

**CONVENZIONE TRA L'ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA (INGV),  
L'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA, L'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MESSINA,  
L'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II", E L'UNIVERSITÀ DEGLI STUDI  
DI PALERMO"**

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, con sede e domicilio fiscale in Roma, Via di Vigna Murata 605, Codice fiscale 06838821004, rappresentata dal Presidente, Prof. Carlo Doglioni, di seguito indicato come "INGV",

l'Università degli Studi di Catania, **tramite il Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali**, con sede e domicilio fiscale in Catania, Piazza Università n° 2, Codice Fiscale e P. IVA 02772010878, rappresentata dal Rettore Prof. Francesco Priolo, di seguito indicata come "UniCT",

l'Università degli Studi di Messina, con sede e domicilio fiscale in Messina, Piazza Pugliatti n° 1, Codice Fiscale 80004070837, P. IVA 00724160833, rappresentata dal Rettore Prof. Salvatore Cuzzocrea, di seguito indicata come "UniME",

l'Università degli Studi di Napoli "Federico II", con sede e domicilio fiscale in Napoli, Corso Umberto I n° n. 40, Codice Fiscale e P. IVA 00876220633, rappresentata dal Rettore Prof. Matteo Lorito, di seguito indicata come "UniNA",

E

l'Università degli Studi di Palermo, con sede e domicilio fiscale in Palermo, Piazza Marina n° 61, Codice Fiscale 80023730825, P. IVA 00605880822, rappresentata dal Rettore Prof. Prof. Massimo Midiri, di seguito indicata come "UniPA",

successivamente indicate come "le Parti",

**Visto:**

- il Decreto del Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca 22 ottobre 2004, n. 270, modifiche al regolamento recante norme concernenti l'autonomia didattica degli Atenei e la struttura dell'ordinamento universitario;
- i DD.MM. 16 marzo 2007, relativi alla determinazione delle classi dei corsi di laurea e di laurea magistrale;
- la legge 30 dicembre 2010, n. 240, recante norme in materia di organizzazione delle università, di personale accademico e reclutamento, nonché delega al Governo per incentivare la qualità e l'efficienza del sistema universitario;
- il D.L. 29 marzo 2012, n. 68, con il quale è stata revisionata la normativa in materia di diritto allo studio;

**tenuto conto:**

- dell'interesse a collaborare per lo sviluppo di corsi di formazione e alta formazione di strategico e comune interesse;

- dell'interesse a collaborare per lo sviluppo e lo svolgimento di progetti scientifici di interesse comune;
- dell'interesse a valorizzare le risorse infrastrutturali presenti nell'area dello Stretto di Messina e dell'arco Calabro-Peloritano;
- dell'interesse di valorizzare la sede operativa dell'INGV a Messina;

**premesse che**

***INGV:***

- è un ente di ricerca, dotato di personalità giuridica di diritto pubblico, ai sensi del d.lgs. 29 settembre 1999 n. 381, ed è vigilato dal Ministero dell'Università e della ricerca;
- nello Statuto, approvato con delibera n. 114/2020 del 19 giugno 2020, pubblicato sul Sito WEB istituzionale (Avviso di emanazione - Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana - Serie generale n. 264 del 24 ottobre 2020) - si prevede all'art. 2, comma 1 che "l'INGV ha il compito di promuovere e di valorizzare la ricerca scientifica e tecnologica nel campo delle geoscienze e di divulgarne i risultati";
- ai sensi dell'art. 2 comma 2, lett. a), del suddetto Statuto, INGV promuove e svolge attività di ricerca sulla Terra, attraverso: 1. il rilevamento sistematico mediante reti e osservatori multiparametrici, della struttura e funzionamento del pianeta, nelle sue componenti solida e fluida; 2. la conduzione di specifici laboratori; 3. le analisi delle osservazioni finalizzate al monitoraggio e alla modellazione dei processi naturali della Terra; 4. la raccolta e l'analisi dei dati che contribuiscano al miglioramento delle conoscenze del sistema Terra, finalizzati anche alla protezione civile e ambientale; 5. il monitoraggio o lo studio degli effetti delle attività umane sulla Terra;
- ai sensi dell'art. 2 comma 2, lett. g), del suddetto Statuto, INGV svolge attività di formazione autonomamente e in collaborazione tramite convenzione con le università e altre istituzioni di alta formazione;
- ha una sede operativa nella Città di Messina, in corso di ristrutturazione, che intende valorizzare come centro per studi e sviluppo di tematiche scientifiche finalizzate all'area dello Stretto di Messina e dell'arco Calabro-Peloritano;

***UniCT:***

- è un'università statale, in possesso dei requisiti strutturali, tecnologici, organizzativi e scientifici necessari per sviluppare, promuovere e diffondere conoscenze relative alla ricerca e all'innovazione nell'ambito delle Scienze della Terra e dello spazio circumterrestre, in particolare presso il proprio Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali;
- ha tra i fini istituzionali, ai sensi del proprio statuto, la promozione e la realizzazione della ricerca e di attività didattiche e formative di livello superiore, nonché l'avvio degli studenti al mondo del lavoro e intende concorrere alla creazione di percorsi di studi che possano portare a percorsi di alta formazione;
- ha un corso di Laurea Magistrale in Scienze Geofisiche (Classe LM 79) e le risorse e le competenze necessarie per avviare percorsi di formazione superiore (master di I e II livello e corsi di dottorato di ricerca);

- ha competenze specifiche nell'area dello Stretto di Messina in particolare sulla ricognizione delle principali strutture tettoniche attive nell'Arco Calabro-Peloritano, sia onshore che offshore, e misurazione dei parametri geologici e/o geodetici, identificazione delle anomalie longitudinali e trasversali dei corsi fluviali tramite calcolo degli indici geomorfici di attività tettonica, analisi di liquefazioni e frane o depositi di tsunami ed eventuale correlazione con eventi noti o paleo-eventi;
- ha attività in collaborazione con altri soggetti del presente accordo con i quali svolge attività finalizzata all'interpretazione di dati morfotettonici, geofisico-marini e geodetici, attività di alta formazione (tirocini, dottorati di ricerca in consorzio, ecc.) in campi quali tettonica regionale, tettonica attiva, geologia del terremoto, geodesia e partecipazione a bandi per il finanziamento di ricerca interdisciplinari di interesse nazionale e/o transfrontalieri, anche con l'obiettivo di un progressivo potenziamento dei laboratori e delle strumentazioni;

**UniME:**

- è un'università statale, in possesso dei requisiti strutturali, tecnologici, organizzativi e scientifici necessari per sviluppare, promuovere e diffondere conoscenze relative alla ricerca e all'innovazione nell'ambito delle Scienze della Terra e dello spazio circumterrestre, in particolare presso il proprio Dipartimento di Scienze Matematiche e Informatiche, Scienze Fisiche e Scienze della Terra;
- ha tra i fini istituzionali, ai sensi del proprio statuto, la promozione e la realizzazione della ricerca e di attività didattiche e formative di livello superiore, nonché l'avvio degli studenti al mondo del lavoro e intende concorrere alla creazione di percorsi di studi che possano portare a percorsi di alta formazione;
- ha le risorse e le competenze necessarie per avviare percorsi di formazione superiore (master di I e II livello e corsi di dottorato di ricerca);
- ha competenze specifiche nell'area dello Stretto di Messina, in particolare nell'analisi e interpretazione di dati sismici, geofisici e geologici per la caratterizzazione della sismicità, della struttura crostale e dei processi geodinamici nella regione dell'Arco Calabro-Peloritano. Ha collaborato alla progettazione e realizzazione di reti di monitoraggio geofisico e geodetico off-shore per l'integrazione delle attuali reti on-shore e per l'analisi dei processi deformativi con sede nell'area dell'Arco Calabro-Peloritano meridionale. Inoltre svolge analisi integrate dei dati e delle osservazioni disponibili da terra e da satellite per la caratterizzazione dei processi geodinamici in atto nell'area dell'Arco Calabro-Peloritano Meridionale. Ha svolto studi di pericolosità sismica locale nell'area dello Stretto di Messina basati su misure di tipo geofisico ed indagini geologiche su scala locale;
- ha interesse a una più ampia collaborazione con gli altri Soggetti istituzionali coinvolti nell'operazione come ad esempio nell'ambito delle attività del Master Degree Course on "Geophysical Sciences for Seismic Risk" (Corso di Laurea Magistrale Classe LM 79 – Scienze Geofisiche), a livello di attività didattiche, di tirocini e di tesi magistrali. Unime è altresì interessata all'eventuale attivazione di un Dottorato di Ricerca in Geofisica (o simile) in collaborazione con i Soggetti istituzionali coinvolti nella presente Convenzione;

**UniNA:**

- è un'università statale, in possesso dei requisiti strutturali, tecnologici, organizzativi e scientifici necessari per sviluppare, promuovere e diffondere conoscenze relative alla ricerca e all'innovazione nell'ambito delle Scienze della Terra e dello spazio circumterrestre,

in particolare presso il proprio Dipartimento di Scienze della Terra, delle Risorse e dell'Ambiente;

- ha tra i fini istituzionali, ai sensi del proprio statuto, la promozione e la realizzazione della ricerca e di attività didattiche e formative di livello superiore, nonché l'avvio degli studenti al mondo del lavoro e intende concorrere alla creazione di percorsi di studi che possano portare a percorsi di alta formazione;
- ha le risorse e le competenze necessarie per avviare percorsi di formazione superiore (master di I e II livello e corsi di dottorato di ricerca);
- ha competenze specifiche nell'area dello Stretto di Messina in particolare sull'analisi ed interpretazione di dati geologico-strutturali, e geomorfologici a terra finalizzata alla conoscenza del quadro delle faglie attive nell'Arco Calabro-Peloritano meridionale, sull'analisi di marker paleogeodetici (paleolinee di riva) deformati presenti nella fascia costiera per la ricostruzione della deformazione sia orizzontale che verticale nel medio (Olocene) e lungo (Pleistocene superiore) termine;
- ha precedentemente siglato un Accordo di Collaborazione Tecnico-Scientifica con altri soggetti, inclusi INGV e Unict, per la progettazione e realizzazione di campagne geofisiche off-shore per l'acquisizione di dati (profili sismici, batimetria) ad alta risoluzione relativi alla mappatura di faglie attive e alla loro correlazione con quelle presente a terra e sulla costa;
- ha attività in collaborazione con altri soggetti del presente accordo con i quali svolge attività finalizzata all'implementazione e interpretazione delle reti di monitoraggio geofisico e geodetico sulla base delle conoscenze geologiche esistenti;
- è in grado di realizzare analisi integrate dei dati geologici/geodetici/geofisici per la caratterizzazione dei processi geodinamici in atto nell'area dell'Arco Calabro-Peloritano meridionale;
- svolge, inoltre, attività di alta formazione (tirocini, dottorati di ricerca in consorzio, ecc.) in collaborazione con le altre parti;

**UniPA:**

- è un'università statale, in possesso dei requisiti strutturali, tecnologici, organizzativi e scientifici necessari per sviluppare, promuovere e diffondere conoscenze relative alla ricerca e all'innovazione nell'ambito delle Scienze della Terra e dello spazio circumterrestre, in particolare presso il proprio Dipartimento di Scienze della Terra e del mare (DiSTeM);
- ha tra i fini istituzionali, ai sensi del proprio statuto, la promozione e la realizzazione della ricerca e di attività didattiche e formative di livello superiore, nonché l'avvio degli studenti al mondo del lavoro e intende concorrere alla creazione di percorsi di studi che possano portare a percorsi di alta formazione;
- ha le risorse e le competenze necessarie per avviare percorsi di formazione superiore (master di I e II livello e corsi di dottorato di ricerca);
- ha competenze specifiche nell'area dello Stretto di Messina, legate ad una lunga tradizione di studi inerenti le rocce dell'Arco Calabro-Peloritano, le caratteristiche geochemiche delle mineralizzazioni idrotermali e delle sorgenti termali presenti nell'area;
- ha sviluppato studi volti ad indagare le relazioni intercorrenti fra anomalie geochemiche e tettonica attiva nell'area dello Stretto di Messina;

- ha condotto studi sugli effetti dell'antropizzazione con attenzione ai fenomeni di intrusione del cuneo salino negli acquiferi costieri;
- ha un accordo di collaborazione scientifica con altri soggetti, incluso INGV, per lo svolgimento di attività di ricerca finalizzate allo studio degli effetti a scala locale dei cambiamenti climatici globali;
- svolge, inoltre, attività di alta formazione (tirocini, tesi di laurea, dottorati di ricerca in consorzio, ecc.) in collaborazione con le altre parti.

**inoltre considerato che:**

- le Parti sono già legate da precedenti accordi di collaborazione;
- le Parti e/o i loro ricercatori già collaborano attivamente e hanno collaborato a vario titolo in programmi di ricerca nazionali ed internazionali;
- le Parti già collaborano nelle attività di formazione superiore, tramite la presenza di ricercatori dell'INGV nel Collegio dei docenti del corso di dottorato, nonché tramite il finanziamento da parte dell'INGV di borse di studio;
- le Parti s'impegnano a favorire e ad ottimizzare le collaborazioni con soggetti terzi, qualora le stesse siano d'interesse comune e finalizzate al perseguimento di un obiettivo comune, al fine di evitare la duplicazione delle medesime attività;
- le Parti, nell'ambito delle proprie competenze e nel rispetto dei principi di autonomia, intendono realizzare una collaborazione nell'interesse dello Stato e della collettività nazionale, fornendo in tal modo un utile contributo per la qualificazione del sistema universitario e della ricerca nelle scienze della Terra, dando applicazione puntuale e tempestiva ai principi di leale collaborazione tra le Pubbliche Amministrazioni di cui alle leggi nr. 59/1997 e 127/1997.

**Tutto ciò premesso e considerato, le parti convengono e stipulano quanto segue:**

***Articolo 1 (Premesse)***

Le premesse sono parte integrante e sostanziale della presente convenzione di cooperazione nello studio delle tematiche proprie delle Scienze della Terra nell'area dello Stretto di Messina e dell'arco Calabro-Peloritano.

***Articolo 2 (Oggetto dell'intesa)***

Le Parti intendono consolidare la collaborazione esistente tra le proprie strutture per valorizzare la sede INGV di Messina e le infrastrutture scientifiche INGV presenti sul territorio per costruire un polo di ricerca e formazione nelle aree disciplinari di comune interesse nell'area dello Stretto di Messina e dell'arco Calabro-Peloritano. Le finalità citate sono descritte nell'allegato 1 della presente convenzione e rappresentano un documento guida per lo sviluppo delle future attività.

Tale collaborazione prevede iniziative nel campo della didattica e/o della ricerca scientifica e le Parti potranno concordare di stipulare specifici accordi attuativi della presente convenzione che, nel rispetto dei regolamenti interni di ciascuna parte firmataria, regolamenteranno le forme di collaborazione, le modalità di realizzazione delle iniziative, le risorse umane, strumentali e le eventuali risorse finanziarie messe reciprocamente a disposizione.

Le Parti si impegnano reciprocamente, secondo le rispettive normative e per quanto di competenza di ciascuno, a collaborare in ordine a:

- a) messa a disposizione materiali, attrezzature, personale e risorse finanziarie occorrenti per l'attuazione delle attività di ricerca di comune interesse;
- b) attività di insegnamento e ricerca nell'ambito dei rispettivi corsi di dottorato di ricerca in Scienze della Terra;
- c) attività di ricerca in progetti di alto livello scientifico;
- d) condivisione dei laboratori di interesse comune presenti presso gli enti.

### ***Articolo 3 (Impegni)***

Le Parti si impegnano:

- a) a progettare e a sostenere percorsi formativi universitari prevedendo l'eventuale coinvolgimento di personale altamente qualificato dell'INGV in attività di progettazione e di docenza, nel rispetto dei regolamenti universitari vigenti, anche con la possibilità di assegnare borse di studio;
- b) a collaborare in attività di ricerca, scambiando informazioni e ospitando, a vicenda, personale dell'altra istituzione presso laboratori e uffici;

L'INGV si impegna, in particolare, a completare la ristrutturazione della sede di Messina e identificare in essa spazi idonei ad accogliere ricercatori, dottorandi, assegnisti e collaboratori delle altre parti firmatarie nel rispetto delle normative legate alla sicurezza del lavoro.

### ***Articolo 4 (Corsi di laurea e di dottorato di ricerca)***

Le parti, nel rispetto della normativa vigente, possono stipulare apposite convenzioni per l'attivazione di corsi di dottorato, ovvero il finanziamento di borse di studio per l'iscrizione ai corsi di dottorato nell'ambito dell'offerta formativa dottorale attivata dalle Università del presente accordo ai sensi delle norme vigenti.

Ai fini del comma precedente, può essere prevista la partecipazione dei ricercatori INGV al Collegio dei docenti dei corsi di dottorato.

### ***Articolo 5 (Laboratori)***

Le parti si impegnano reciprocamente a consentire l'accesso facilitato per i ricercatori all'uso dei laboratori delle rispettive sedi, identificati in base agli aspetti scientifici di reciproco interesse oggetto di questa convenzione. I laboratori interessati, le modalità facilitate di accesso, nonché gli eventuali costi saranno oggetto di un successivo accordo attuativo, stipulato ai sensi di quanto previsto all'art. 2, secondo capoverso.

### ***Articolo 6 (Sede INGV di Messina)***

Con la stipula della presente convenzione, l'INGV si impegna a consentire al personale delle altre parti l'accesso nei locali della Sede di Messina.

### ***Articolo 7 (Durata della convenzione)***

La presente convenzione ha durata di 6 anni, a decorrere dalla data di sottoscrizione, e potrà essere rinnovata mediante accordo scritto tra le Parti. Le Parti potranno recedere o risolvere la convenzione in qualsiasi momento, previa comunicazione scritta da inviarsi alle altre parti, con anticipo di almeno 3 mesi. In caso di recesso, resta inteso l'obbligo di portare a termine le attività

previste già avviate e concordate nell'ambito della presente convenzione, anche mediante la stipula degli accordi attuativi di cui all'art. 2.

### ***Articolo 8 (Risorse per la convenzione)***

Per il conseguimento delle finalità e il raggiungimento degli obiettivi della presente convenzione, le Parti renderanno disponibili le proprie risorse strutturali (ed eventualmente finanziarie) e di personale necessarie alla realizzazione dei progetti esecutivi, mediante la stipula di appositi accordi attuativi di cui all'art. 2.

### ***Articolo 9 (Gruppo di Coordinamento)***

Per il raggiungimento degli obiettivi previsti, e al fine di coordinare gli interventi nei relativi ambiti, le Parti convengono di costituire un gruppo di coordinamento composto da un rappresentante per ogni struttura Universitaria e due dell'INGV, così composto:

- Coordinatore (INGV) Dr. Mario Mattia
- Per INGV Dr. Giulio Selvaggi
- Per UniCT il Prof. Carmelo Monaco;
- Per UniME il Prof. Giancarlo Neri;
- Per UniNA il Prof. Luigi Ferranti;
- Per UniPA il Prof. Paolo Censi.

Le attività del gruppo di coordinamento non sono soggette a retribuzione o indennità. Il gruppo di coordinamento inizialmente costituito durerà in carica tre anni e potrà proporre la stipula degli accordi attuativi di cui all'art. 2.

### ***Articolo 10 (Oneri finanziari)***

La presente convenzione non prevede oneri finanziari a carico delle Parti, pur lasciando libertà alle stesse di perfezionare accordi attuativi, finalizzati alla realizzazione di specifici progetti di ricerca e/o di didattica, anche attraverso le proprie strutture, nonché di contribuire, previa verifica della copertura finanziaria, alla realizzazione di progetti quali l'istituzione di borse di studio dedicate al dottorato di ricerca, nonché alla eventuale copertura di spese relative agli spazi dedicati. In caso di finanziamenti esterni le Parti potranno concordare una ripartizione delle quote spettanti a ciascuno.

### ***Articolo 11 (Contenziosi)***

Le Parti si impegnano a risolvere in via amichevole qualsiasi controversia dovesse sorgere dall'interpretazione e/o dall'applicazione della presente convenzione. In caso di mancato accordo, ogni eventuale controversia sarà devoluta all'autorità giudiziaria competente.

### ***Articolo 12 (Privacy)***

Ai sensi del Regolamento (UE) n. 679/2016, recepito con D. Lgs. 101/2018, le Parti dichiarano di essere reciprocamente informate che i dati forniti o comunque raccolti, anche verbalmente, in relazione alla presente convenzione saranno trattati in modo lecito e secondo correttezza, esclusivamente per il raggiungimento delle finalità di cui all'accordo, nonché per quelle previste dalla legge e dai regolamenti e connesse alla stipula dello stesso.

Il trattamento potrà essere effettuato sia tramite documentazione cartacea sia tramite documentazione elettronica; l'eventuale comunicazione dei dati sarà consentita ai soggetti pubblici e privati nelle sole circostanze previste dalla legge.

Le Parti dichiarano inoltre di garantire reciprocamente l'esercizio dei diritti e di essere consapevoli che il mancato conferimento dei dati potrà comportare l'impossibilità di dare esecuzione alla convenzione.

Titolari del trattamento sono le Parti come sopra individuate, denominate e domiciliate ex art. 4, paragrafo 1, punto 7 del Regolamento (UE) n. 679/2016.

### ***Articolo 13 (Codice etico e di comportamento)***

Le parti dichiarano di aver preso visione del "Codice etico" e del "Codice di comportamento" rispettivamente emanati e pubblicati sul sito web di ciascuna parte e di impegnarsi ad osservare e fare osservare ai propri collaboratori, per quanto compatibili con il ruolo e con l'attività svolta, gli obblighi di condotta in essi previsti, nonché di essere consapevole che la violazione di tali obblighi di condotta può costituire causa di risoluzione della presente convenzione, fermo restando l'eventuale risarcimento del danno.

### ***Articolo 14 (Registrazione e bollo)***

La presente convenzione sarà registrata solo in caso d'uso con spese a carico della parte richiedente. La presente convenzione è soggetta all'imposta di bollo sin dall'origine, che sarà assolta da INGV.

### ***Articolo 15 (Sottoscrizione della convenzione)***

Il presente atto viene redatto in unico originale e sottoscritto mediante firma digitale ai sensi dell'art. 15 della legge 241/1990.

Per quanto non specificato si fa riferimento alle norme vigenti.



(Frepoli et al., 1996) anche se longitudinalmente la porzione sismicamente attiva non supera i 250 km di lunghezza (dalla stretta di Catanzaro alla linea Vulcano-Tindari), meno della sua estensione verticale.

Lo *slab* non è rilevato a ovest e ad est sotto la Sicilia occidentale e l'Appennino meridionale, rispettivamente, a causa delle lacerazioni laterali della litosfera ionica in subduzione (c.d. STEP, Govers & Wortel, 2005). L'ACP e la sua radice continentale giocano il ruolo di backstop della placca superiore del sistema di subduzione. La sua migrazione verso sud-est è stata responsabile della crescita di un grande prisma di accrezione nel Mar Ionio (Arco Calabro Esterno, Fig. 1) a causa del progressivo raschiamento dei sedimenti precedentemente depositati sulla placca discendente.

Una grande quantità di dati geodetici raccolti nell'ultimo decennio, ha permesso ai ricercatori di comprendere e quantificare meglio questi processi, inclusi i movimenti delle placche su larga scala (es. Hollenstein et al., 2003; Caporali et al., 2011; Serpelloni et al., 2005; Devoti et al., 2011) e le deformazioni regionali lungo i loro confini (es. D'Agostino et al., 2004, 2011; Goes et al., 2004; Mattia et al., 2008, 2009, 2012; Serpelloni et al., 2010; Palano et al., 2012; Mastrolembo-Ventura et al., 2014).

I principali lineamenti di deformazione regionale attiva ricostruiti tramite studi geodetici e sismologici sono (Fig. 1): i) due fasce di contrazione orientate est-ovest, ubicate nel Mar Tirreno meridionale da Ustica alle Isole Eolie e lungo il confine settentrionale del Plateau Ibleo in Sicilia; ii) una fascia di convergenza obliqua tra la Calabria orientale e la Puglia, che suggerisce il movimento in corso del prisma di accrezione; iii) una fascia di transtensione lungo il Canale di Sicilia; iv) una fascia di estensione nel settore tirrenico della Calabria fino allo Stretto di Messina; v) due zone di taglio obliquo lungo il sistema di faglie di Tindari e lungo la Stretta di Catanzaro.

Dunque, sia i dati sismologici che quelli geodetici e geologici evidenziano la presenza di un dominio contrazionale nell'*offshore* siciliano settentrionale della Sicilia e di un dominio estensionale nella Sicilia nord-orientale e nella Calabria sud-occidentale, separati dalla zona di taglio di Tindari (Neri et al., 2004; Pondrelli et al., 2006; Ferranti et al., 2008; Mattia et al., 2009; Serpelloni et al., 2010; Cuffaro et al., 2011; Aloisi et al., 2012; Barreca et al., 2014; Cultrera et al., 2017a, b; Ferranti et al., 2017). Mentre è ampiamente accettato che il dominio contrazionale sia connesso alla convergenza tra Europa da un lato e Sicilia o Nubia dall'altro, le cause dell'estensione nell'ACP sono ancora dibattute. Sono stati suggeriti vari processi che vanno dal *rifting* (Tortorici et al., 1995; Monaco e Tortorici, 2000; Jacques et al., 2001), all'estensione di retro-arco nel Mar Tirreno meridionale collegata alle dinamiche di *roll-back* dello *slab* ionico (Doglioni et al., 1999; Gvirtzman e Nur, 1999; Neri et al., 2003), alla risposta crostale al forte sollevamento regionale innescato da processi mantellici (Ghisetti, 1992; Westaway, 1993; Ferranti et al., 2010), alla risposta alla rotazione antioraria del blocco ionico (D'Agostino e Selvaggi, 2004; Goes et al., 2004).

La transizione tra i due domini avviene lungo il sistema di faglie di Tindari, la cui attività crostale con cinematica transtensiva obliquo-destra è ben caratterizzata da dati strutturali, sismologici, e geodetici nella sua porzione settentrionale, dalle isole di Lipari e Vulcano fino alla zona assiale dei Monti Peloritani (Neri et al. al., 2005; Billi et al., 2006; Giammanco et al., 2008; Mattia et al., 2009; De Guidi et al., 2013; Barreca et al., 2014; Cultrera et al., 2017a, b). Questa

importante struttura è stata interpretata come parte di una zona crostale di trasferimento destro tra la fascia contrazionale della Sicilia settentrionale-Mar Tirreno meridionale e il cuneo di accrezione nel Mar Ionio al largo della Calabria orientale (Goes et al., 2004; Neri et al., 2004; Billi et al., 2006), o come una struttura litosferica che delimita il bordo occidentale dello *slab* ionico in subduzione (Nicolich et al., 2000, Doglioni et al., 2001; Faccenna et al., 2004; Rosenbaum et al., 2008; Chiarabba et al., 2008; Polonia et al., 2016; Barreca et al., 2019).

Diversi autori estendono la continuazione meridionale del sistema di faglie fino alla costa ionica della Sicilia vicino al Monte Etna e lo collegano al sistema di faglie della scarpata Ibleo-Maltese, attivo al largo della Sicilia sud-orientale (Lanzafame e Bousquet, 1997; Hirn et al., 1997; Grivtzman & Nur, 1999; Doglioni et al., 2001; Palano et al., 2012).

## **2. Lo Stretto di Messina**

Lo Stretto di Messina è una depressione strutturale con andamento NNE-SSO, di forma sigmoidale, lunga circa 40 km e di larghezza variabile da 3 km, a nord, a 16 km, a sud. La forma attuale è legata alla tettonica estensionale che ha interessato il settore crostale tirrenico dell'ACP a partire dal Pleistocene inferiore (v. sopra). L'estensione, caratterizzata da direzione ONO-ESE (Tortorici et al., 1995; Monaco & Tortorici, 2000; Jacques et al., 2001), è stata accompagnata da un significativo sollevamento dell'ACP e dalla formazione di depressioni strutturali longitudinali delimitate da faglie normali, tra cui i bacini del Crati, del Mesima, di Gioia Tauro e dello Stretto di Messina (Ghisetti & Vezzani, 1982; Ghisetti, 1984; Monaco & Tortorici, 2000).

Le rispettive faglie bordiere della Catena Costiera, delle Serre, Cittanova, Scilla, Reggio Calabria e Armo (Fig. 2) sono state caratterizzate da un'attività tardo-quadernaria (Westaway, 1993; Tortorici et al., 1995; Monaco & Tortorici, 2000; Jacques et al., 2001; Ferranti et al., 2007; 2008; Aloisi et al., 2012; Galli & Peronace, 2015) alla quale è stata associata una forte sismicità storica (es. eventi del 1783 e del 1908, vedi CPTI15 e Rovida et al., 2019). L'estensione crostale lungo il settore tirrenico dell'ACP persiste fino ai nostri giorni come documentato dalle soluzioni normali di terremoti con  $M > 5,5$  che si verificano nell'area (Gasparini et al., 1982; Dziewonski et al., 1987; Pondrelli, 2006; Presti et al., 2013; Scarfi et al., 2016; 2020) e le velocità geodetiche differenziali misurate (D'Agostino & Selvaggi, 2004; Mattia et al., 2009; Serpelloni et al., 2010; D'Agostino et al., 2011; Palano et al., 2012; Mastrolembo-Ventura et al., 2014).

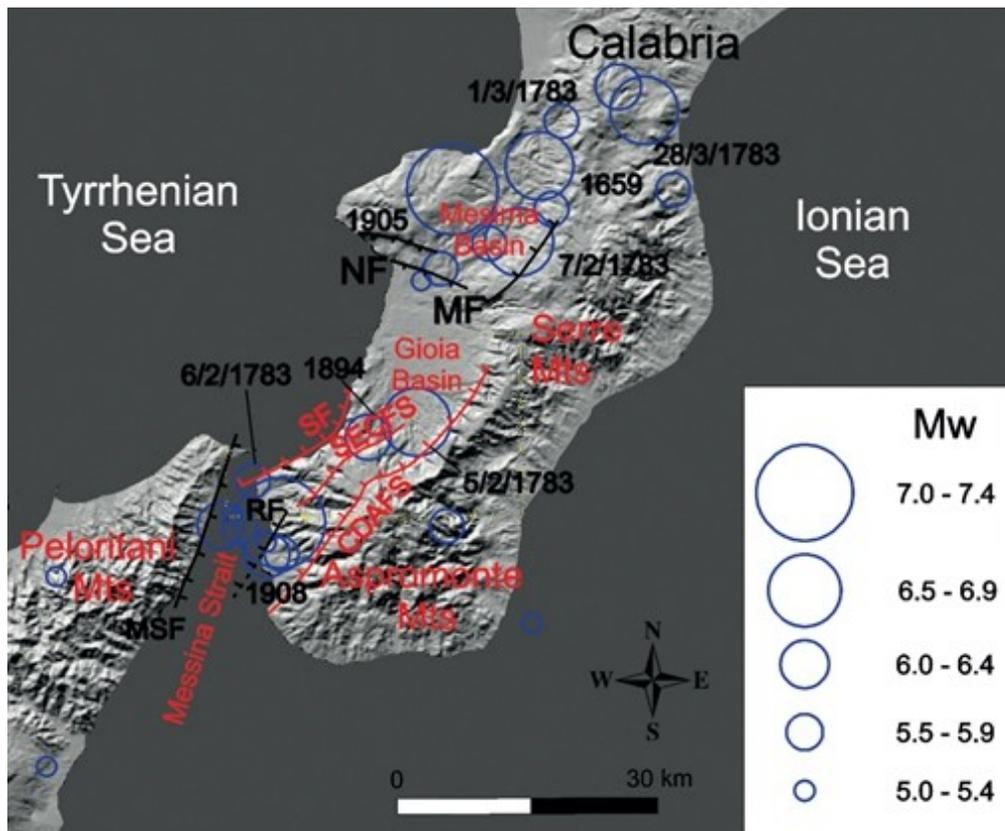


Fig. 2 - DEM riportante le principali eventi sismici e sistemi di faglia della Calabria meridionale. MF =Mesima- Serre Fault; NF =Nicotera Fault; CDAFS = Cittanova-Delianuova-Armo Fault System; SF = Scilla Fault; SECFS =Santa Eufemia-Calanna Fault System; RF =Reggio Fault; MSF = Messina Fault.

Come evidenziato da diversi studi tettono-stratigrafici effettuati a terra e a mare (Tortorici et al., 1995; Monaco et al., 1996; Monaco & Tortorici 2000; Lentini, 2000), la formazione del bacino estensionale dello Stretto di Messina può essere fatta risalire a 0,8 - 0,6 Ma fa. La successione stratigrafica è caratterizzata da numerose discordanze e intercalazioni di breccie nei depositi marini a continentali, che suggeriscono un'attività sin-sedimentaria delle faglie bordiere (Monaco et al., 1996; Lentini, 2000). La successione di chiusura del bacino è costituita da un enorme volume di depositi caratterizzati da strutture sedimentarie di *fore-set*, di tipo *Gilbert fan delta*, del Pleistocene medio (Barrier, 1987), localmente noti come Ghiaie e Sabbie di Messina, ampiamente affioranti su entrambi i lati dello Stretto.

I *top-set* sono costituiti da depositi fluvio-costieri terrazzati del Pleistocene superiore, che testimoniano la definitiva emersione dei blocchi di letto della depressione (Monaco et al., 2017). Il tasso di sollevamento stimato di 1-2 mm /anno è tra i più veloci documentati nell'area mediterranea ed è stato associato a segnali combinati, regionali a lungo termine e locali correlati ad attività di faglie a breve termine (Westaway, 1993; Ferranti et al., 2007; 2008; 2017). In particolare, il contributo locale è attribuito all'attività tardo-quadernaria delle faglie normali che hanno sollevato i settori *onshore* orientale e occidentale dello Stretto di Messina. L'evidenza superficiale delle strutture tettoniche è maggiore sul lato calabrese, dove diverse strutture orientate SO-NE (ad es. le faglie di Armo, Reggio Calabria e Scilla) sembrano mostrare attività recente, come suggerito

dall'analisi strutturale (Ghisetti & Vezzani, 1982; Ghisetti, 1981; 1984; Tortorici et al., 1995; Aloisi et al., 2012) e da studi di tettonica costiera (Ferranti et al., 2007; 2008; Scicchitano et al., 2011).

Restano invece dubbie le prove di attività recente delle faglie nel versante siciliano, poiché la deformazione lungo pochi e sparsi segmenti di faglia non sembra aver coinvolto sedimenti più giovani del Pleistocene medio. Rimangono inoltre notevoli incertezze riguardo alla continuazione delle faglie rilevate a terra, in entrambi i lati dello Stretto, verso l'*offshore*, anche se dati batimetrici e geofisici sono stati utilizzati da vari autori (ad es. Del Ben et al., 1996; Argnani et al., 2009; Doglioni et al., 2012; Ridente et al., 2014) per ipotizzare la presenza di faglie attive. Dati geodetici suggeriscono comunque che lo Stretto si stia estendendo a una velocità di 1,5 - 3,4 mm / a in direzione ONO-ESE (D'Agostino e Selvaggi, 2004; Mattia et al., 2009).

### 3. Modelli di sorgente del terremoto del 1908

Il terremoto di Reggio Calabria e Messina del 28 dicembre 1908 è stato uno dei più forti (MW 7,1) mai verificatisi in Italia, ed è stato seguito da uno tsunami che ha gravemente colpito le coste dello Stretto. Sebbene vi sia un accordo generale sul fatto che il suo epicentro sia situato in mare nello Stretto di Messina, la faglia sorgente non è mai stata ricostruita in modo certo. I sismogrammi disponibili registrati da 110 stazioni sismiche distribuite a livello globale sono stati utilizzati negli ultimi decenni da diversi autori per proporre un meccanismo di rottura per questo evento (Schick, 1977; Caputo, 1979; Gasparini et al., 1982; Mulargia & Boschi, 1983; Bottari et al., 1986; Boschi et al., 1989; De Natale & Pingue, 1991; Pino et al., 2000; Amoruso et al., 2002; Michelini et al., 2005, Pino et al., 2009).

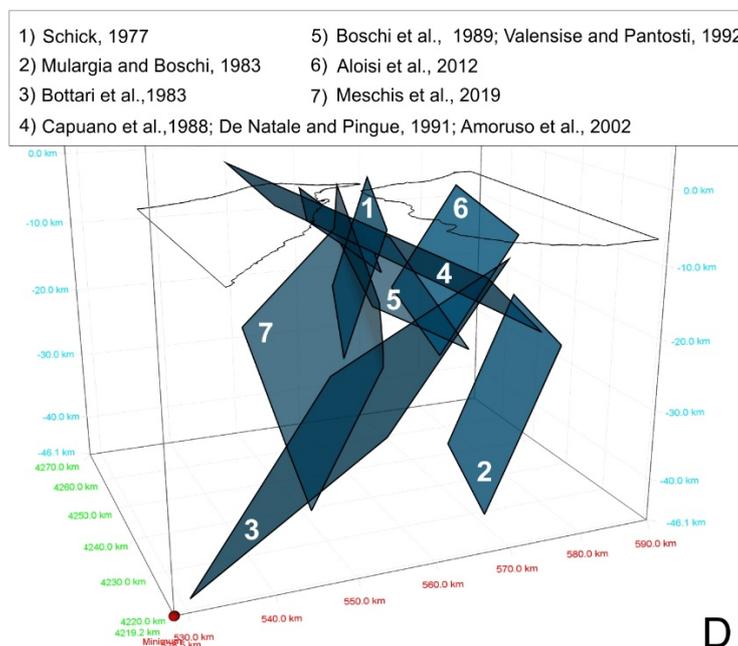


Fig. 3 - Vista prospettica da sud di modelli di sorgente dell'evento sismico del 1908 (da Barreca et al., 2021).

A parte i meccanismi di faglia proposti, che differiscono leggermente l'uno dall'altro per quanto riguarda i parametri di faglia (ad es. direzione, immersione e lunghezza della faglia), vi è

consenso su una rottura estensionale su un piano orientato NNE-SSO. Al contrario, l'inversione dei dati di livellazione (Loperfido, 1909) e del campo macrosismico (Baratta, 1910) ha condotto a modelli di sorgente diversi e spesso contrastanti (Fig. 3). In effetti, i modelli vanno da due faglie normali, con immersione opposta e con diverso angolo di inclinazione (Mulargia & Boschi, 1983; Aloisi et al., 2012), a una faglia cieca a basso angolo immergente verso est, ubicata nel lato siciliano (Capuano et al., 1988; De Natale & Pingue, 1991; Boschi et al., 1989; Valensise & Pantosti, 1992; Amoruso et al., 2002) o a una faglia ad alto angolo immergente verso ovest, ubicata sulla terraferma calabrese (Aloisi et al., 2012) o lungo lo Stretto (Shick, 1997).

Il campo macrosismico insieme alle indagini strutturali e morfotettoniche è stato invece utilizzato da altri autori per ipotizzare la rottura lungo una faglia orientata SO-NE, immergente verso ovest e ubicata nel lato calabrese dello Stretto (Bottari et al., 1986; Ghisetti, 1984; 1992; Westaway, 1992; Tortorici et al., 1995; Bottari, 2008). Questa ipotesi è stata supportata, oltre dai dati di campagna, dal più alto grado di danno in Calabria meridionale dove sono stati registrati anche significativi cedimenti e fratture cosismiche del terreno (Monaco & Tortorici, 2007; Blumetti et al., 2008). Inoltre, il maggiore sollevamento dei terrazzi marini in Calabria meridionale rispetto a quelli del versante siciliano dello Stretto (Ferranti et al., 2006; Monaco et al., 2017), potrebbe essere a favore di uno scenario sismotettonico dominato da attività lungo faglie normali immergenti verso ovest.

Utilizzando informazioni aggiuntive come la sismicità e i dati morfotettonici, Aloisi et al. (2012) hanno ipotizzato che le faglie dell'Armo e di S. Eufemia facessero parte di una grande struttura crostale riattivata durante il terremoto del 1908. Un lavoro di recente pubblicazione (Meschis et al., 2019) propone invece una rottura lungo la cosiddetta faglia Messina-Taormina, una struttura lunga 70 km che corre a ridosso della costa ionica siciliana. La modellazione analogica che riproduce l'architettura strutturale dello Stretto (Bonini et al., 2011) ha suggerito che faglie normali ad alto e basso angolo potrebbero coesistere nello stesso quadro tettonico.

Il modello prevede che lo scivolamento su una faglia principale a basso angolo immergente verso est potrebbe essere accompagnato dalla formazione di un graben con strutture secondarie antitetiche ad alto angolo nel blocco di tetto, immergenti verso ovest. Tuttavia, l'angolo di attrito interno di  $24^\circ$  adottato per il materiale che riproduce la zona di faglia a basso angolo non è a favore di uno scivolamento cosismico lungo questa struttura.

In assenza di prove certe di fagliazione superficiale, le misure di livellazione del 1907-1909 (Loperfido, 1909) hanno rappresentato per lungo tempo gli unici dati di input per la modellazione delle sorgenti. Tuttavia, un problema a lungo ignorato è che alcuni dei capisaldi possano essere stati deformati da movimenti gravitativi, ugualmente in grado di generare la deformazione superficiale osservata (De Stefani, 1910; Aloisi et al., 2014). Considerato lo stato dell'arte e ritenuta probabile l'ubicazione della sorgente in mare (con implicazioni nello sviluppo di ulteriori tsunami distruttivi, v. Ridente et al., 2014), i recenti studi di geologia marina nell'area dello Stretto di Messina hanno reso possibile una nuova proposta di sorgente lungo l'asse dello Stretto (Barreca et al., 2021, Fig. 4).

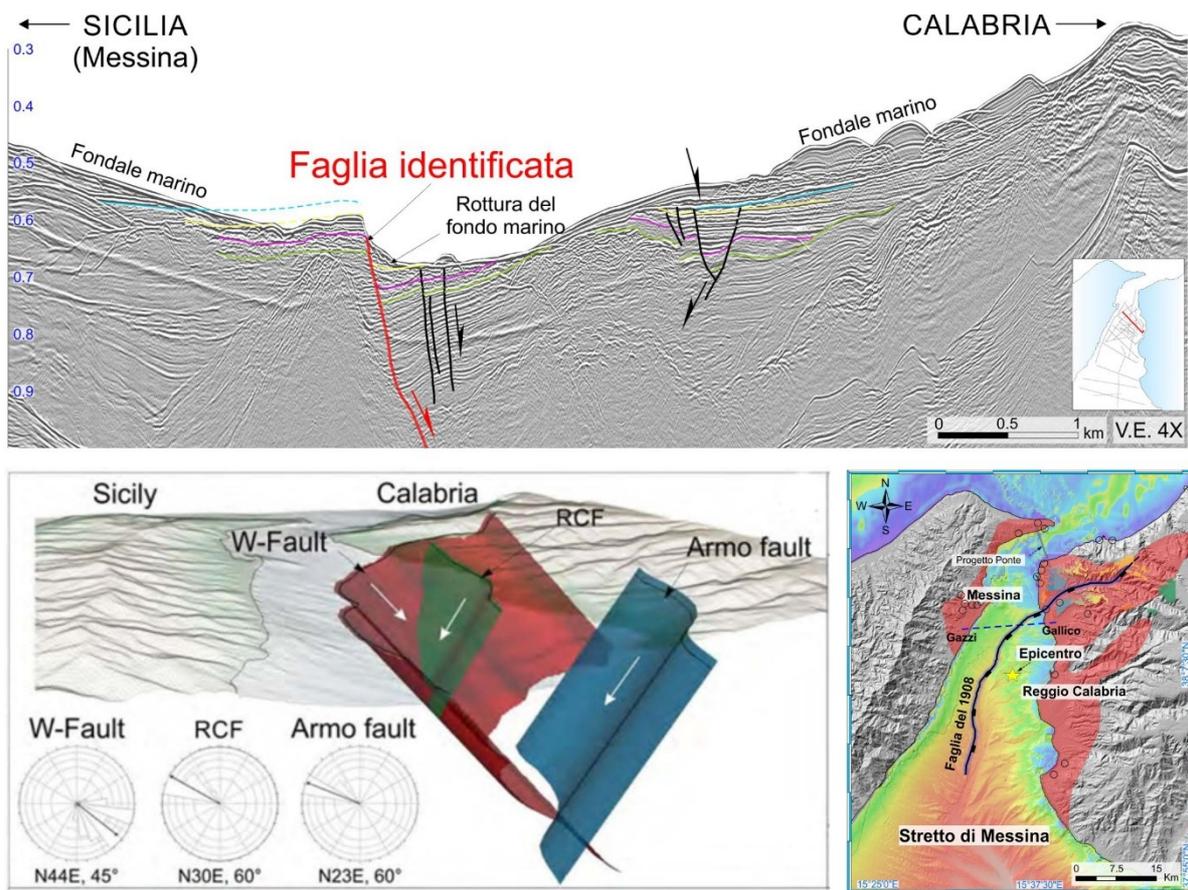


Fig. 4 – Nuova proposta di modello per la sorgente del terremoto del 1908 (da Barreca et al., 2021).

Inoltre, le reti di monitoraggio vanno potenziate con l'obiettivo di costruire un Near Fault Observatory nell'area di uno dei più importanti terremoti al mondo, finalizzato a definire la struttura geologica, tettonica e il comportamento delle strutture sismogenetiche dell'area. Accanto agli aspetti strutturali e deformativi, le reti geochemiche presenti nell'area permetteranno di studiare e individuare le aree a degassamento anomalo connesse a sistemi tettonici attivi e l'identificazione dell'influenza dell'assetto geologico strutturale sui modelli di circolazione delle acque sotterranee. In sostanza, nell'area dello Stretto, cioè in una delle aree a maggiore rischio sismico, potrà essere disponibile un sistema di monitoraggio multidisciplinare denso fondamentale anche nell'ottica dello sviluppo di infrastrutture per l'attraversamento dello Stretto di Messina.

#### 4. Il contributo della geodesia

Come già citato, il terremoto del 1908 è stato uno dei primi i cui effetti, in termini di deformazione cosismica, siano stati osservati e misurati per mezzo di una livellazione geometrica (Loperfido, 1909). In realtà, la presenza di anomalie rilevabili per mezzo di strumentazione geodetica nell'area dello Stretto di Messina non si limita alle misure di Loperfido, ma si può retrodatare addirittura al diciannovesimo secolo, grazie alle misure di variazione del livello del mare operate per mezzo di una rete abbastanza diffusa (Omori, 1913, Bottari et al., 1992). In particolare,

grazie alle misure mareografiche, sono stata osservate variazioni del livello del mare tra il 1883 ed il 1922, che hanno mostrato tre distinte fasi (pre-sismica, co-sismica e post-sismica).

Grazie a questi dati, è stato possibile, attraverso modellizzazione analitica, ricostruire la geometria e la cinematica delle faglie che avrebbero generato il terremoto del 1908, aspetto di notevole importanza, visto che questo terremoto non ha lasciato segni visibili sul terreno legati alla dislocazione della faglia (o delle faglie) che lo hanno generato. I modelli, tuttavia, in relazione allo sviluppo delle tecniche di inversione e a varie ipotesi sulla “sensibilità” delle misure verticali rispetto all’attendibilità dei risultati, non sono univoci, e infatti a questi lavori di tipo geodetico-matematico si è spesso associata una analisi di tipo geologico-strutturale a sostegno delle varie ipotesi formulate.

Nel corso dello scorso secolo sono state avviate diverse iniziative da parte di vari gruppi di ricerca che hanno avuto come strumento di lavoro la realizzazione di reti geodetiche finalizzate al miglioramento dei modelli proposti ed alla individuazione di pattern anomali nella distribuzione delle deformazioni, da ricollegare al ciclo sismico delle faglie presenti tra la Calabria meridionale e la Sicilia. Le reti misurate a far data dagli anni '70 sono molte (e.g. Caputo et al., 1974, Achilli et al. 1986, Achilli et al., 1988, Anzidei et al., 1996, Mattia et al., 2006, Mattia et al., 2009) e, se inizialmente le misure tra i caposaldi venivano eseguite per mezzo di tecniche distanziometriche tipo EDM (Electroptical Distance Meter), l’avvento delle misure basate sull’uso dei segnali di codice e fase provenienti dai satelliti della costellazione GPS (Global Positioning System) ha costituito una svolta importante, grazie al fatto che questa tecnica non necessita dell’intervisibilità tra i caposaldi e la massima distanza misurabile è estremamente lunga.

E’ da sottolineare che le prime misure geodetiche distanziometriche misurate negli anni '70 dello scorso secolo furono finanziate appositamente nell’ambito dei progetti di attraversamento stabile dello Stretto per mezzo di un ponte. Nel 1994, l’ISMES, nell’ambito della realizzazione delle infrastrutture di monitoraggio vulcanico e sismico della Sicilia Orientale per il progetto POSEIDON, realizzò una rete mista di caposaldi in cemento armato intervisibili tra loro (rete master) e caposaldi in acciaio intervisibili con almeno un caposaldo master.

A cavallo dello Stretto di Messina è presente una di queste reti realizzate dall’ISMES e costituita da soli caposaldi del tipo “master” (Mattia et al., 2006). Questa rete è stata misurata finora tre volte (2001, 2003, 2008) da parte della sezione di Catania INGV e consta di 14 pilastrini e tre caposaldi situati in area peloritana. Dal 2004, nell’ambito del progetto CESIS, è iniziato lo sviluppo della rete permanente GPS che è stata poi ulteriormente sviluppata nell’ambito dei programmi di potenziamento delle infrastrutture di monitoraggio INGV finanziati dalla Regione Siciliana, nell’ambito del PON VULCAMED, e, recentemente, nell’ambito del PON GRINT.

In **Fig. 5** viene mostrata l’attuale configurazione della rete GNSS (da quando i ricevitori sono in grado di ricevere informazioni da satelliti non-GPS come GLONASS, Galileo e BEIDOU, si parla di GNSS, ovvero Global Navigation Satellite Systems).



*Fig. 5: Rete GNSS dell'area comprendente la Sicilia nord-orientale e la Calabria centro-meridionale*

Come già detto, anche altri Enti hanno realizzato reti non permanenti GNSS, tra queste si segnala quella dell'IGM95, di recente rimisurata dal laboratorio di Geodinamica e Geomatica dell'Università di Catania (Fig. 6), di recente realizzazione.

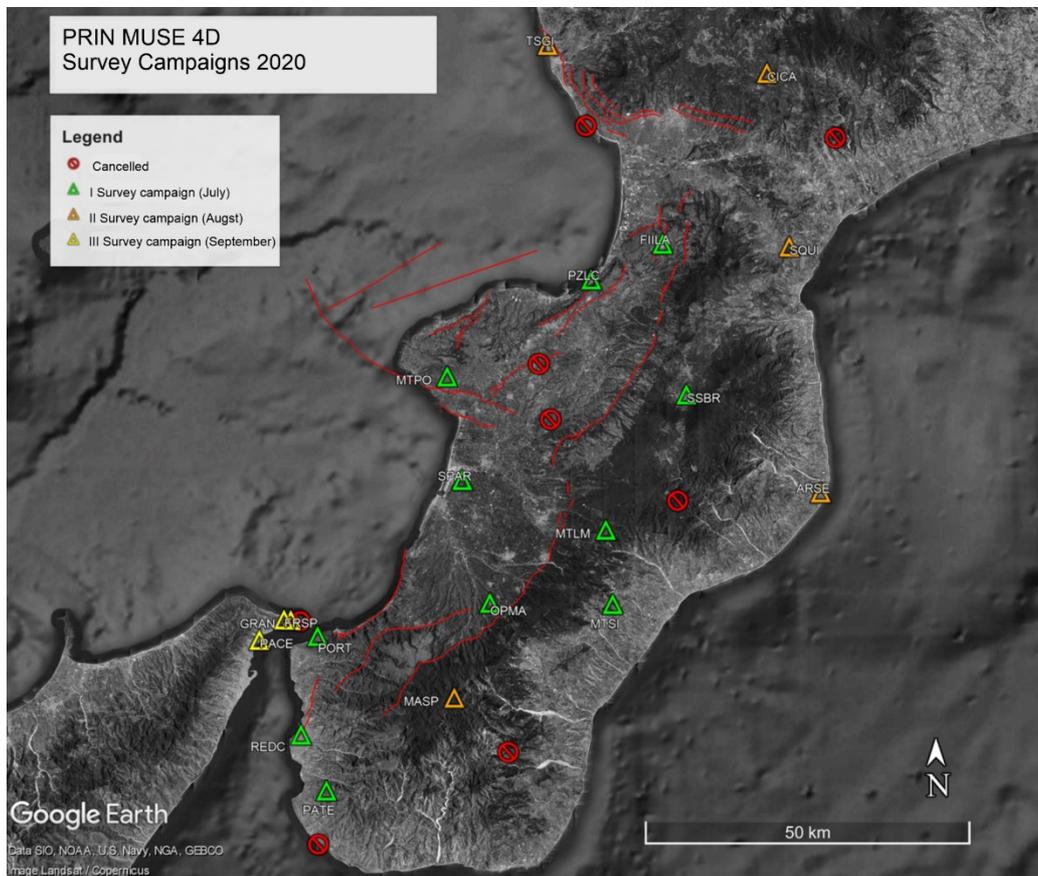
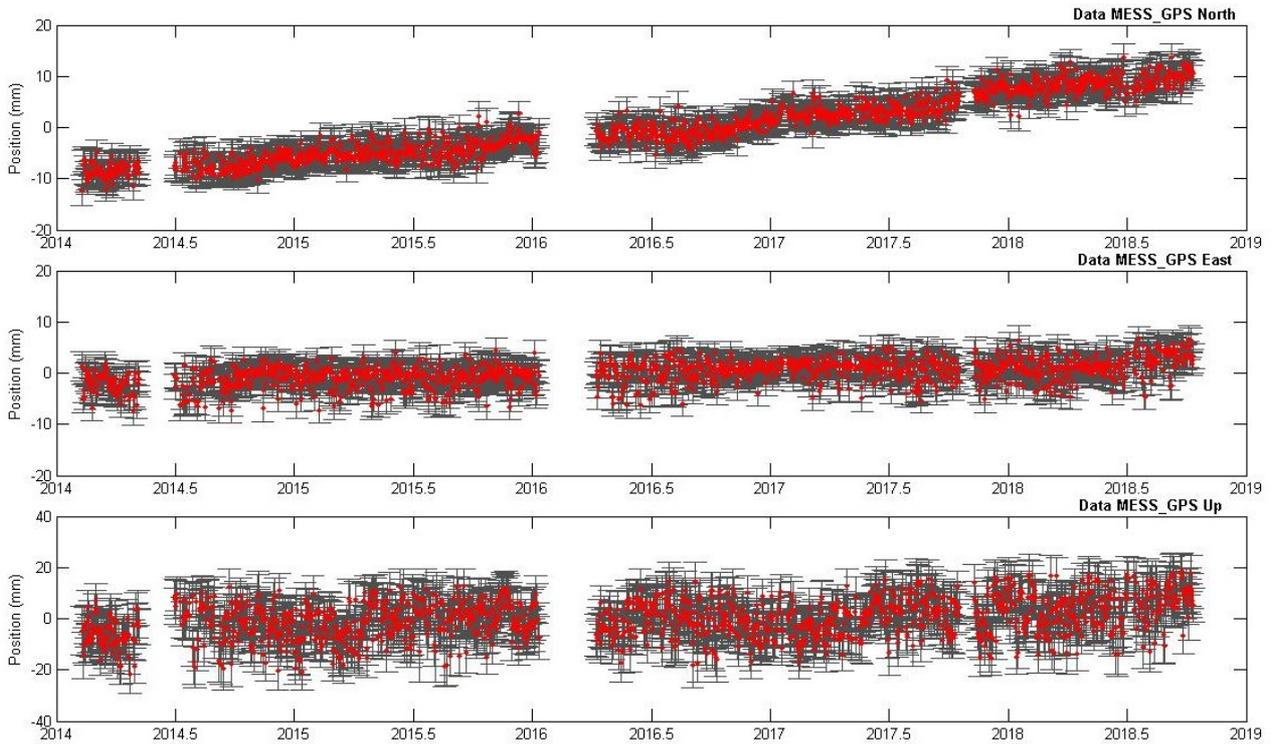


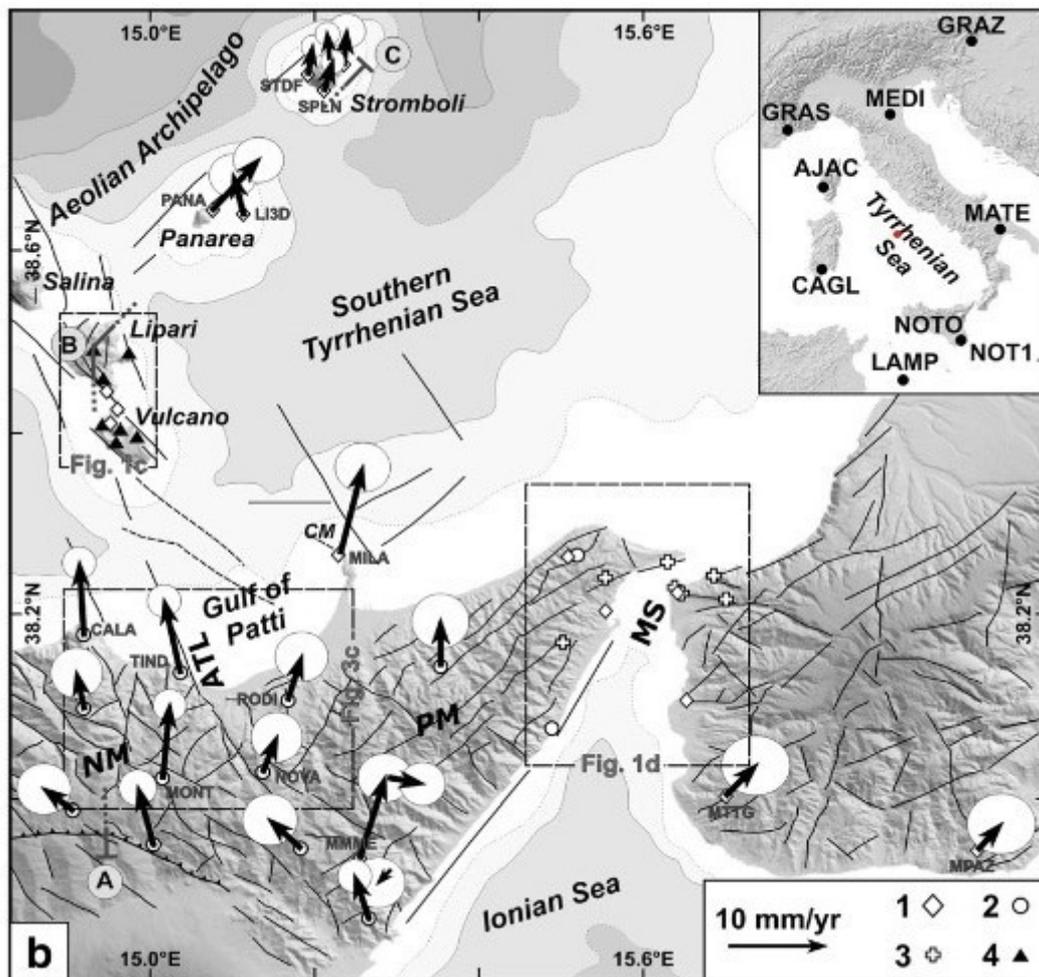
Fig. 6 Rete IGM95, con indicazione delle nuove campagne di misurazione da parte del laboratorio di Geodinamica e Geomatica dell'Università di Catania nell'ambito del progetto PRIN MUSE 4D.

Il prodotto principale delle reti permanenti GNSS sono le serie temporali come, ad esempio, quella relativa alla stazione MESS (Messina) e situata proprio nell'area dell'Osservatorio (Fig. 6).



*Fig. 6: Serie temporale delle componenti NS, EW ed Up della stazione MESS*

Dalle serie temporali è possibile ricavare, attraverso opportuni filtraggi volti ad eliminare misure errate (outliers) e componenti stagionali nel segnale, il campo di velocità, dal quale possiamo ricavare informazioni sulla cinematica delle faglie e sulla geodinamica dell'area in esame (Fig. 7).



*Fig. 7: Campo di velocità della Sicilia nordorientale e della Calabria meridionale per il periodo 1996-2008 (da Mattia, M., et al., Crustal motion along the Calabro-Peloritano Arc as imaged by twelve years of measurements on a dense GPS network, Tectonophysics (2009))*

## 5. Il contributo della geochimica

Nonostante l'estrema rilevanza dell'area dal punto di vista delle relazioni tra circolazione di geofluidi ed attività tettono-sismica, gli studi geochimici ad oggi condotti sono poco numerosi e fondamentalmente classificabili come prodotti di "geochimica di esplorazione", volti cioè ad identificare in via preliminare siti di potenziale interesse ai fini del monitoraggio della neotettonica. A questi si aggiungono altri studi di carattere più generale, con una vocazione di geochimica ambientale

Italiano et al. (2010) hanno analizzato la composizione chimica ed isotopica di 60 campioni di acque fredde e termali, e dei relativi gas disciolti, prelevati tra il 1993 ed il 2007 nell'Appennino Calabro; tra questi, quelli ubicati in prossimità dei lineamenti Bagnara Calabria-Bovalino e Nicotera-Gioiosa Jonica riguardano l'area dello Stretto di Messina. I risultati delle indagini hanno evidenziato la presenza di una circolazione idrica sotterranea in cui una componente meteorica superficiale si mescola con fluidi idrotermali, la cui origine viene comunque essenzialmente

confinata a livello crostale, gettando così le basi conoscitive preliminari per lo sviluppo di future strategie di monitoraggio.

L'unico studio condotto ad oggi nell'area che si sia occupato direttamente di circolazione di fluidi ed attività sismica è dovuto a Camarda et al. (2016). Questi hanno studiato le variazioni nel degassamento di CO<sub>2</sub> dal suolo pilotate dal campo di stress crostale, attraverso misure discrete e dati in quasi real-time acquisiti in punti di monitoraggio dislocati in varie aree della Sicilia. Fra queste è inclusa l'area di Tindari con il relativo sistema di faglie. Evidentemente, i dati registrati tra il 2012 ed il 2014 mostrano una correlazione significativa tra attività sismica e rilascio di CO<sub>2</sub> dal suolo.

Un successivo studio di Italiano et al. (2019) è stato indirizzato all'analisi dei gas disciolti e gorgoglianti nelle acque sotterranee provenienti da 158 tra pozzi, sorgenti e polle ubicati nei Monti Nebrodi e Peloritani. I dati mostrano apporti di fluidi profondi, verosimilmente provenienti dal Mantello, associati a fluidi crostali di provenienza meteorica ed idrotermale. Questi risultati sono quindi differenti da quelli relativi all'area dello Stretto dove apporti di fluidi mantellici non era stato evidenziato (Italiano et al., 2010).

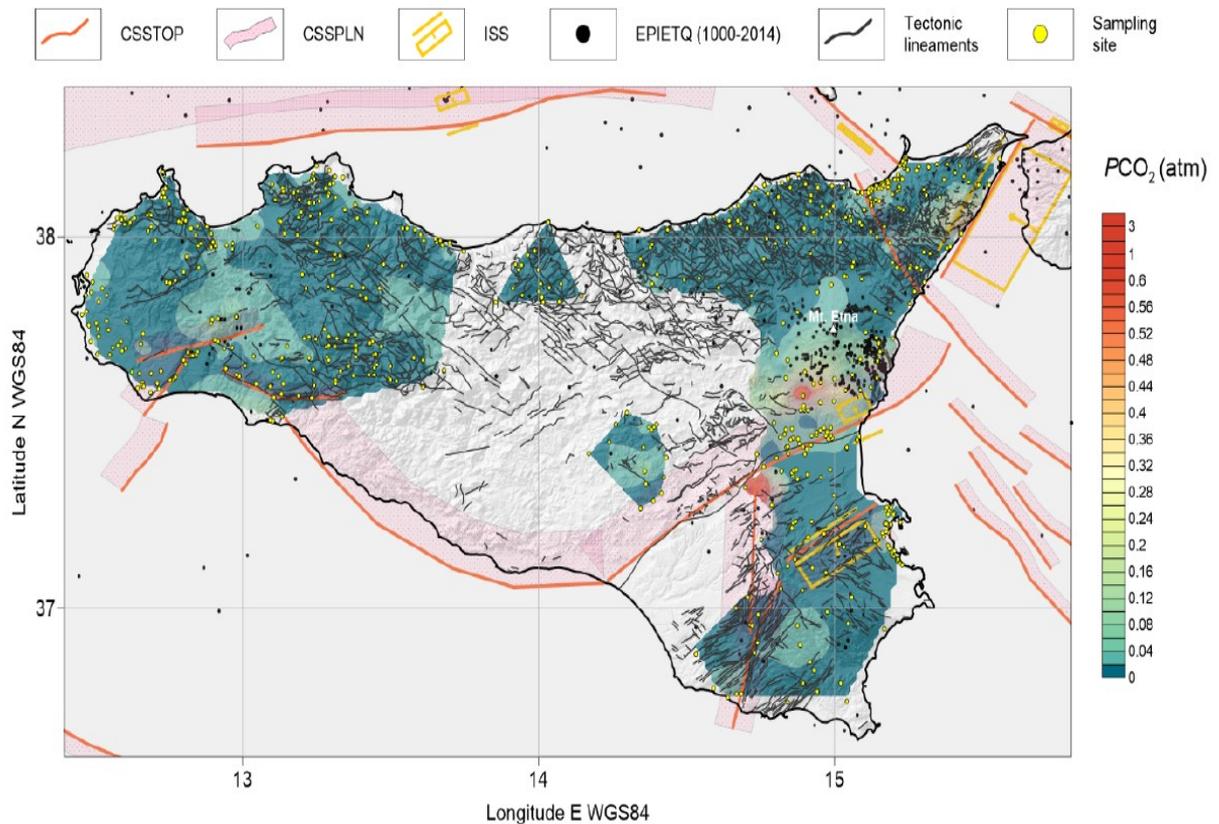
Più recentemente, Cangemi et al (2020) hanno studiato la qualità delle acque sotterranee della Sicilia nell'ambito della convenzione tra Dipartimento Acque e Rifiuti (DAR) della Regione Siciliana ed INGV. Il risultato dello studio è consistito nel realizzare una mappa regionale della distribuzione della pressione parziale di CO<sub>2</sub> nelle acque stilata in base ai calcoli effettuati su oltre 600 dati integrati fra analisi compiute nell'ambito della convenzione INGV-DAR ed altre inedite o precedentemente pubblicate. La mappa realizzata a scala regionale riesce quindi a porre in relazione le aree ove è presente un degassamento anomalo di CO<sub>2</sub> con la distribuzione dei terremoti storici (desunta dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione CPTI15). Le evidenze riscontrate da questa comparazione sono state poste in relazione alla localizzazione delle principali strutture sismogenetiche desunte dal Database of Individual Seismogenic Sources (versione 3.2.1).

I risultati di quest'analisi complessiva evidenziano la similarità esistente tra strutture vulcaniche, aree ad elevata tettonicità e zone a degassamento anomalo. Nella zona dello Stretto di Messina il comprensorio di Ali-Fiumedinisi è quello degno di maggiore attenzione (Fig. 8). Questo fatto trova riscontro nei risultati di diverse indagini petrografiche e geochimiche condotte negli anni '70, '80 e '90 che hanno dimostrato l'esistenza di un vasto sistema idrotermale presente nell'area di Ali-Fiumedinisi (Ferla, 1982-83; Omenetto et al., 1988; Censi & Ferla, 1989 Ferla & Omenetto, 2000).

Studi geochimici più recenti sono stati indirizzati alla ricostruzione tramite metodologie isotopiche delle aree di alimentazione degli acquiferi sotterranei (Liotta et al., 2013; Madonia et al., 2021), alla distribuzione di elementi minori ed in tracce nelle acque sotterranee in modo da valutarne presenza, potenziale pericolosità e discriminando fra origine geogenica ed antropogenica (Cangemi et al., 2019; Dongarrà et al., 2009).

Purtroppo, un'analisi a posteriori delle aree indagate e dei relativi punti di campionamento mostra come un quadro generale incompleto e frammentario con l'area dello Stretto di Messina vera e propria solo limitatamente oggetto di indagini. Inoltre gli studi sin qui condotti sono

essenzialmente di natura esplorativa, volti ad individuare siti potenzialmente rilevanti per il monitoraggio ambientale e dell'attività neotettonica ma del tutto mancanti di analisi delle variazioni temporali dei parametri acquisiti, ad eccezione del lavoro di Camarda et al. (2016), che riguarda però il sistema di faglie di Tindari e non l'area dello Stretto di Messina vera e propria.



*Fig. 8: Mappa del degassamento di CO<sub>2</sub> dalle acque sotterranee, distribuzione della sismicità storica e principali lineamenti tettonici della Sicilia (da Cangemi et al., Water 2020, 12, 1959; doi:10.3390/w12071959).*

## 6. La rete della Società Stretto di Messina.

La rete risulta costituita da 160 fori inclinometrici, dei quali 120 in Sicilia e 40 in Calabria (Fig. 9) e 66 fori piezometrici, dei quali 55 in Sicilia e 11 in Calabria (Fig.10).



*Fig. 9: Ubicazione dei fori inclinometrici della rete ex Società Stretto di Messina.*



*Fig. 10: Ubicazione dei fori piezometrici della rete ex Società Stretto di Messina.*

La rete inclinometrica è composta da tubi inclinometrici in ABS, diametro interno 60 mm e diametro esterno 71 mm, suddivisa in elementi di lunghezza pari a 3m, per un totale di 6 m, completi di accessori (2.000 manicotti, 160 tappi di fondo, 160 tappi di testa. In ciascun tubo installato è posizionata una catena inclinometrica costituita da n° 5 sonde fisse biassiali, costituite da un corpo di acciaio inox munito di rotelle di guida con passo di 1000 mm (intervallo tra le rotelle), dotate di appositi sensori accelerometrici per la misura dell'inclinazione, disposti su due piani ortogonali tra loro, dei quali uno parallelo alle scanalature di guida e l'altro perpendicolare ad esse.

La rete piezometrica è composta da piezometri con tubazioni di diametro pari a 120 mm, con tratto drenante realizzato mediante ghiaietto siliceo arrotondato lavato e calibrato (diametro pari a 2-4 mm) per la lunghezza del tratto finestrato del tubo piezometrico. Tampone impermeabile realizzato con bentonite sodica (compactonite) cilindrica. I sensori della catena inclinometrica sono collegati, per ciascuna postazione di controllo, ad un'unità di acquisizione dati locale ADK-100.

La rete di monitoraggio clinometrica, sulla base dell'osservazione dell'ubicazione dei siti di misura, sembra destinata principalmente al monitoraggio delle aree in dissesto lungo le coste calabre e siciliane. Da questo punto di vista anche la strumentazione utilizzata è di tipo "ingegneristico" nel senso che si tratta di strumentazione tipicamente utilizzata per il monitoraggio di aree a rischio di dissesto idrogeologico e per la valutazione della stabilità dei versanti. Le profondità media dei fori inclinometrici vanno dai 20 ai 30 metri e dunque si presterebbero ad un riutilizzo con strumentazione più sensibile, come quella utilizzata nella studio e nel monitoraggio delle deformazioni del suolo in area sismogenetica.

Dall'analisi svolta osservando la distribuzione dei siti sulle carte geologiche si evince che per quanto riguarda il lato siciliano della rete, la maggior parte dei siti si trovano in corrispondenza dell'affioramento di successioni alluvionali di tipo costiero e, in subordine, alcuni siti sono stati realizzati in corrispondenza di livelli di calcari marnosi e di unità cristalline (metamorfite) dell'Unità dell'Aspromonte. Per quanto riguarda il lato calabro, invece, molte stazioni di misura si trovano in corrispondenza dell'affioramento di depositi argillosi e di alluvioni continentali e poche su rocce cristalline (plutoniti).

L'interesse scientifico della rete è certamente rilevante, non foss'altro che per la capillare distribuzioni dei siti di misura su entrambe le sponde dello Stretto. I fori appaiono di dimensioni compatibili con l'installazione di strumenti ad elevata sensibilità (tiltmetri) o stazioni sismiche ed accelerometriche in foro. La rete è stata installata nel corso del 2010/2011 e la strumentazione in foro si trova ancora al suo posto. I datalogger sono stati rimossi nel 2013, ma ci è stato detto che, se interessati, sono disponibili i dati rilevati nel corso dei due anni di funzionamento.

Per quanto concerne i fori piezometrici, la loro tipologia costruttiva li rende potenzialmente idonei al monitoraggio idrogeochimico delle acque sotterranee, sia come semplici punti di prelievo di campioni sia per l'installazione di dataloggers per il monitoraggio in continuo di parametri quali temperatura, livello, pressione dei gas disciolti. Per quanto può essere desunto dalle schede inviate, i piezometri sono certamente di interesse per eventuali attività di monitoraggio del rischio idrogeologico. Per quanto concerne la possibilità di usarli come siti per misure idrogeochimiche finalizzate allo studio della sismicità dell'area dello Stretto di Messina, è impossibile esprimere

qualsiasi valutazione senza avere prima effettuato una campagna di campionamento ed analisi delle acque prelevate in ciascun piezometro.

Le criticità in merito alle reali possibilità di utilizzo delle reti possono essere sintetizzate come segue:

- Necessità di informazioni in merito allo stato di fatto dell'iter amministrativo che ha portato alla realizzazione dei pozzi ed alla possibilità di accedervi e svolgervi le attività previste. Il discorso vale sia per quei siti che, secondo quanto indicato nelle schede fornite, ricadono su terreni pubblici, sia per i siti che ricadono su terreni privati.

- Eventuali costi di messa in sicurezza per la dismissione dei siti non idonei: un foro non utilizzato non può essere messo in sicurezza semplicemente cementandone l'accesso in superficie, in quanto il vuoto sotterraneo potrebbe costituire una via di drenaggio preferenziale in grado di generare instabilità e quindi cedimenti superficiali.

- Alcuni dei pozzi si aprono direttamente su sede stradale, e quindi poco si prestano alla realizzazione di strutture fuori terra in grado di ospitare sistemi di acquisizione e trasmissione dati, a meno di non realizzare attraversamenti interrati con i conseguenti costi associati. Ciò comporta una limitazione nel tipo di parametri acquisibili, che in prima battuta sarebbero limitati a quelli ottenibili attraverso l'utilizzo di sistemi di ridotte dimensioni ospitabili all'interno dei pozzi stessi.

### **Bibliografia citata**

Aloisi, M., Bruno, V., Cannavò, F., Ferranti, L., Mattia, M., Monaco, C., 2014. Reply to 'Comments on the paper "Are the source models of the M7.1 1908 Messina Straits earthquake reliable? Insights from a novel inversion and sensitivity analysis of levelling data" by Aloisi et al. (2012)'. *Geophysical Journal International*, 197 (3), 1403-1409.

Aloisi, M., Bruno, V., Cannavò, F., Ferranti, L., Mattia, M., Monaco, C., Palano, M., 2012. Are the source models of the M 7.1 1908 Strait of Messinaearthquake reliable? Insights from a novel inversion and a sensitivity analysis of leveling data. *Geophys. J.Int.* 192 (3), 1025–1041. <https://doi.org/10.1093/gji/ggs062>.

Amoruso, A., Crescentini, L., Scarpa, R., 2002. Source parameters of the 1908 Messina Straits, Italy, earthquake from geodetic and seismic data, *J. geophys. Res.*, 107, doi:10.1029/2001JB000434.

Argnani A., Brancolini, G., Bonazzi, C., Rovere, M., Accaino, F., Zgur, F., Lodolo E., 2009. The result of the Taormina 2006 seismic survey: possible implications for active tectonics in the Messina Straits, *Tectonophysics*, 476, 159-169.

Baratta, M., 1910. La catastrofe sismica calabro-messinese 28 dicembre 1908, relazione, *Soc. Geogr. It.*, Rome.

Barberi, F., Gasparini, P., Innocenti, F., Villari, L., 1973. Volcanism of the southern Tyrrhenian Sea and its geodynamics implications, *J. Geophys. Res.*, 78(23), 5221-5232, doi:10.1029/JB078i023p05221.

Barreca, G., Bruno, V., Cultrera, F., Mattia, M., Monaco, C., Scarfi, L., 2014. New insights in the geodynamics of the Lipari–Vulcano area (Aeolian Archipelago, southern Italy) from geological, geodetic and seismological data. *J. Geodyn.* 82 (2014), 150–167. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2014.07.003>.

Barreca, G., Gross, F., Scarfi, L., Aloisi, M., Monaco, C., Krastel, S., 2021. The Strait of Messina: seismotectonics and the source of the 1908 earthquake. *Earth-Science Reviews*, 218, 103685, doi: 10.1016/j.earscirev.2021.103685.

Barreca, G., Scarfi, L., Gross, F., Monaco, C., De Guidi, G., 2019. Fault pattern and seismotectonic potential at the southern edge of the Ionian Subduction system (southern Italy): new field and geophysical constraints. *Tectonophysics*, 761, 31–45, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2019.04.020>.

Barrier, P., 1986. Évolution paléogéographique du détroit de Messine au Pliocène et au Pléistocène. *Giorn. di Geologia*, 3, 48, 7-24.

Billi, A., G. Barberi, C. Faccenna, G. Neri, F. Pepe, A. Sulli, 2006. Tectonics and seismicity of the Tindari Fault System, southern Italy: crustal deformations at the transition between ongoing contractional and extensional domains located above the edge of a subducting slab. *Tectonics*, 25, TC2006, doi:10.1029/2004TC001763.

Blumetti, A.M., Brustia, E., Comerci, V., Di Manna, P., Fiorenza, D., Guerrieri, L., Lucarini, M., Serva, L. Vittori E., 2008. The environmental effects of the 1908 southern Calabria—Messina earthquake (southern Italy), in *Riassunti estesi delle comunicazioni Convegno GNGTS 2008*, Trieste, pp. 202–206.

Boccaletti, M., Cello, G., Tortorici, L., 1990. Strike-slip deformation as a fundamental process during the Neogene-Quaternary evolution of the Tunisian-Pelagian area, *Ann. Tecton.*, 4, 104-119.

Bonini, L., Di Bucci, D., Toscani, G., Seno, S., Valensise, G., 2011. Reconciling deep seismogenic and shallow active faults through analoguemodeling: the case of the Messina Straits (southern Italy), *J. geol. Soc. Lond.*, 168, 191–199.

Boschi, E., Pantosti, D., Valensise, G., 1989. Modello di sorgente per il terremoto di Messina del 1908 ed evoluzione recente dell'area dello Stretto, *Atti VIII Convegno G.N.G.T.S.*, Roma, 245-258.

Bottari, A., 2008. Osservazioni macrosismiche e studi, in *Riassunti estesi del Convegno 1908–2008 Scienza e Società a cento anni dal Grande Terremoto*, Reggio Calabria 10–12 dicembre 2008, *Miscellanea I.N.G.V.*, 3, pp. 19–20.

Bottari, A., Carapezza, E., Carapezza, M., Carveni, P., Cefali, F., Lo Giudice, E., Pandolfo C., 1986. The 1908 Messina Strait earthquake in the regional geostructural framework, *Journal of Geodynamics*, 5, 275-302.

Cangemi M, Madonia P, Albano L, Bonfardeci A, Di Figlia MG, Di Martino RMR, Nicolosi M, Favara R. Heavy Metal Concentrations in the Groundwater of the Barcellona-Milazzo Plain

(Italy): Contributions from Geogenic and Anthropogenic Sources. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2019, 16, 285; doi:10.3390/ijerph16020285

Cangemi M., Di Figlia MG, Favara R, Liotta M. CO<sub>2</sub> Degassing in Sicily (Central Mediterranean) as Inferred from Groundwater Composition. *Water* 2020, 12, 1959; doi:10.3390/w12071959

Camarda, M., S. De Gregorio, R. M. R. Di Martino, and R. Favara (2016), Temporal and spatial correlations between soil CO<sub>2</sub> flux and crustal stress, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, 7071–7085, doi:10.1002/2016JB013297.

Caporali, A., Barba, S., Carafa, M.M.C., Devoti, R., Pietrantonio, G., Riguzzi, F., 2011. Static stress drop as determined from geodetic strain rates and statistical seismicity, *J. Geophys. Res.*, 116, B02410, doi:10.1029/2010JB007671.

Capuano, P., De Natale, G., Gasparini, P., Pingue, F., Scarpa R., 1988. A model for the 1908 Messina Straits (Italy) earthquake by inversion of leveling data, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 78, 1930-1947.

Caputo, M., 1979. Seismicity in the Straits of Messina, in *L'attraversamento dello Stretto di Messina e la sua fattibilità*, pp. 101–117, *Atti dei Convegni Lincei*, 43, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.

Censi, P., Ferla, P., 1989. Studi isotopici su paragenesi a grafite, ankerite e siderite. *Rend. Soc. It. Miner. Petrol.* 433, 803-815.

Chiarabba, C., De Gori, P., Speranza, F., 2008. The southern Tyrrhenian subduction zone. Deep geometry, magmatism and Plio-Pleistocene evolution, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 268, 408-423, doi:10.1016/j.epsl.2008.01.036.

Cuffaro M., F. Riguzzi, D., Scrocca, and C. Doglioni (2011), Coexisting tectonic settings: the example of the southern Tyrrhenian Sea, *Int. J. Earth Sci.*, 100(8), 1915-1924, doi:10.1007/s00531-010-0625-z.

Cultrera, F., Barreca, G., Burrato, P., Ferranti, L., Monaco, C., Passaro, S., Pepe, F., Scarfi, L., 2017a. Active faulting and continental slope instability in the Gulf of Patti (Tyrrhenian side of NE Sicily, Italy): a field, marine and seismological joint analysis. *Nat. Hazards* 86, S253–S272. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2547-y>.

Cultrera, F., Barreca, G., Ferranti, L., Monaco, C., Pepe, F., Passaro, S., Barberi, G., Bruno, V., Mattia, M., Musumeci, C., Scarfi, L., 2017b. Structural architecture and active deformation pattern in the northern sector of the Aeolian-Tindari-Letojanni fault system (SE Tyrrhenian Sea-NE Sicily) from integrated analysis of field, marine geophysical, seismological and geodetic data. *Ital. J. Geosci.*, DOI:<https://doi.org/10.3301/IJG.2016.17>.

D'Agostino, N., Selvaggi, G., 2004. Crustal motion along the Eurasia-Nubia plate boundary in the Calabrian Arc and Sicily and active extension in the Messina Straits from GPS measurements, *J. Geophys. Res.*, 109, B11402, doi:10.1029/2004JB002998.

D'Agostino, N., D'Anastasio, E., Gervasi, A., Guerra, I., Nedimović, M.R., Seeber, L., Steckler, M., 2011. Forearc extension and slow rollback of the Calabrian Arc from GPS measurements, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L17304, doi:10.1029/2011GL048270.

Del Ben, A., Gargano, C., Lentini, F., 1996. Ricostruzione strutturale e stratigrafica dell'area dello Stretto di Messina mediante analisi comparata dei dati geologici e sismici. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 51, 703-717.

De Guidi, G., Lanzafame, G., Palano, M., Puglisi, G., Scaltrito, A., Scarfi, L., 2013. Multidisciplinary study of the Tindari Fault (Sicily, Italy) separating ongoing contractional and extensional compartments along the active Africa–Eurasia convergent boundary. *Tectonophysics*, 588, 1–17.

De Natale, G., Pingue, F., 1991. A variable slip fault model for the 1908 Messina Straits (Italy) earthquake, by inversion of leveling data, *Geophys. J. Int.*, 104, 73-84, 1991

De Stefani, C., 1910. La livellazione sul litorale calabro-siculo dopo il terremoto del 1908, *Bollettino della Società geologica Italiana*, 29, 223–231.

Devoti, R., Riguzzi, F., Cuffaro, M., Doglioni, C., 2008. New GPS constraints on the kinematics of the Apennines subduction, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 273, 163-174, doi:10.1016/j.epsl.2008.06.031.

Dewey, J.F., Helman, M.L., Turco, E., Hutton, D.H.W., Knott, S.D., 1989. Kinematics of the western Mediterranean, in *Alpine Tectonics*, edited by M.P. Coward, D. Dietrich, and R.G. Park, *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 45, 265-283.

Doglioni, C., Innocenti, F., Mariotti, G., 2001. Why Mt Etna?, *Terra Nova*, 13, 25-31, doi: 10.1046/j.1365-3121.2001.00301.x.

Doglioni, C., Ligi, M., Scrocca, D., Bigi, S., Bortoluzzi, G., Carminati, E., Cuffaro, M., D'Oriano, F., Forleo, V., Muccini, F., Riguzzi, F., 2012. The tectonic puzzle of the Messina area (Southern Italy): Insights from new seismic reflection data. *Scientific Reports* 2, 970 (2012).

Dongarrà G., Manno E., Sabatino G., Varrica D., 2009. Geochemical characteristics of waters in mineralised area of Peloritani Mountains (Sicily, Italy). *Appl. Geoch.* 24 (2009) 900–914, doi:10.1016/j.apgeochem.2009.02.002

Dziewonski, A.M., Ekström, G., Franzen, J.E., Woodhouse, J.H., 1987. Global seismicity of 1978: centroid-moment tensor solutions for 512 earthquakes. *Phys. EarthPlanet. Inter.* 46, 316–342.

Faccenna, C., Becker, T.W., Lucente, F.P., Jolivet, L., Rossetti, F., 2001. History of subduction and back-arc extension in the central Mediterranean, *Geophys. J. Int.*, 145, 809-820, doi:10.1046/j.0956-540X.2001.01435.x.

Faccenna, C., Piromallo, C., Crespo-Blanc, A., Jolivet, L., Rossetti, F., 2004. Lateral slab deformation and the origin of western Mediterranean arcs, *Tectonics*, 23, TC1012, doi: 10.1029/2002TC001488.

Ferla P (1982-83) Inquadramento geologico-petrografico delle mineralizzazioni metallifere nei Monti Peloritani (Sicilia). *Rend Soc It Miner Petr* 38(3): 1075–1091.

Ferla P., Omenetto P., (2000), Metallogenic evolution of Peloritani Mountains. (NE Sicily): A summary. *Mem. Soc. Geol. Ital.* 55: 293–297.

Ferranti, L., Antonioli, F., Mauz, B., Amorosi, A., Dai Prà, G., Mastronuzzi, G., Monaco, C., Orrù, P., Pappalardo, M., Radtke, U., Renda, P., Romano, P., Sansò, P., Verrubbi, V., 2006. Markers of the last interglacial sea-level high stand along the coast of Italy: tectonic implications. *Quat. Intern.*, 145-146, 30-54.

Ferranti, L., Monaco, C., Antonioli, F., Maschio, L., Kershaw, S., Verrubbi, V., 2007. The contribution of regional uplift and coseismic slip to the vertical crustal motion in the Messina Straits, Southern Italy: evidence from raised Late Holocene shorelines, *J. geophys. Res.*, 112(B06401), doi:10.1029/2006JB004473.

Ferranti L., Monaco, C., Morelli, D., Antonioli, F., Maschio, L., 2008. Holocene activity of the Scilla Fault, Southern Calabria: Insights from coastal morphological and structural investigations, *Tectonophysics*, 453, 74-93, doi:10.1016/j.tecto.2007.05.006.

Ferranti L, Antonioli, F., Anzidei, M., Monaco, C., Stocchi P., 2010. The timescale and spatial extent of recent vertical tectonic motions in Italy: insights from relative sea-level changes studies, in *The Geology of Italy*, edited by M. Beltrando, A. Peccerillo, M. Mattei, S. Conticelli, and C. Doglioni, *J. Virtual Explorer, Electronic Edition*, 36, paper 23.

Ferranti, L., Antonioli, F., Monaco, C., Schicchitano, G., Spampinato, C.R., 2017. Uplifted Late Holocene shorelines along the coasts of the Calabrian Arc: geodynamic and seismotectonic implications. *Italian Journal of Geosciences*, 136 (3), 454-470, doi: 10.3301/IJG.2017.13.

Frepoli, A., Selvaggi, G., Chiarabba, C., Amato, A., 1996. State of stress in the Southern Tyrrhenian Subduction Zone from fault-plane solutions, *Geophys. J. Int.*, 125, 879-891, doi: 10.1111/j.1365-246X.1996.tb06031.x.

Galli, P.A.C., Peronace, E., 2015. Low slip rates and multimillennial return times for Mw 7 earthquake faults in southern Calabria (Italy). *Geophys. Res. Lett.*, 42, doi:10.1002/2015GL064062.

Gasparini, C., Iannacone, G., Scandone, P., Scarpa, R., 1982. Seismotectonics of the Calabrian Arc. *Tectonophysics* 82, 267–286.

Ghisetti, F., 1981. Upper Pliocene-Pleistocene uplift rates as indicators of neotectonic pattern: an example from southern Calabria (Italy). *Zeitschrift für Geomorph.*, 40, 93-118.

Ghisetti, F., 1984. Recent deformations and the seismogenic source in the Messina Straits (southern Italy), *Tectonophysics*, 109, 191–208.

Ghisetti, F., 1992. Fault parameters in the Messina Strait (southern Italy) and relations with the seismogenic source, *Tectonophysics*, 210, 117-133, doi:10.1016/0040-1951(92)90131-O.

Ghisetti, F., Vezzani, L., 1982. Different styles of deformation in the Calabrian Arc (southern Italy): implications for a seismotectonic zoning, *Tectonophysics*, 85, 149–165

Giammanco S., Palano, M., Scaltrito, A., Scarfi, L., Sortino, F., 2008. Possible role of fluid overpressure in the generation of earthquake swarms in active tectonic areas: The case of the

Peloritani Mts. (Sicily, Italy), *J. Volcanol. and Geotherm. Res.*, 178, 795-806, doi:10.1016/j.jvolgeores.2008.09.005.

Goes, S., Giardini, D., Jenny, S., Hollenstein, C., Kahle, H.G., Geiger, A., 2004. A recent reorganization in the south-central Mediterranean, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 226, 335-345, doi:10.1016/j.epsl.2004.07.038.

Govers, R., Wortel, M.J.R., 2005. Lithosphere tearing at STEP faults: response to edges of subduction zones, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 236, 505-523, doi:10.1016/j.epsl.2005.03.022.

Gvirtzman, Z., Nur, A., 1999. The formation of Mount Etna as the consequence of slab rollback, *Nature*, 401, 782-785, doi:10.1038/44555.

Hirn, A., Nicolich, R., Gallart, J., Laigle, M., Cernobori, L. and ETNASEIS Scientific Group, 1997. Roots of Etna volcano in faults of great earthquakes, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 148, 171-191, doi:10.1016/S0012-821X(97)00023-X.

Hollenstein, C., Kahle, H.G., Geiger, A., Jenny, S., Goes, S., Giardini, D., 2003. New GPS constraints on the Africa-Eurasia plate boundary zone in southern Italy, *Geophys. Res. Lett.*, 30(18), 1935, doi:10.1029/2003GL017554.

Italiano F., Bonfanti P., Maugeri SR., 2019. Evidence of Tectonic Control on the Geochemical Features of the Volatiles Vented along the Nebrodi-Peloritani Mts (Southern Apennine Chain, Italy). *Geofluids*, Volume 2019, Article ID 6250393, 17 pages, <https://doi.org/10.1155/2019/6250393>

Italiano F., Bonfanti P., Pizzino L., Quattrocchi F. Geochemistry of fluids discharged over the seismic area of the Southern Apennines (Calabria region, Southern Italy): Implications for Fluid-Fault relationships. *Appl. Geoch.* 25 (2010) 540–554, doi:10.1016/j.apgeochem.2010.01.011

Jacques, E., Monaco, C., Tapponnier, P., Tortorici, L., Winter, T., 2001. Faulting and earthquake triggering during the 1783 Calabria seismic sequence, *Geophys. J. Int.*, 147, 499-516, doi:10.1046/j.0956-540x.2001.01518.x.

Lanzafame, G., Bousquet, J.C., 1997. The Maltese escarpment and its extension from Mt. Etna to the Aeolian Islands (Sicily): importance and evolution of a lithosphere discontinuity, *Acta Vulcan.*, 9, 113-120.

Lentini, F., 2000. Carta Geologica della Provincia di Messina, scala 1:50.000, 3 fogli, S.El.Ca., Firenze.

Liotta M., Grassa F., D'Alessandro W., Favara R., Gagliano Candela E., Pisciotta A., Scaletta C. Isotopic composition of precipitation and groundwater in Sicily, Italy. *Applied Geochemistry* 34 (2013) 199–206, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.03.012>.

Loperfido, A., 1909. Livellazione geometrica di precisione eseguita dall'I.G.M. sulla costa orientale della Sicilia, da Messina a Catania, a Gesso ed a Faro Peloro e sulla costa occidentale della Calabria da Gioia Tauro a Melito di Porto Salvo, in *Relazione della Commissione Reale incaricata di designare le zone più adatte per la ricostruzione degli abitati colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 o da altri precedenti*, pp.131–156, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.

Madonia, P.; Cangemi, M.; Favara, R. Modeling Rain Isotopic Composition under Orographic Control: A Landscape Approach for Hydrogeological Applications. *Hydrology* 2021, 8, 22. <https://doi.org/10.3390/hydrology8010022>

Malinverno, A., Ryan, W.B.F., 1986. Extension in the Tyrrhenian Sea and shortening in the Apennines as result of arc migration driven by sinking of the lithosphere, *Tectonics*, 5(2), 227-245, doi:10.1029/TC005i002p00227.

Mastrolembo Ventura, B., Serpelloni, E., Argnani, A., Bonforte, A., Bürgmann, R., Anzidei, M., Baldi, P., Puglisi, G., 2014. Fast geodetic strain-rates in eastern Sicily (southern Italy): new insights into block tectonics and seismic potential in the area of the great 1693 earthquake. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 404, 77-88.

Mattia M., Palano, M., Bruno, V., Cannavò, F., Bonaccorso, A., Gresta, S., 2008. Tectonic features of the Lipari-Vulcano complex (Aeolian archipelago, Italy) from ten years (1996-2006) of GPS data, *Terra Nova*, 20, 370-377, doi:10.1111/j.1365-3121.2008.00830.x.

Mattia M., Palano, M., Bruno, V., Cannavò, F., 2009. Crustal motion along the Calabro-Peloritan Arc as imaged by twelve years of measurements on a dense GPS network, *Tectonophysics*, 476, 528-537, doi:10.1016/j.tecto.2009.06.006.

Mattia M., Bruno, V., Cannavò, F., Palano, M., 2012. Evidences of a contractional pattern along the northern rim of the Hyblean Plateau (Sicily, Italy) from GPS data, *Geologica Acta*, 10, 1-9.

Meschis, M., Roberts, G. P., Mildon, Z. K., Robertson, J., Michetti, A. M., Faure Walker, J. P. 2019. Slip on a mapped normal fault for the 28th December 1908 Messina earthquake (Mw 7.1) in Italy. *Scientific Reports*, 9, 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42915-2>

Michelini, A., Lomax, A., Nardi, A., Rossi, A., Palombo, B., Bono, A., 2005. A modern re-examination of the locations of the 1905 Calabria and the 1908 Messina Straits earthquakes, *Geophys. Res. Abstracts*, 7, 07909, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU05-A-07909.

Monaco, C., Tortorici, L., 2000. Active faulting in the Calabrian arc and eastern Sicily, *J. Geodyn.*, 29, 407-424, doi:10.1016/S0264-3707(99)00052-6.

Monaco, C., Tortorici, L., 2007. Active faulting and related tsunamis in eastern Sicily and south western Calabria, *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, 48(2) 163–184.

Monaco, C., Tortorici, L., Nicolich, R., Cernobori, L., Costa, M., 1996. From collisional to rifted basins: an example from the southern Calabrian arc (Italy), *Tectonophysics*, 266, 233-249, doi:10.1016/S0040-1951(96)00192-8.

Monaco, C., Barreca, G., Di Stefano, A., 2017. Quaternary marine terraces and fault activity in the northern mainland sectors of the Messina Straits (southern Italy). *Italian Journal of Geosciences*, 136 (3), 337-346, doi:10.3301/IJG.2016.10.

Mulargia, F., Boschi, E., 1983. The 1908 Messina earthquake and related seismicity, in *Earthquakes: observation, theory and interpretation*, edited by H. Kanamori and E. Boschi, *Proc. Int. Sch. Phys. Enrico Fermi, Course LXXXV*, 493-518.

Neri, G., Barberi, G., Orecchio, B., Mostaccio, A., 2003. Seismic strain and seismogenic stress regimes in the crust of the southern Tyrrhenian region, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 213, 97-112, doi:10.1016/S0012-821X(03)00293-0.

Neri, G., Barberi, G., Oliva, G., Orecchio, B., 2004. Tectonic stress and seismogenic faulting in the area of the 1908 Messina earthquake, south Italy, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L10602, doi:10.1029/2004GL019742.

Neri, G., Barberi, G., Oliva, G., Orecchio, B., 2005. Spatial variations of seismogenic stress orientations in Sicily, south Italy, *Phys. Earth Planet. In.*, 148, 175-191, doi:10.1016/j.pepi.2004.08.009.

Nicolich, R., Laigle, M., Hirn, A., Cernobori, L., Gallard, J., 2000. Crustal structure of the Ionian margin of Sicily: Etna volcano in the frame of regional evolution, *Tectonophysics*, 329, 121-139, doi:10.1016/S0040-1951(00)00192-X.

Omenetto P., Meggiolaro V., Spagna P., Brigo L., Ferla P., Guion J.L., 1988. In: *Mineral Deposits within the European Community* (ed. by J. Boissonnas and P. Omenetto) Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Palano, M., Ferranti, L., Monaco, C., Mattia, M., Aloisi, M., Bruno, V., Cannavò, F., Siligato, G., 2012. GPS velocity and strain fields in Sicily and southern Calabria, Italy: updated geodetic constraints on tectonic block interaction in the central Mediterranean. *J. Geophys. Res.* 117, B07401. <https://doi.org/10.1029/2012JB009254>.

Patacca, E., Sartori, R., Scandone, P., 1990. Tyrrhenian basin and Apenninic arcs. Kinematic relations since late Tortonian times, *Mem. Soc. Geol. It.*, 45, 425-451.

Pino, N.A., Giardini, D., Boschi, E., 2000. The December 28, 1908, Messina Straits, southern Italy, earthquake: waveform modeling of regional seismograms, *J. geophys. Res.*, 105(B11), 25 473–25 492.

Pino, A., Piatanesi, A., Valensise, G., Boschi, E., 2009. The 28 December 1908 Messina Straits earthquake (Mw 7.1): a great earthquake throughout a century of seismology, *Seismol. Res. Lett.*, 80(2), 243–259.

Polonia, A., Torelli, L., Artoni, A., Carlini, M., Faccenna, C., Ferranti, L., Gasperini, L., Klaeschen, D., Monaco, C., Neri, G., Nijholt, N., Orecchio, B., Wortel, R., Govers, R., 2016. The Ionian and Alfeo-Etna fault zones: new segments of an evolving plate boundary in the central Mediterranean Sea? *Tectonophysics* 675, 69–90. doi.org/<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2016.03.016>.

Pondrelli, S., Salimbeni, S., Ekström, G., Morelli, A., Gasperini, P., Vannucci, G., 2006. The Italian CMT dataset from 1977 to the present, *Phys. Earth Planet. In.*, 159, 286-303, doi:10.1016/j.pepi.2006.07.008.

Presti, D., Billi, A., Orecchio, B., Totaro, C., Faccenna, C., Neri, G., 2013. Earthquake focal mechanisms, seismogenic stress, and seismotectonics of the Calabrian Arc, Italy. *Tectonophysics*, 602, 153–175.

Ridente, D., Martorelli, E., Bosman, A., Chiocci, F. L., 2014. High-resolution morpho-bathymetric imaging of the Messina Strait (Southern Italy). New insights on the 1908 earthquake and tsunami. *Geomorphology* 208, 149–159 (2014).

Rosenbaum, G., Lister, G.S., 2004. Neogene and Quaternary rollback evolution of the Tyrrhenian Sea, the Apennines and the Sicilian Maghrebides, *Tectonics*, 23, TC1013, doi:10.1029/2003TC001518.

Rovida, A., Locati, M., Camassi, R., Lolli, B., Gasperini, P., 2019. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>

Scarfì, L., Barberi, G., Musumeci, C., Patane, D., 2016. Seismotectonics of northeastern Sicily and southern Calabria (Italy): New constraints on the tectonic structures featuring in a crucial sector for the central Mediterranean geodynamics. *Tectonics* 35, 812–832. <https://doi.org/10.1002/2015TC004022> (2016).

Scarfì, L., Langer, H., Messina, A., Musumeci, C., 2020. Tectonic regimes inferred from clustering of focal mechanisms and their distribution in space: application to the Central Mediterranean Area. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125, e2020JB020519. <https://doi.org/10.1029/2020JB020519>.

Scicchitano, G., Lo Presti, V., Spampinato, C., Gasparo Morticelli, M., Antonioli, F., Auriemma, R., Ferranti L., Monaco, C., 2011. Millstones as indicators of relative sea-level changes in northern Sicily and southern Calabria coastlines, Italy. *Quat. Intern.*, 232, 92-104, doi: 10.1016/j.quaint.2010.08.019.

Schick, R., 1977. Eine seismotektonische Bearbeitung des Erdbebens von Messina im Jahre 1908. *Geologisches Jahrbuch, Reihe E* 11, 74 pp.

Serpelloni, E., Anzidei, M., Baldi, P., Casula, G., Galvani, A., 2005. Crustal velocity and strain-rate fields in Italy and surrounding regions: new results from the analysis of permanent and non permanent GPS networks, *Geophys. J. Int.*, 161, 861-880, DOI: 10.1111/j.1365-246X.2005.02618.x.

Serpelloni, E., Bürgmann, R., Anzidei, M., Baldi, P., Mastrolembo Ventura, B., Boschi, E., 2010. Strain accumulation across the Messina Straits and kinematics of Sicily and Calabria from GPS data and dislocation modelling, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 298, 347-360, doi:10.1016/j.epsl.2010.08.005.

Tortorici, L., Monaco, C., Tansi, C., Cocina, O., 1995. Recent and active tectonics in the Calabrian Arc (Southern Italy), *Tectonophysics*, 243, 37-49, doi:10.1016/0040-1951(94)00190-K.

Valensise, G., Pantosti, D., 1992. A 125-Kyr-long geological record of seismic source repeatability: the Messina Straits (southern Italy) and the 1908 earthquake (MS 71/2), *Terra Nova*, 4, 472-483.

Westaway, R., 1992. Seismic moment summation for historical earthquakes in Italy: tectonic implications, *J. geophys. Res.*, 97, 15 437–15 464.

Westaway, R., 1993. Quaternary uplift of Southern Italy, *J. Geophys. Res.*, 98, 21741-21772, doi: doi:10.1029/93JB01566.