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. 2007MNBEMY

1. Area Scientifico Disciplinare principale	*08: Ingegneria civile ed Architettura*
2. Coordinatore Scientifico del programma di ricerca	*DE GIROLAMO Paolo*
- Università	*Università degli Studi dell'AQUILA*
- Facoltà	*Facoltà di INGEGNERIA*
- Dipartimento/Istituto	*Dip. INGEGNERIA DELLE STRUTTURE, DELLE ACQUE E DEL TERRENO*
3. Titolo del programma di ricerca	*Sviluppo e validazione di metodologie e modelli idraulici e geologici a supporto di un sistema di allarme in tempo reale per onde di maremoto. Implementazione al caso della frana di Stromboli (Eolie)*
4. Settore principale del Programma di Ricerca:	*ICAR/02*
5. Costo originale del Programma:	*315.700 â,¬*
6. Quota Cofinanziamento MIUR:	*128.000 â,¬*
7. Quota Cofinanziamento Ateneo:	*61.021 â,¬*
8. Finanziamento totale:	*189.021 â,¬*
9. Durata:	*24 mesi*

10. Obiettivo della ricerca eseguita

L'obiettivo generale della ricerca eseguita è stato quello di mettere a punto gli strumenti di analisi e di calcolo necessari per la realizzazione di un sistema di previsione in tempo reale di onde di maremoto. Pur essendo tali strumenti di validità generale, la ricerca ha inteso svilupparli e verificarli nel contesto di un effettivo caso di applicazione, ovvero il sistema di previsione di onde di maremoto generate, presso l'isola di Stromboli (Isole Eolie - Italia), dal distacco e lo scivolamento di frane lungo la 'Sciara del Fuoco'. Gli obbiettivi particolari sono stati inquadrati nei 5 'tasks' sotto riportati:

Task 1 - Modellazione fisica.
Con tale attività si sono intesi riprodurre sperimentalmente i maremoti generati da frane innescate su versanti di una spiaggia piana o di un'isola conica. In particolare, lo scopo è stato sia quello di definire i valori di riferimento ("benchmarks") per la verifica e/o la calibrazione di modelli numerici e analitici atti a simulare la generazione, la propagazione e l'interazione con la costa di maremoti generati da frane, sia quello di derivare formule parametriche per la previsione dei valori massimi e minimi raggiunti dalle onde lungo la costa ("run-up e run down") al variare dei volumi di frana, nonché delle caratteristiche cinematiche e dinamiche della frana, della tipologia di frana (sub-aerea o sottomarina) e della curvatura planimetrica della linea di riva.

Task 2 - Modellazioni idrauliche, analitiche e numeriche.
Mentre la modellazione analitica ha avuto come scopo quello di definire la dipendenza funzionale tra i principali parametri che regolano il fenomeno della propagazione di un'onda di maremoto lungo una spiaggia piana e intorno ad un isola conica, le modellazioni numeriche si sono poste l'obiettivo di mettere a punto e verificare codici di calcolo utilizzabili in applicazioni a casi reali. In particolare, si sono considerati un primo codice (basato sulla tecnica SPH) per lo studio del campo vicino (ovvero della zona prossima alla frana) e un secondo codice (basato sulla tecnica agli elementi finiti) per lo studio della propagazione delle onde generate a grande distanza. In particolare, tra i requisiti del modello per lo studio del campo lontano si sono posti la sua applicabilità in tempo reale.

Task 3 - Misure di campo di segnali di alta profondità ed algoritmi di individuazione delle onde di maremoto.
L'obiettivo di questa attività è stato quello di analizzare le misure di campo effettuate mediante gli osservatori abissali GEOSTAR, operante nel Golfo di Cadice a circa 3200 m si profondità, e SN-1 operante a largo di Catania a oltre 2000 m di profondità. Con tale analisi si è inteso definire il rumore di fondo presente nelle registrazioni, verificare la capacità degli strumenti di misurare fenomeni ricorrenti quali le maree astronomiche e meteorologiche e identificare eventuali anomalie imputabili a microtsunami. La misura, sia tramite strumenti di profondità che sensori ondametrici classici, sono state anche il presupposto necessario allo sviluppo e la verifica di idonei algoritmi di identificazione automatica e in tempo reale di onde di tsunami.

Task 4 - Scenari di frana.
Poiché il progetto ha inteso orientarsi verso lo sviluppo di un sistema di previsione di maremoti generati, presso l'isola di Stromboli (Isole Eolie - Italia), dal verificarsi di frane lungo la 'Sciara del Fuoco', obbiettivi determinanti sono stati: il monitoraggio delle deformazioni superficiali della frana della Sciara del Fuoco in grado di provocare la formazione di un'onda di maremoto; l'implementazione di modelli cinematici per la descrizione del comportamento sub-aereo e sottomarino di una frana; la definizione degli scenari di frana per l'individuazione delle potenziali aree di inondazione dell'isola di Stromboli, delle Isole Eolie, delle coste settentrionali della Sicilia e delle coste occidentali della Calabria.

Task 5 - Stromboli: applicazione al caso reale della Sciara del Fuoco.
Ultimo obiettivo è stato quello di implementare un sistema di allarme in tempo reale per il caso della frana localizzata alla Sciara del Fuoco dell'Isola di Stromboli (Eolie - Italia).

11. Descrizione della Ricerca eseguita e dei risultati ottenuti

Nel seguito viene descritta la ricerca eseguita e i risultati ottenuti facendo specifico riferimento agli obbiettivi e ai 'tasks' sopra elencati. Per ogni 'task' si sono evidenziate le unità che hanno effettivamente operato, in particolare usando i seguenti acronimi:

UAQ - Unità Uni. L'Aquila (Prof.Paolo De Girolamo);
UR3 - Unità Uni. Roma 3 (Prof. Leopoldo Franco);
PBA - Unità Politectnico di Bari (Prof. Leonardo Damiani);
UFI - Unità Uni. Firenze (Prof. Sandro Moretti);
CNR - Unità CNR (Prof. Nevio Zitellini).

Task 1 - Modellazione fisica.
L'attività di modellazione fisica è stata svolta dalle unità PBA e UAQ (vedi rispettive relazioni conclusive) con il sostegno dell'unità UR3. Nel corso del primo anno di attività sono state completate alcune analisi dei dati acquisiti durante la campagna di sperimentazione effettuata nell'ambito del precedente PRIN 2004: "Onde di maremoto generate da frane in corpi idrici: meccanica della generazione e della propagazione, sviluppo di modelli previsionali e di sistemi di allerta in tempo reale basati su misure mareografiche" da cui ha preso spunto il presente progetto. Sono state, in particolare, indagate le principali proprietà delle onde che risalgono le coste di un'isola interessata da un evento franoso che è all'origine dell'evento tsunamigenico stesso. Un'analisi di dettaglio del campo vicino ha permesso di rivelare come la risalita delle onde sulla spiaggia aumenti fino ad una distanza dall'area dell'impatto, pari a circa due volte la larghezza della frana, per poi iniziare a decrescere. Inoltre, si è chiaramente osservato come la prima onda del treno che normalmente si genera in tali circostanze sia responsabile della massima risalita solo nelle vicinanze dell'area di generazione; infatti le sonde di runup posizionate lungo i fianchi dell'isola hanno rilevato che, man mano che ci si allontana dal piano di scivolamento della frana (area di generazione), è la seconda onda generatasi a prendere il sopravvento in termini di risalita, per poi lasciare il posto alla terza onda e così via. E' stata altresì approfondita l'influenza che il raggio della linea di riva indisturbato ha sul fenomeno oggetto dello studio giungendo alla conclusione che, al crescere di quest'ultimo parametro, cresce anche il runup indotto.
Rispetto alla campagna sperimentale già realizzata, gli obbiettivi enucleati per il presente progetto comportavano la valutazione dell'influenza del volume di frana sulle caratteristiche delle perturbazioni generate, l'approfondimento della struttura trasversale di tali perturbazioni (attraverso lo studio della loro evoluzione temporale lungo sezioni radiali rispetto al tronco dell'isola conica), nonché nell'approfondimento della fase subacquea del moto della frana, notoriamente fondamentale in tale fenomenologia e non sufficientemente indagata nel corso della precedente campagna sperimentale, sia a causa del relativamente piccolo volume della frana utilizzata, sia per l'impossibilità di impostare preventivamente i parametri del moto della frana stessa, la quale veniva fatta entrare in acqua per effetto della sola gravità. Se, in definitiva, gli esperimenti già effettuati avevano già permesso di far luce su alcuni aspetti ancora non noti riguardo alla propagazione delle onde lungo la riva e verso il largo, risolvendo alcuni quesiti della problematica (es. tempi di propagazione, entità massima della risalita), l'analisi dei dati sperimentali non aveva mostrato variazioni evidenti rispetto all'altezza di caduta della frana, né avevano permesso di definire una dipendenza tra il volume di frana e le caratteristiche dell'inondazione della costa poiché il sistema di onde generate era a "saturazione". Inoltre, non era stato possibile valutare le differenze che possono sussistere nel caso in cui l'evento franoso sia di tipo sommerso, poiché in tal caso le perturbazioni indotte erano state così piccole da essere difficilmente identificabili con l'ausilio della strumentazione all'epoca utilizzata.
Allo scopo di perseguire gli obiettivi preposti, è stata progettata e realizzata una strumentazione sperimentale in grado di "imporre" il moto alla frana; inoltre, si è ideato un sistema di misura finalizzato all'identificazione della struttura trasversale dell'onda di bordo ed infine è stato realizzato, presso il Laboratorio di Idraulica Ambientale e Marittima dell'Università dell'Aquila, un nuovo modello della frana, di forma identica a quella utilizzata nel corso del precedente PRIN, ma di volume doppio. Prioritariamente sono stati eseguiti alcuni interventi di ripristino del modello dell'isola conica. Esso è costituito, in sintesi, da uno scheletro metallico portante a cui sono stati sovrapposti alcuni fogli di materiale plastico opportunamente sagomati in modo da far assumere all'intera struttura la forma di un tronco di cono con diametro alla base di circa 9 metri e pendenza delle generatrici pari a 1:3 rispetto al piano di appoggio coincidente col fondo della vasca. Nonostante il discreto stato di conservazione della struttura portante metallica dell'isola conica, è stato necessario provvedere ad un riposizionamento dei fogli di materiale plastico costituenti le pendici dell'isola, i quali, a causa dell'ossidazione, e della conseguente rottura, dei perni di fissaggio alla struttura portante, avevano perso la loro caratteristica conformazione "curvata". Le dilatazioni termiche subite avevano inoltre provocato, negli anni, anche il distacco di alcune delle sonde resistive per la misura della risalita dell'onda sulle pendici dell'isola che erano state inserite in apposite scanalature direttamente negli elementi plastici; è stato quindi necessario fissarle nuovamente per ripristinarne il funzionamento. Il traliccio, disposto radialmente rispetto all'isola conica è stato pensato in modo da poter sostenere un numero considerevole di sensori, senza subire deformazioni sensibili, rimanendo fissato, a sbalzo, ad un solo montante metallico posizionato al centro esatto dell'isola tronco conica. La rotazione del traliccio intorno al palo di sostegno, impressa da un motore trifase azionabile da remoto, è controllata attraverso alcuni sensori di posizione magnetici fissi (uno ogni 5° di rotazione) che hanno consentito, se richiesto, di stoppare le rotazioni stesse posizionando il braccio, e quindi il transetto strumentato ad esso solidale, in corrispondenza di alcuni punti prefissati. Sul traliccio sono state fissate 13 sonde per la misurazione dei livelli idrici di cui 6 di tipo resistivo e 7 ultrasonico. Quest'ultima tipologia di sensori (peraltro non utilizzata nel corso delle precedenti campagne sperimentali), grazie al fatto di non dover essere immerse per poter funzionare (misura non intrusiva), come invece accade per le sonde resistive, consente di ottenere misure in zone caratterizzate da tiranti idrici particolarmente modesti, quali quelli riscontrabili nelle immediate vicinanze della linea di riva indisturbata, le quali rivestono una importanza fondamentale nella caratterizzazione del campo di moto vicino. Grazie alla rotazione del traliccio gli strumenti hanno potuto acquisire numerosissimi dati "spazzando" un area, a forma di corona circolare di estensione tale da fornire informazioni esaustive sulla struttura trasversale delle onde di bordo. Allo scopo di effettuare le acquisizioni dei dati conoscendo esattamente le condizioni al contorno del modello fisico, in particolare quelle legate al moto della frana, si è provveduto, come già accennato, alla messa a punto di un sistema di movimentazione della frana costituito da un motore passo passo, accoppiato ad un apposito riduttore di giri, da una catena a ralle solidale al corpo di frana, e da due pignoni posizionati sotto la superficie del cono. Questo sistema ha permesso di impostare i parametri del moto della frana e, conseguentemente, di effettuare più lanci caratterizzati dai medesimi parametri utili da un lato a verificare, mediante gli strumenti fissi, la ripetibilità degli esperimenti e dall'altro, effettuando tra un lancio ed il successivo una rotazione controllata del traliccio, di acquisire dati, utilizzando un numero relativamente basso di sensori, in un numero di punti molto elevato. In questo modo per ogni esperimento, relativo a una configurazione energetica della frana (altezza di caduta), si è potuto contare su quasi 500 misure puntuali. Tale risoluzione spaziale (e temporale) delle misure è del tutto paragonabile a quella che tipicamente si ottiene tramite l'utilizzo di modelli numerici. Considerando i tempi morti tra un lancio ed il successivo, necessari anche per consentire l'attenuazione dei fenomeni oscillatori in vasca, e fermando il traliccio ogni 5° di rotazione, la durata di ogni esperimento è stata di circa 18 ore effettive. Il sistema di misura innovativo, studiato e messo a punto nel corso del progetto, permette, quindi di ottenere per un singolo esperimento, una volta controllata la ripetibilità dello stesso, un numero di dati tali da costituire un database senza precedenti a livello internazionale per operare confronti con modelli analitici e numerici. Il controllo motorizzato della frana ha permesso, altresì, di indagare le caratteristiche delle onde di maremoto generate da frane sommerse, colmando una lacuna delle ricerche precedentemente effettuate sullo stesso modello. La possibilità di utilizzare due modelli di frana di differenti caratteristiche ha consentito, infine, di studiare l'influenza del volume della frana sulle onde di tsunami.

Task 2 - Modellazioni idrauliche, analitiche e numeriche.
L'attività di modellazione idraulica è stata svolta dalle unità UR3 e UAQ (vedi rispettive relazioni conclusive). In particolare è stato sviluppato un nuovo modello numerico per la riproduzione in grande scala delle onde di maremoto e un nuovo modello analitico per lo studio delle onde generate da frane. E' stata inoltre studiata una tecnica di inversione per la ricostruzione in tempo reale di un maremoto finalizzata all'applicazione a un sistema di allerta maremoti. Il modello è stato ampiamente validato attraverso il confronto con dati numerici e sperimentali (2D e 3D). Il modello si basa su equazioni lineari, pertanto, come ci si immaginava, non simula correttamente la propagazione di onde su bassi fondali. Anche per quanto riguarda la fase di generazione il modello è limitato a simulare correttamente solo l'interazione del mare con frane (o movimenti sottomarini) di 'piccolo' spessore rispetto al tirante al quale avvengono. E' stato inoltre sviluppato un nuovo modello analitico per studiare la propagazione delle onde di maremoto nell'intorno di un'isola. Il modello è stato validato mediante confronto con dati sperimentali ottenuti nel task 1 e sembra fornire un'ottima descrizione dei processi di propagazione delle onde. Gli esperimenti hanno anche costituito uno strumento per la validazione del modello numerico capace di descrivere il campo vicino (near-field) delle onde generate dalla frana. In fase di proposta del progetto, era stata valutata la possibilità di utilizzare il modello SPH tridimensionale (SPH3D) già utilizzato per la simulazione della generazione di onde di tsunamis per lo scivolamento di un corpo di forma ellissoidale lungo un piano. Tuttavia, l'alto onere computazionale del modello SPH ha portato a preferire l'utilizzo di un modello numerico tridimensionale del tipo VOF.

Task 3 - Misure di campo di segnali di alta profondità ed algoritmi di individuazione delle onde di maremoto.
Le misure di campo sono state realizzate dall'unità CNR (vedi relazione conclusiva). In particolare, è stato realizzato un nuovo prototipo di 'tsunami detector' cablato basato sul controllo sia del segnale sismico causato dal terremoto che del segnale di pressione generato dal passaggio dell' onda di tsunami. Il prototipo e' stato installato sull' osservatorio abissale SN1, sviluppato in precedenza da INGV, e operativo al largo di Catania a circa 2100 metri di profondita' dal 2005 al 2008. L'analisi dei dati registrati in questo periodo, non solo ha permesso lo sviluppo di un nuovo modello di generazione di tsunami che tiene conto della compressibilità dell' acqua e dei sedimenti, ma ha anche permesso di evidenziare l'esistenza di onde idroacustiche modulate di bassa frequenza, generate dal moto del fondo marino durante la generazione dello tsunami. Tali onde recano informazioni su parametri fondamentali della sorgente quali l'estensione, lo spostamento e la velocità del moto. Queste onde idroacustiche costituiscono quindi un possibile precursore idroacustico dello tsunami stesso e potrebbero essere utilizzate per migliorare gli

attuali sistemi di allerta rapida. Al riguardo, anche grazie a finanziamenti derivanti da ESONET-LiDO demo Mission e NEAREST, è stato progettato e sviluppato un prototipo di idrofono a bassa frequenza per la caratterizzazione del rumore idroacustico a bassa frequenza e per la individuazione e la caratterizzazione di eventuali segnali idroacustici generati dal moto del fondo. Il prototipo di idrofono e' stato installato a bordo della stazione abissale SN1 che acquisirà i primi dati nell'estate 2011.
Per quanto riguarda gli algoritmi di identificazione automatica e in tempo reale di maremoti in segnali di livello, la ricerca - condotta dalle unità CNR e UAQ (vedi rispettive relazioni conclusive) - ha distinto i segnali provenienti dalle seguenti due tipologie di strumenti: a) gli tsunamometri (Bottom pressure recorder) che misurano i livelli da grandi profondità; 2) gli ondametri dotati di sensori (di pressione, ottici, acustici etc.) in grado - se utilizzati in continuo - di misurare onde lunghe di maremoto.
Per quanto riguarda l'individuazione in misure effettuate da sensori di profondità sono stati messi a punto due algoritmi originali, uno basato su una polinomiale cubica filtrata (CNR) e uno basato sull'utilizzo di una rete neurale artificiale (UAQ). Per quanto riguarda l'individuazione in misure effettuate da sensori normalmente utilizzati per la caratterizzazione delle onde di vento, l'unità UAQ ha sviluppato un originale algoritmo basato sull'utilizzo di un filtro 'passa-basso' a risposta infinita operante nel dominio del tempo. Inoltre, sempre l'unità UAQ ha proposto un algoritmo di analisi da implementare in strumentazioni multiparametriche utili ai sistemi di allarme maremoto e, contemporaneamente, per la misura delle caratteristiche oceanografiche e meteomarine.

Task 4 - Scenari di frana.
L'attività è stata svolta dall'unità UFI (vedi relazione conclusiva) la quale si è concentrata sull'implementazione presso la Sciara del Fuoco e l'analisi dei dati del sistema di monitoraggio radar (Ground-Based Interferometric Syntetich Aperture Radar; GB-InSAR), analizzandone i dati. L'unità ha inoltre sviluppato dei modelli analogici indirizzati allo studio degli effetti di diversi meccanismi di innesco di frane ipotizzati sulla Sciara del Fuoco.
Per quanto riguarda il sistema di monitoraggio GB-InSAR, questi si è dimostrato particolarmente affidabile, soprattutto se si pensa alle condizioni operative particolarmente avverse tipiche di Stromboli. E' stato anche sviluppato un sistema di monitoraggio basato sull'integrazione del sistema radar con altri sensori e di un sistema di monitoraggio prototipale basato su una rete di sensori a basso costo dotati di connessione wireless. Lo scopo della rete è quello di misurare i parametri fisici (temperatura, umidità dell'aria, precipitazioni) da poter mettere in relazione con le deformazioni superficiali della frana (rilevate sia tramite il sistema GB-InSAR che mediante l'utilizzo di sistemi alternativi attualmente in via di sviluppo). Questa fase assume l'acronimo SMART (Stromboli Automated report) e si prefigge di definire un sistema di sorveglianza automatizzata della Sciara del Fuoco. In particolare, il sistema è articolato in 3 fasi successive: monitoraggio, allertamento rapido e reporting degli eventi osservati. La fase di monitoraggio consiste nell'organizzazione in un'unica interfaccia grafica di tutte le informazioni necessarie per la stima rapida delle deformazioni del fianco del vulcano e in un sistema di valutazione automatico delle stesse. Per ridurre il numero di falsi o mancati allarmi il sistema è stato integrato con una procedura di riconoscimento delle condizioni meteo e di calcolo dell'alba e del tramonto, per il riconoscimento del giorno e della notte. La fase di allertamento rapido è basata su una procedura di change detection con soglie di deformazioni significative crescenti, in base alle quali il sistema può emettere un allarme e inviare un messaggio (email) contenente i dati necessari per stimare speditivamente le velocità di deformazione della Sciara del Fuoco. La fase di preparazione e distribuzione dei bollettini (reporting) ha un'interfaccia dedicata, sviluppata in tecnologia ASP.NET e utilizzabile tramite web-browser, collegata direttamente al sistema di monitoraggio, dal quale vengono ricavate le informazioni necessarie per la compilazione del report. Un sistema si questo tipo permette di avere sempre sotto controllo lo stato de formativo della Sciara del Fuoco e di ottimizzare i tempi per la segnalazione di situazioni di criticità. La ricerca ha portato alla costituzione di un sistema GB-InSAR che viene utilizzato come sistema di monitoraggio permanente delle deformazioni della Sciara del Fuoco e dell'area craterica di Stromboli a fini di Protezione Civile. Inoltre è in fase di sperimentazione sul sistema di allerta semi-automatico basato sui dati inviati dal sensore radar.
Per quanto riguarda lo studio dei meccanismi di innesco di fenomeni franosi sulla Sciara del Fuoco tramite modelli analogici sperimentali, in primo luogo sono state effettuate prove geotecniche di laboratorio per confrontare le caratteristiche del materiale proprio della Sciara del Fuoco con quelle di diverse misture di sabbia e riso con le quali realizzare i modelli. Tali informazioni sono risultate fondamentali per la scelta del materiale con cui realizzare modelli scalati al prototipo naturale. Successivamente sono state impostate due serie sperimentali, sia in ambiente sub-aereo che all'interfaccia aria-acqua, per verificare l'influenza di due differenti tipi di meccanismo di innesco: 1) simulazione del rigonfiamento (bulging) dovuto all'intrusione di un dicco; 2) accumulo di materiale dovuto, per esempio, all'apertura di una nuova bocca effusiva. La simulazione del comportamento del versante in risposta ai due differenti possibili meccanismi di innesco, in relazione anche alla magnitudo dei fattori scatenanti, è risultata di fondamentale importanza anche per la definizione delle aree maggiormente instabili e quindi per la definizione dei possibili scenari di rischio. I risultati derivanti da questi modelli, messi in relazione con le simulazioni numeriche delle deformazioni della Sciara del Fuoco (effettuate con software commerciali), hanno fornito i valori di ingresso per la simulazione numerica dello sviluppo e della propagazione delle onde tzunamogeniche. Inizialmente sono stati costruiti modelli per simulare una frana sviluppata all'interfaccia aria-acqua; dopo la sedimentazione del materiale si è inserita una quantità nota di acqua all'interno della vasca, facendole raggiungere un'altezza tale da poter simulare le condizioni della Sciara del Fuoco nella sua interezza, sia subaerea che sottomarina. Nella realizzazione di questi modelli sono state riscontrate alcune difficoltà legate prevalentemente alla presenza dell'acqua. La risalita capillare dell'acqua avviene in tempi troppo brevi rispetto ai tempi necessari per terminare la costruzione del modello e la sua successiva deformazione. L'attenzione è stata quindi posta sulla ricerca di un materiale o di espedienti tecnici che permettessero di realizzare i modelli senza variare i rapporti di scala tra il modello ed il prototipo naturale e senza ulteriori semplificazioni che porterebbero a determinare caratteristiche del materiale non realistiche.

Task 5 - Stromboli: applicazione al caso reale della Sciara del Fuoco.
Il complesso delle attività di ricerca sviluppate durante il progetto ha portato a elaborare un concreto progetto di fattibilità del sistema di allerta in tempo reale per l'isola di Stromboli (De Girolamo et al., 2011). Tale progetto è effettivamente implementato nella sua componente di misura dei movimenti precursori di frana della Sciara del Fuoco (si veda al riguardo il precedente Task 4 - Ventura et al., 2011). Nell'ambito del progetto di fattibilità sono state delineate le strategie di scelta e posizionamento degli strumenti necessari a realizzare l'individuazione del maremoto (Bellotti et al., 2009), nonché gli algoritmi più opportuni per la loro effettiva identificazione (Beltrami e Di Risio, 2011). Sono stati poi stimati i tempi di arrivo dell'onda di maremoto lungo l'isola, ovvero i tempi per dare l'allarme di evacuazione dalle spiagge di Stromboli (Bellotti et al., 2009), i livelli di risalita per 'run-up' dell'onda intrappolata, ovvero le aree di rischio (Di Risio et al., 2009 a, b, c), nonché indicati i più opportuni modelli per simulare in tempo reale la propagazione dell'onda verso altre località (Bellotti et al., 2008, Cecioni e Bellotti, 2010 a, b).

Bellotti G, Di Risio M, De Girolamo P., 2009. Feasibility of Tsunami Early Warning Systems for small volcanic islands. Natural Hazards And Earth System Sciences, vol. 9 (6); pp. 1911-1919.
Beltrami G.M, Di Risio M., 2011. Algorithms for automatic, real-time tsunami detection in wind-wave measurements. Part I: implementation strategies and basic tests. Sottomesso a Coastal Engineering.
Bellotti G, Cecioni C, De Girolamo P., 2008. Simulation of small-amplitude frequency-dispersive transient waves by means of the mild slope equation. Coastal Engineering, vol. 55 (6); pp. 447-458.
Bellotti G, Di Risio M, De Girolamo P., 2009. Feasibility of Tsunami Early Warning Systems for small volcanic islands. Natural Hazards And Earth System Sciences, vol. 9 (6); pp. 1911-1919.
Beltrami G.M, Di Risio M., 2011. Algorithms for automatic, real-time tsunami detection in wind-wave measurements. Part I: implementation strategies and basic tests. Sottomesso a Coastal Engineering.
Cecioni C., Bellotti G., 2010a. Inclusion of tsunamis generation into a depth integrated wave propagation model. Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 10, pp. 2259-2268.
Cecioni C., Bellotti G., 2010b. Modeling tsunamis generated by submerged landslides using depth integrated equations. Applied Ocean Research, vol. 32, pp. 343-350.
De Girolamo P., De Berardinis B, Beltrami G.M, Di Risio M, Bellotti G, Capone T, 2011. The Italian activities on tsunami risk mitigation: the operating landslide tsunami early warning system of Stromboli (Aeolian Islands, Italy). Atti VII International Workshop on Coastal Disaster Prevention. Tokio, January 26-27, 2011
Di Risio M, Bellotti G, Panizzo A, De Girolamo P. 2009a. Three-dimensional experiments on landslide generated waves at a sloping coast. Coastal Engineering, vol. 56(5-6); pp. 659-671.
Di Risio M, De Girolamo P., Bellotti G, Panizzo A, Aristodemo F, Molfetta M.G, Petrillo A.F 2009b. Landslide-generated tsunamis runup at the coast of a conical island: New physical model experiments. J. Geophys. Res., vol. 114.
Di Risio M., Bellotti G., Panizzo A., P. De Girolamo, 2009c. Three-dimensional experiments on landslide generated waves at a sloping coast. Coastal Engineering, vol. 56, pp.: 659-671.
Ventura G, Vinciguerra S., Moretti S., Meredith P.G., Heap M.J., Baud P., Shapiro S.A., Dinske C., Kummerow J., 2010. Understanding Slow Deformation Before Dynamic Failure. J. Geophysical Hazards. pp. 229-247. doi: 10.1007/978-90-481-3236-2_14

12. Problemi riscontrati nel corso della ricerca

L'esecuzione della ricerca non ha presentato particolari problemi, fatta salva l'mpossibilità di utilizzo delle strutture del LIAM (Laboratorio di Idraulica Ambientale e Marittima) dell'Università degli Studi di L'Aquila, a suo tempo preventivato per la realizzazione del modello fisico di spiaggia piana. Il sisma che ha colpito la città di L'Aquila il 6 aprile del 2009, pur non comportatndo danni alle strutture stesse, ha tuttavia reso inagibile la facoltà di ingegneria all'interno della quale le strutture stesse sono collocate. Tale inagibilità è perdurata fino al 10 gennaio 2011, data in cui è stato consentito di riaccedere al laboratorio stesso.

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

	(mesi uomo)
(mesi uomo)	
da personale universitario	*112*
altro personale	*266*
Personale a contratto a carico del PRIN 2007	*10*

14. Modalità di svolgimento (dati complessivi)

Partecipazioni a convegni: Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â

	Già svolti (numero)	Da svolgere (numero)	Descrizione
in Italia	*5*	*0*	*XXXI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Perugia, 2008.* *XXXII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Palermo, 2010.* *USEReST2008. USE of Remote Sensing Techniques (USEReST) for Monitoring Volcanoes and Seismogenic Areas, Naples, Italy, 2008.* *GMES TERRAFIRMA Workshop. 5th User workshop and Terrafirma product training day. Frascati, Italy, 2009.* *IWL 2009 "Rainfall induced landslides: mechanism, monitoring tecchniques and nowcasting models for early warning systems". Naples, Italy, 2009.*
all'estero	*9*	*1*	*31nd International Conference on Coastal Engineering, Hamburg, Germany, 2008.* *32nd International Conference on Coastal Engineering Shanghai,China, 2010.* *7th International Workshop on Coastal Disaster Prevention. Tokio, Japan, 2011.* *2nd International Conference on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection, CoastLab08, Bari, Italy, 2008.* *3rd International Conference on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection, CoastLab10, Barcellona, Spain, 2010.* *European Geosciences Union General Assembly 2008, Vienna, Austria, 2008.* *European Geosciences Union General Assembly 2010, Vienna, Austria, 2010.* *European Geosciences Union General Assembly 2011, Vienna, Austria, 2011.* *21st International Offshore and Polar Engineering Conference, Maui, Hawaii, USA, 2011.* *AGU 2010 fall meeting, 2010.*
TOTALE	**14**	**1**	**Â**

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

Articoli pertinenti pubblicati: Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â Â

	Numero	Descrizione
su riviste italiane con referee	*1*	*Luzi G., Del Ventisette C., Casagli N., 2011. Monitoring deformations of the Sciara del Fuoco (Stromboli) through ground-based radar interferometry. Acta Vulcanologica. In stampa.*
su riviste straniere con referee	*17*	*Bellotti G, Cecioni C, De Girolamo P., 2008. Simulation of small-amplitude frequency-dispersive transient waves by means of the mild slope equation. Coastal Engineering, vol. 55 (6); pp. 447-458.* *Bellotti G, Di Risio M, De Girolamo P., 2009. Feasibility of Tsunami Early Warning Systems for small volcanic islands. Natural Hazards And Earth System Sciences, vol. 9 (6); pp. 1911-1919.* *Beltrami G.M, Di Risio M., 2011. Algorithms for automatic, real-time tsunami detection in wind-wave measurements. Part I: implementation strategies and basic tests. Sottomesso a Coastal Engineering.* *Beltrami G.M., 2008. An ANN algorithm for automatic, real-time tsunami detection in deep-sea level measurements. Ocean Engineering, vol. 35(5-6), pp. 572-587.* *Beltrami, G.M. 2011. Automatic, real-time detection and characterization of tsunamis in deep-sea level measurements. Sottomesso a Ocean Engineering.* *Casagli N., Catani F., Del Ventisette C., Luzi G.; 2010; Monitoring, prediction and early-warning using ground-based radar interferometry. Landslides, vol. 7(3), pp. 291-301.* *Casagli N., Tibaldi A., Merri A., Del Ventisette C., Apuani T., Guerri L., Fortuny-Guasch J., Tarchi D., 2009. Deformation of Stromboli Volcano (Italy) during the 2007 crisis by radar interferometry, numerical modeling and field structural data. Journal of Volcanology and Geothermal Research, vol. 182(3-4), pp. 282-200.* *Cecioni C., Bellotti G., 2010. Inclusion of tsunamis generation into a depth integrated wave propagation model. Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 10, pp. 2259-2268.*

		Cecioni C., Bellotti G., 2010. Modeling tsunamis generated by submerged landslides using depth integrated equations. Applied Ocean Research, vol. 32, pp. 343-350. *Chierici F., Pignagnoli L., Embriaco D., 2010. Modeling of the hydroacoustic signal and tsunami wave generated by sea floor motion including a porous seabed. J. Geophys. Res, vol. 115.* *Di Risio M, Bellotti G, Panizzo A, De Girolamo P. 2009. Three-dimensional experiments on landslide generated waves at a sloping coast. Coastal Engineering, vol. 56(5-6); pp. 659-671.* *Di Risio M, De Girolamo P., Bellotti G, Panizzo A, Aristodemo F, Molfetta M.G, Petrillo A.F 2009. Landslide-generated tsunamis runup at the coast of a conical island: New physical model experiments. J. Geophys. Res., vol. 114.* *Di Risio M., Bellotti G., Panizzo A., P. De Girolamo, 2009. Three-dimensional experiments on landslide generated waves at a sloping coast. Coastal Engineering, vol. 56, pp.: 659-671.* *Di Risio M., Sammarco P., 2008. Analytical modeling of landslide generated waves. Journal Of Waterway Port Coastal And Ocean Engineering - Asce, vol. 134(1), pp. 53-60.* *Montagna F., Bellotti G., Di Risio M., 2011. 3D numerical modeling of landslide-generated tsunamis around a conical Island. Natural Hazards, in stampa.* *Ventura G, Vinciguerra S., Moretti S., Meredith P.G., Heap M.J., Baud P., Shapiro S.A., Dinske C., Kummerow J., 2010. Understanding Slow Deformation Before Dynamic Failure. J. Geophysical Hazards. pp. 229-247. doi: 10.1007/978-90-481-3236-2_14* *Yim S.C, Yuk M. D, Panizzo A, Di Risio M., Liu P.L.-F, 2008. Numerical Simulations of Wave Generation by a Vertical Plunger. Journal Of Waterway Port Coastal And Ocean Engineering - ASCE, vol. 134(3), pp.: 143-159.*
su altre riviste italiane	*1*	*Pignagnoli L., Chierici F., Favali P., Beranzoli L., Embriaco D., Monna S., D'Oriano F., Zitellini N., 2011. Tsunami Early Warning System: deep sea measurements in the source area. MARE, Dipartimento Terra e Ambiente del CNR. In stampa.*
su altre riviste straniere	*3*	*Beltrami G.M, Di Risio M., De Girolamo P., 2011. Algorithms for Automatic, Real-Time Tsunami Detection in Sea Level Measurements. In: NILS-AXEL MORNER ED. The Tsunami Threat -Research and Technology.* *Di Risio M, De Girolamo P., Beltrami G.M, 2011. Forecasting Landslide Generated Tsunamis: a Review. In: NILS-AXEL MORNER ED.. The Tsunami Threat -Research and Technology.* *Marinaro G., Monna S., Pignagnoli L., 2011. Marine seisogenic tsunamigenic prone areas: the Gulf of Cadiz. Springer-Praxis Publishing, in Sea Floor Observatories: a new vision of the Earth from the abyss, edited by P. Favali, L. Beranzoli, A. De Santis, in stampa.*
comunicazioni a convegni/congressi internazionali	*10*	*Cecioni C, Bellotti G, De Girolamo P, Franco L., 2008. Full frequency dispersive numerical modelling of tsunamis. Large scale application to the south tyrrhenian sea. Atti XXXI International Conference on Coastal Engineering, Hamburg 2008.* *Chierici F., Pignagnoli L., Embriaco D., Monna S., 2011. The tsunami detector prototype deployed in the Gulf of Cadiz on board GEOSTAR abyssal station and recently adapted and installed on board of SN1-cabled abyssal station deployed in East Sicily, offshore Catania. EGU General Assembly* *Chierici F., Pignagnoli L., Embriaco D., Monna S., 2011. The tsunami detector prototype deployed in the Gulf of Cadiz: data collection and functionality evaluation; EGU General Assembly* *De Girolamo P., Cecioni C., Capone T., Briganti R., Panizzo A., Chen Q., Bellotti G., M. Di Risio 2008. Numerical modeling of landslide generated tsunamis around a conical island; Atti XXXI International Conference on Coastal Engineering, Hamburg 2008.* *De Girolamo P., De Berardinis B, Beltrami G.M, Di Risio M, Bellotti G, Capone T, 2011. The Italian activities on tsunami risk mitigation: the operating landslide tsunami early warning system of Stromboli (Aeolian Islands, Italy). Atti VII International Workshop on Coastal Disaster Prevention. Tokio, January 26-27, 2011* *Di Risio M, Bellotti G, Molfetta M, Aristodemo F, Panizzo A, De Girolamo P., Pratola L, Petrillo A.F., 2008. Landslide generated tsunamis at the coast of a conical island: new three-dimensional experiments. Atti Coastlab08, 2008.* *Franco L., Cecioni C., Bellotti G., Di Risio M., De Girolamo P., Sammarco P., 2011. Full frequency dispersive numerical modeling of tsunamis. Accettato per XXI International Offshore and Polar Engineering Conference.* *Molfetta M.G., Di Risio M., Bellotti G., Romano A., Pratola L., De Girolamo P., Damiani L., 2010. Tsunamis generated by landslides along the coast of a conical island: a new set of threedimensional experiments. Atti Coastlab2010.* *Moretti S., Casagli N., Catani F., Battistini A., Raspini F., 2010. Sudden Morphometric Changes Induced by Diffuse Mass Wasting Processes. American Geophysical Union, Fall Meeting 2010.* *Pignagnoli L., Chierici F., Embriaco D., 2010. A new real time tsunami detection algorithm for bottom pressure measurements in open ocean: characterization and benchmarks. Geophysical Research Abstract, vol. 12, EGU2010-10498.*
comunicazioni a convegni/congressi nazionali	*7*	*Beltrami G.M,, Di Risio M., 2010. Algoritmi per l'individuazione automatica e in tempo reale di onde di maremoto in misure di moto ondoso. XXXII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche IDRA2010.* *Cecioni C, Bellotti G, Franco L., 2010. 2D-H modeling of tunamis generated by landslides. Atti del XXXII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Palermo.* *Di Risio M., 2010. Misura di moto ondoso mediante sensori installati su galleggianti som¬mersi; XXXII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche IDRA2010.* *Filianoti P., Di Risio M., 2010. Sollecitazioni di onde solitarie su una barriera sommersa: primi esiti sperimentali. Atti XXXII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche IDRA2010.* *Miranda J. M., Matias L., Terrinha P., Zitellini N., Baptista M. A., Chierici F., Embriaco D.,* *Montagna F, Di Risio M, Bellotti G, De Girolamo P, Franco L., 2008. Simulazione numerica tridimensionale di onde di maremoto generate da una frana. Atti XXXI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Perugia.* *Montagna F., Di Risio M., Bellotti G., De Girolamo P., Franco L., 2008. Simulazione numerica tridimensionale di onde di maremoto generate da una frana. Atti XXXI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Perugia.*
rapporti interni	*0*	
brevetti depositati	*0*	
TOTALE	**39**	**Â**

Per ogni campo di testo max 8.000 caratteri spazi inclusi

Data 14/06/2011 11:12 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.