

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 ¹	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 ²	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 deposto 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'avampaese 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'avampaese 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'avampaese 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.

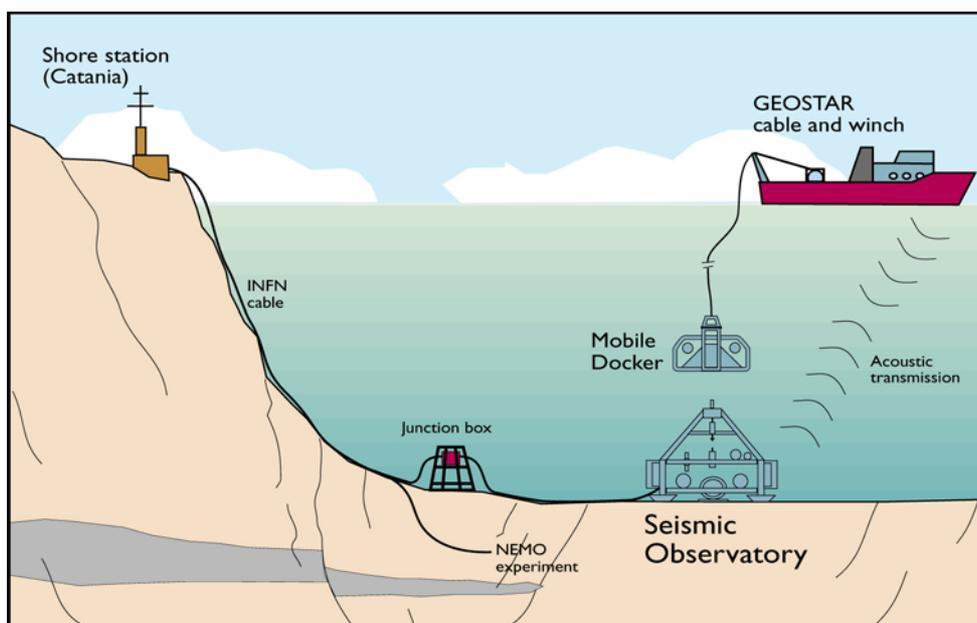


Figura 1. Schema di deposizione e recupero dell'osservatorio SN-1: le operazioni sono effettuate per mezzo di un veicolo sottomarino denominato MODUS (Mobile Docker for Underwater Science); la comunicazione per via caustica può essere attivata dalla superficie e consente di recuperare parametri significativi 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).

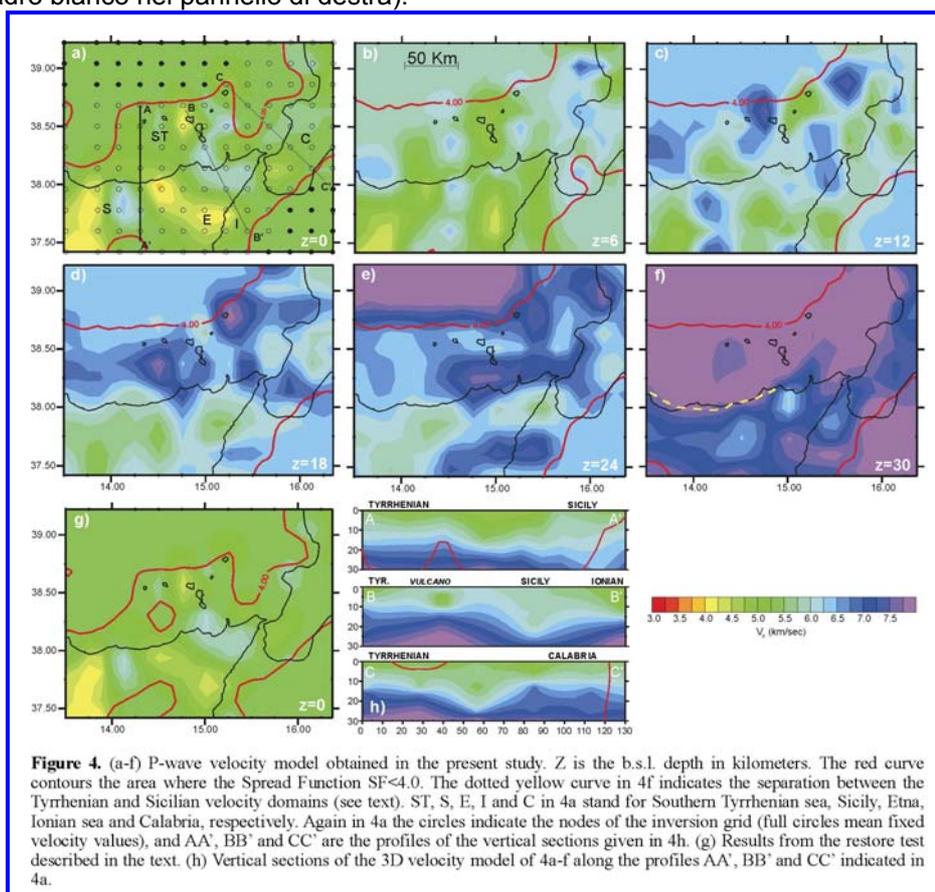


Figure 3. Un modello di velocità tridimensionale per le onde P determinato da Neri et al. (Geophys. Res. Letters, 2002) per la crosta terrestre al di sotto delle regioni del Tirreno sud-orientale, dello Ionio Occidentale, della Sicilia nord-orientale e della Calabria sud-occidentale.

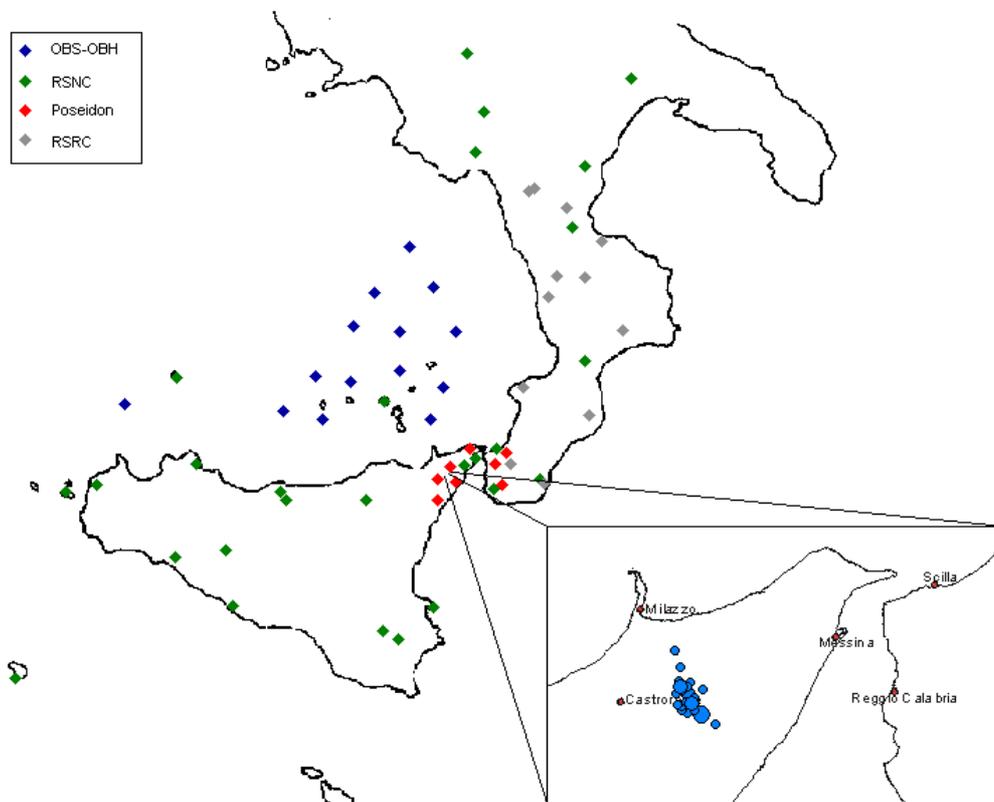


Figura 4. Uno sciame sismico verificatosi nel marzo 2001 nella Sicilia nord-orientale (vedi pannello inserito) è stato studiato rispetto alle localizzazioni ipocentrali con modelli differenti di velocità e usando rispettivamente (a) i dati della rete terrestre INGV, (b) i dati della rete terrestre Poseidon, (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).