior parte delle stazioni analizzate ha mostrato un andamento anomalo degli HVSR rotazionali, in una gamma di frequenza 6-20 Hz. L'identificazione dinamica di stazioni selezionate ha confermato che questi effetti direzionali si verificano alla stessa frequenza dei modi fondamentali delle strutture indagate.
Si è cercato di convalidare i risultati eseguendo la identificazione dinamica di 4 cabine ENEL, accessibili durante la manutenzione eseguita da DPC dopo il terremoto del 2009. Si sono ottenuti i modi fondamentali mediante misure di rumore ambientale sulla parte superiore, alla base ed all'esterno. La frequenza fondamentale dell'edificio è risultata sempre visibile negli HVSR di rotazione, ed in qualche caso il picco dovuto all'edificio è più forte di quello sito-dipendente.
Infine, INOGS ed UniBas hanno concluso uno studio di modellazione numerica sugli effetti dell'interazione tra suolo ed edificato nella risposta sismica. Sono stati considerati due edifici, siti nel comune di Bonefro (CB), che avevano subito danni differenti durante la sequenza sismica del 2002. Sono state effettuate modellazioni 2D tenendo in conto la struttura del suolo e degli edifici, mostrando che la presenza dei due edifici vicini ha generato un incremento dell'amplificazione locale alla frequenza di vibrazione propria del suolo.

3. Verifica della congruenza tra l'amplificazione sismica da terremoti e da stime speditive

3.1 Il data base Abruzzo

Il terremoto in Abruzzo ha permesso di raccogliere sul campo una enorme quanto inaspettata quantità di dati, che ha notevolmente arricchito il data base di siti per i quali siano disponibili sia registrazioni di terremoti che profili di velocità delle onde di taglio. La prevista collaborazione con il Progetto DPC-INGV S4 e la partecipazione al progetto di due ricercatori del GFZ di Potsdam hanno permesso di coordinare l'installazione di numerosi strumenti in campo libero e su edifici. I dati raccolti sono confluiti in un data base comune, attualmente in fase di pubblicazione. Le stime speditive condotte sui siti Abruzzesi sono state anche fornite al DPC per gli studi di microzonazione in emergenza. In collaborazione con il progetto DPC-INGV S4 sono anche proseguite le attività di validazione del Vs30. Il raddoppio della base dati ha confermato le prime osservazioni circa la mancata capacità previsionale di Vs30 in circa un terzo dei siti esaminati.

3.2 Il data base INOGS

Uno degli obiettivi del progetto era la creazione di un database dei dati registrati dalle reti di monitoraggio e delle relative informazioni di sito, sia di appartenenza dell'OGS che provenienti da altri progetti, includendo sia registrazioni di reti permanenti che di reti temporanee.
Il risultato di questa attività è OASIS (OGS Archive System of Instrumental Seismology), organizzato in due parti: un database che gestisce tutte le informazioni dei siti sismologici strumentati e un archivio di forme d'onda registrate. OASIS è accessibile da un portale web (http://oasis.crs.inogs.it/oasis/). La home page introduce alle pagine descrittive (istruzioni, regolamento d'uso) ma soprattutto alle funzionalità principali: ricerca delle informazioni sui siti e delle forme d'onda.
Una parte di OASIS organizza i dati che descrivono i siti, realizzando un database che permetta di catalogare e gestire le informazioni relative (caratteristiche geografiche, geologiche, morfologiche, analisi geofisiche e geotecniche attinenti, curve di risposta di sito). Si é deciso di utilizzare la struttura del data base ITACA perché presenta un ottimo livello di completezza e funzionalità e perché potrà favorire nel futuro l'integrazione.
OASIS è basato su due DB relazionali: Open Office Base è utilizzato per il caricamento e lo storage temporaneo dei dati, MySQL è utilizzato per lo storage permanente, la consultazione e la distribuzione via web dei dati.
Per consultare i dati e le informazioni relative ai siti e alle stazioni viene utilizzato un motore di ricerca basato sui seguenti campi: rete, nome della stazione, coordinate, regione/provincia, codice EC8, tipo di installazione, morfologia, numero di registrazioni. Selezionando la stazione ottenuta come risultato della ricerca, si aprono pagine descrittive delle principali caratteristiche e della strumentazione installata, con la possibilità di scaricare le registrazioni associate. Alle registrazioni sono associati una serie di campi che descrivono le caratteristiche dell'evento. Una monografia che riassume tutte le caratteristiche della stazione viene costruita dinamicamente in PDF traendo le informazioni dal DB, ed oltre alle informazioni disponibili nelle pagine web, può contenere anche documenti addizionali (indagini geofisiche o geotecniche, misure di noise...)
Il sistema di archiviazione delle forme d'onda prevede due archivi, uno per i dati in continuo come acquisiti dalle stazioni e uno per i dati estratti, ovvero quelle porzioni di registrazioni utilizzate all'interno di specifici studi.
Alla conclusione del progetto sono già disponibili in archivio registrazioni per un arco temporale di 10 anni, provenienti dalle reti permanenti delle regioni Friuli e Veneto e dalle registrazioni delle reti temporanee delle campagne Sulmona- Massiccio della Maiella, Spoleto, Perugia, Bevagna, Cividale.

3.3 Confronto tra amplificazione sismica stimata da terremoti e da rumore sismico ambientale

Un altro importante tema è il confronto tra l'amplificazione sismica stimata attraverso registrazioni di terremoti e quella stimata dalle misure di rumore sismico ambientale.
Le metodologie poste a confronto per la stima della amplificazione di sito sono state:
- Rapporto spettrale rispetto ad un sito di riferimento (RSSR)
- Inversione generalizzata (GIT).
- Receiver-function (EHV)
- Noise horizontal to vertical spectral ratio (NHV).
La U.R. INOGS ha sviluppato un software di calcolo per i metodi RSSR, GIT e EHV. Nell'implementazione si è data attenzione all'affidabilità delle curve di amplificazione, applicando agli spettri un peso proporzionale al valore del rapporto segnale-rumore (S2NR).

Il confronto tra vari metodi di calcolo della risposta di sito è stato eseguito nell'ambito di uno studio finalizzato alla microzonazione di Perugia. Sono stati indagati 28 siti, di cui 2 di riferimento su roccia e i restanti su suoli che coprono tutte le litologie rappresentative. Sono disponibili più di 2000 registrazioni di terremoti, comprendendo la sequenza sismica dell'Aquila. Per il confronto tra metodi sono stati scelti 64 eventi che presentavano un elevato S2NR. I risultati ottenuti mostrano in generale un buon accordo tra i vari metodi, sia in termini di frequenze che di valori di amplificazione. In genere si può notare un'ottima corrispondenza tra i valori ottenuti dalle due metodologie 'simili' tra loro cioè GIT e RSSR, una buona corrispondenza tra le frequenze ottenute dai metodi a stazione singola (EHV e NHV) rispetto al GIT, mentre le ampiezze relative danno luogo ad una maggiore dispersione.

4. Conclusioni

Il progetto ha raggiunto gli obiettivi proposti. L'evento del 2009 in Abruzzo ha fornito molti dati e la possibilità di riprogrammare in corsa parte delle attività per poter trarre vantaggio dalla enorme mole di dati disponibili e delle osservazioni condotte sul campo.
Dal punto di vista dei risultati, oltre agli articoli che verranno elencati nella apposita sezione, si sono messi a disposizione pubblica due siti:
http://oasis.crs.inogs.it/oasis/ che consente l'accesso alla banca dati delle registrazioni e delle misure accessorie
https://sites.google.com/site/prinstessa/ che raccoglie informazioni sul progetto, gli articoli pubblicati ed il software ad accesso libero prodotto o di interesse del progetto
Infine, dal punto di vista delle applicazioni pratiche va menzionato l'esito delle collaborazioni con il DPC a seguito del terremoto abruzzese che ha condotto ad una discussione sulla necessità di modificare l'approccio semplificato basato su Vs30 previsto dalle NTC. Le attività condotte dal progetto hanno consentito di formulare una proposta operativa in tal senso. Per integrare le necessità progettuali di conoscenza del sottosuolo con una efficace descrizione dell'amplificazione sismica attesa si propone che le metodologie semplificate debbano fare uso di due parametri: il periodo proprio del terreno (Fo) e la velocità media delle onde di taglio (Vsz) da determinarsi sino ad una profondità z scelta considerando sia la fattibilità tecnico/economica della misura che l'efficacia del parametro. Per evitare sondaggi e/o prove geofisiche da superficie inutilmente o, al contrario, insufficientemente profondi, la profondità z per la stima di Vs può essere ricavata da Fo.

12. Problemi riscontrati nel corso della ricerca

Nessun problema riscontrato

13. Risorse umane complessivamente ed effettivamente impegnate (da consuntivo)

	(mesi uomo) TOTALE
da personale universitario	*156*
altro personale	*105*
Personale a contratto a carico del PRIN 2007	*123*

14. Modalità di svolgimento (dati complessivi)

Partecipazioni a convegni:

	Già svolti (numero)	Da svolgere (numero)	Descrizione
in Italia	*25*	*0*	*Convegni ai quali si è preso parte:* *Convegno NazionaleGNGTS* *Convegno ANIDIS* *Società Geologica Italiana* *MERCEA'08*
all'estero	*14*	*1*	*Convegni ai quali si è preso parte:* *European Seismological Commission (workshop and assembly)* *IAVCEI meeting* *AGU meeting* *SSA meeting* *EGU meeting*
TOTALE	**39**	**1**	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

Articoli pertinenti pubblicati:

	Numero	Descrizione
su riviste italiane con referee	*3*	*1 Annals of Geophysics* *2 Bollettino Geofisica Teorica ed Applicata*
su riviste straniere con referee	*21*	*4 Bulletin of Seismological Society of America* *4 Bulletin Earthquake Engineering* *1 Communication in non linear Sciences and numerical simulation* *1 Computer and mathematics with applications* *1 Fluctuation and noise letters* *2 Geophysical Journal International* *1 Journal of Acoustic Society of America* *2 Journal of Geophysical Research* *2 Journal of Volcanology and Geothermal Research* *1 Pure and Applied Geophysics*

		1 Seismological Research Letters *1 Soil Dynamics and earthquake enginering*
su altre riviste italiane	*0*	
su altre riviste straniere	*0*	
comunicazioni a convegni/congressi internazionali	*12*	*4 European seismological commission* *1 IAVCEI meeting* *1 AGU meeting* *5 SSA meeting* *1 EGU meeting*
comunicazioni a convegni/congressi nazionali	*25*	*19 Convegno NazionaleGNGTS* *4 Convegno ANIDIS* *1 Società Geologica Italiana* *1 MERCEA'08*
rapporti interni	*0*	
brevetti depositati	*0*	
TOTALE	**61**	

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

Data 06/12/2010 15:56 Firma .....

Si autorizza alla elaborazione e diffusione delle informazioni riguardanti i programmi di ricerca presentati ai sensi del D. Lgs. n. 196/2003 del 30.6.2003 sulla "Tutela dei dati personali". La copia debitamente firmata deve essere depositata presso l'Ufficio competente dell'Ateneo.