

# IL PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA PROBLEMATICHE GEO-SISMOTETTONICHE e AMBIENTALI

Giuseppe Mandaglio\*

## Abstract

Per realizzare il collegamento stabile fra la Sicilia e la Calabria, nel corso del tempo sono state proposte tipologie diverse (tunnel subalveo, tunnel sospeso, ponte a campata unica, ponte a più campate) fra le quali la scelta è caduta sul ponte a campata unica, da realizzare nel punto di minore distanza fra le due sponde dello Stretto di Messina dove esistono importanti problematiche di natura sismica, geologica e ambientale.

Il Ponte a campata unica è un'opera complessa, di dimensioni mai sperimentate, che ha richiesto di affrontare problematiche nuove nella progettazione di ponti, particolarmente delicate dal punto di vista tecnologico, e di approfondire le conoscenze geologiche, sismologiche e ambientali di un'area ad elevata attività sismica.

Le Commissioni che hanno esaminato il progetto hanno espresso pareri che, per quanto riguarda gli aspetti geologici, possono essere riassunti nelle prescrizioni di:

- Integrare gli studi geo - sismo- tettonici storici con le più aggiornate conoscenze geostrutturali e sismogenetiche dell'Area dello Stretto.
- Ricostruire in maniera approfondita i modelli geologici e idrogeologici nelle aree di fondazione delle torri e delle gallerie anche per prevenire il pericolo di subsidenza.
- Approfondire gli studi idrogeologici per la tutela dei Pantani di Ganzirri e del canale di collegamento.

Per rispondere alle prescrizioni, numerosi Enti di ricerca ed esperti di geologia strutturale, sismologia e geologia applicata hanno eseguito studi e indagini i cui risultati hanno contribuito a ricostruire l'assetto geostrutturale dell'area vasta interessata dal progetto, fino ad identificare in maniera concreta il terremoto di progetto, definire il modello geologico e geotecnico dei siti, e migliorare l'inserimento ambientale del Ponte prevenendo o mitigando gli impatti nel delicato ambiente dello Stretto di Messina.

In particolare, sono state migliorate le conoscenze geostrutturali e sismotettoniche del Graben, è stata stabilita la magnitudo del terremoto di maggiore intensità registrato nell'area a cui riferire il terremoto di progetto e, con specifiche indagini geognostiche, sono stati ricostruiti i modelli geologici e geotecnici delle aree di fondazione delle torri, dei passaggi in galleria e delle opere minori. La problematica connessa ai Pantani di Ganzirri e alla subsidenza trova analogo riscontro negli studi idrogeologici.

Nella relazione saranno descritte solo alcune delle conoscenze di natura geologica e sismotettonica che hanno preceduto e accompagnato la progettazione di un'opera unica nel suo genere, da realizzare in un'area dove alla elevata sismicità si aggiungono notevoli complessità geologiche, idrogeologiche e ambientali qual è lo Stretto di Messina.

\* Geologo. Presidente del Centro di Osservazione e Ricerca sui **RI**schi Naturali e Ambientali. Docente di Geologia applicata in area sismica.

## 1. Caratteristiche principali del Progetto

Dall'immagine che segue si può avere un'idea dell'imponenza del Ponte e del paesaggio in cui sarà inserito. Nella tabella sottostante sono riportati i dati salienti della struttura.

	<b>Tipo di Ponte: Sospeso</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lunghezza campata centrale : <b>3.300 m</b></li> <li>• Lunghezza campate laterali: <b>3.666 m</b></li> <li>• Larghezza impalcato : <b>60,4 m</b></li> <li>• Resistenza a vento fino a <b>270 km/h</b></li> </ul>
	<b>Sistema di sospensione:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- N° 2 torri alte : <b>399 m</b></li> <li>- Cavi in fili di acciaio speciale : <b>N° 4</b></li> <li>- Diametro di ogni cavo: <b>126 cm</b></li> <li>- Fili per ogni cavo: <b>N° 44.323</b></li> </ul>
	<b>Fondazione Torre: Plinti circolari</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diametro <b>48 m</b> Calabria</li> <li>- Diametro <b>55 m</b> Sicilia:</li> </ul>
	<b>Fondazione Ancoraggio</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Volume Calabria : <b>229.900 m<sup>3</sup></b></li> <li>Volume Sicilia : <b>303.300 m<sup>3</sup></b></li> <li>Volume fuori terra : <b>17%</b></li> </ul>
<b>Canale navigabile per transito grandi navi</b> <b>Sezione : 600 x 65/70 m</b>	

Fig.

**Fotocomposizione del ponte sullo Stretto di Messina e dati tecnici della struttura**

Si tratta di una struttura imponente da realizzare nello Stretto di Messina dove le caratteristiche geostrutturali e tettoniche dell'Arco Calabro-Peloritano danno origine ad una sismicità elevata, a un assetto geologico e morfo-batimetrico complessi e ad aspetti idrogeologici e ambientali le cui problematiche condizionano le scelte progettuali anche dal punto di vista tecnologico per cui vanno attentamente definite e considerate a partire da quelle geologiche, strutturali e sismotettoniche.

## 2. Aspetti geo-strutturali e sismotettonici

L'Arco Calabro Peloritano è costituito da frammenti di crosta continentale che, in seguito all'apertura del *Bacino tirrenico*, si sono staccati dal blocco Sardo-Corso e si spostano, per sovrascorrimento passivo, verso sud-est e verso il Bacino ionico. L'Arco è formato da un basamento di plutoniti e metamorfiti di età ercinica che lo differenziano nettamente dalla Catena appenninica verso nord e dalle Maghrebidi siciliane verso sud-ovest, sul quale appoggia in forte discordanza una copertura sedimentaria post-mesozoica.

La continuità geo-strutturale dell'Arco è interrotta da faglie litosferiche a direzione NW-SE che lo dividono in blocchi, mentre altri sistemi di faglie a direzione NE-SW controllano l'assetto longitudinale della catena.

Alcune tomografie sismiche e gli ipocentri dei terremoti hanno evidenziato che l'Arco è collocato su un piano di subduzione immergente a NW lungo il quale la litosfera oceanica ionica descrive una curvatura a ginocchio per immergersi sotto la crosta calabra e poi disperdersi nel mantello sotto l'astenosfera tirrenica. Lo Stretto di Messina si colloca fra la terminazione continentale dell'Arco Calabro e l'appendice insulare dove la subduzione ionica genera strutture di compressione sul fronte di avanzamento e strutture distensive e di sprofondamento sulla parte opposta. L'innalzamento

dell'Aspromonte, più pronunciato rispetto ai Peloritani, accentua la depressione dello Stretto rendendola asimmetrica pur conservando la struttura a Graben o almeno a semi-graben. Dai caratteri geo-strutturali derivano fenomeni tettonici evidenziati anche dalla elevata sismicità storica e attuale.

## 2.2 Geologia dello Stretto e sismogenesi

Geologi, sismologi e studiosi di varie discipline, dopo il catastrofico terremoto del 1908 hanno focalizzato la loro attenzione sulla geologia dello Stretto alla ricerca delle cause del terremoto e della sorgente sismica.

Ma le ricerche scientifiche, stimolate dall'ipotesi di collegamento stabile fra le due sponde sono divenute più continue a partire dalla seconda metà del secolo scorso quando il Terremoto del 1908 con la sua intensità distruttiva e con la magnitudo nel frattempo ricostruita ( $M \approx 7.1$ ) imposero la sismicità come primo problema da studiare. La geologia dello Stretto fu ri-esaminata e fu rivolta particolare attenzione alle faglie e agli aspetti di interesse sismologico (scarpate di faglia, alterazioni del regime idrologico, variazioni geomorfologiche e morfometriche ecc.); le faglie sismogenetiche furono confrontate con la Magnitudo del terremoto del 1908 e furono costruiti modelli per valutare la pericolosità sismica (su base geologica), il potenziale sismogenetico, La ricorrenza dei terremoti storici più distruttivi e la probabilità di eccedenza di determinati livelli di scuotimento da porre a base del terremoto di progetto.

In questa fase delle ricerche fu determinato l'età geologica dello Stretto (Plio-Pleistocene), lo spostamento tettonico dell'Arco Calabro e del blocco aspromontano, il cui scorrimento verso Sud-Est - in roll back sullo slab ionico immergente a Nord-Ovest - ha prodotto fenomeni estensivi della crosta calabra e una perdita di massa rimpiazzata da processi di accomodamento sopra la cerniera della subduzione. Alla scala del sistema geodinamico della subduzione che investe il bacino di retro-arco (litosfera tirrenica fino al mantello), lo Stretto rappresenta una struttura complessa dove possono verificarsi terremoti di magnitudo analoga a quella del terremoto del 1908 ( $M_w 7.1$ ).

Con la ripresa delle ricerche per il progetto definitivo del ponte, applicando nuove tecniche di analisi, si sono avute ricostruzioni sismologiche sempre più affinate che hanno aggiunto maggiori dettagli sulla sismicità. In particolare, il terremoto del 1908 è stato confermato come terremoto di riferimento per la progettazione del ponte con tempo di ricorrenza "storica" non inferiore a 1000anni, e la sua origine è stata attribuita a una faglia cieca (*blind fault*).

## 2.3 Le faglie e la struttura dello Stretto

Secondo alcuni ricercatori, il terremoto sarebbe stato originato e avrebbe agito in una struttura a Graben controllata da numerose faglie diversamente orientate – alcune attive - ma la faglia sismogenetica principale resterebbe una blind fault.

Per altro, le peculiarità morfo-tettoniche dello Stretto non possono essere attribuite a quella faglia e il sollevamento tettonico regionale non può da solo giustificare le complessità geo-strutturali per cui bisogna richiamare processi e deformazioni preesistenti.

La faglia sismogenetica principale non può essersi attivata prima di 700.000 anni fa e lo slip rate è di circa 1.4 mm/anno. Questo valore, confrontato con la posizione e con la geometria della faglia, può giustificare una subsidenza massima di circa 0.7 mm/anno lungo l'asse dello Stretto per cui l'evidenza topografica non dovrebbe risaltare per più di 500 metri. Ma il contrasto strutturale e topografico fra il fondo dello Stretto e la sommità dei rilievi al contorno (Aspromonte, Peloritani) raggiunge e supera i 2.500 metri, e ciò può essere attribuito solo parzialmente ( $\approx 500m$ ) alla geostruttura sismogenetica. Ciò implica che la struttura a Graben è stata causata da eventi tettonici precedenti, la faglia responsabile del terremoto del 1908 si è attivata nella fossa tettonica che già separava la Sicilia dalla Calabria e i suoi effetti si sono sovrapposti.

La ricostruzione geologica e strutturale dello Stretto è rappresentata nella figura xxx.

Dall'esame della figura emerge che la sponda calabra e il fondale adiacente sono attraversati da faglie distensive che, pur con minore frequenza, sono presenti anche sul fondale adiacente alla sponda sicula

per cui la struttura a graben si ripete anche nella successione sedimentaria sovrastante al basamento cristallino metamorfico.

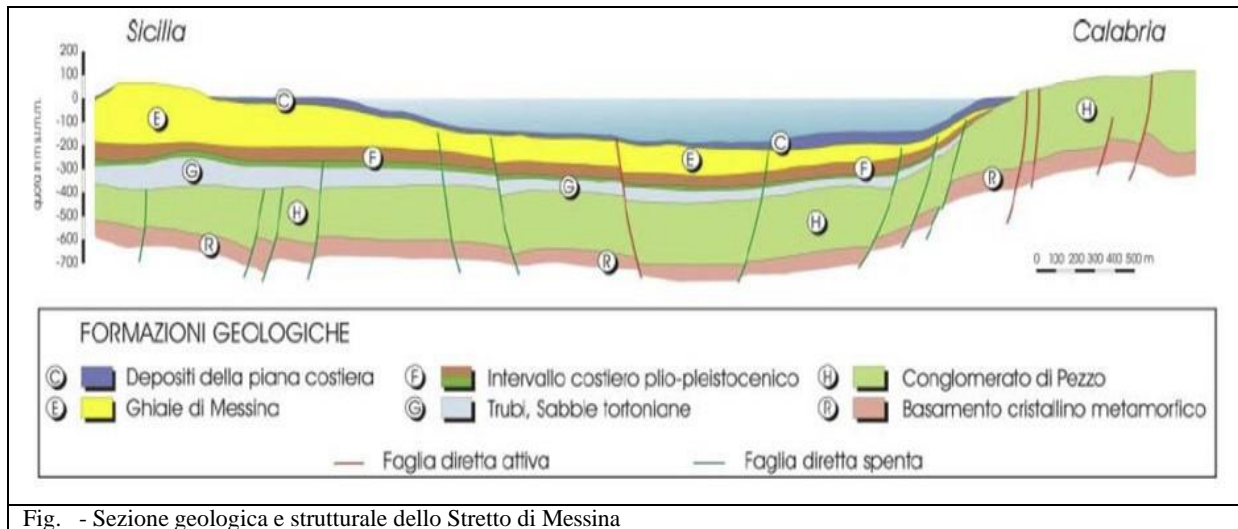


Fig. - Sezione geologica e strutturale dello Stretto di Messina

#### 2.4 Il terremoto caratteristico

Le deformazioni antiche e quelle attuali hanno indotto a stabilire che:

- il *terremoto caratteristico dello Stretto* è quello del 1908 (Magnitudo 7.1) con tendenza a ripetersi con le stesse caratteristiche (lunghezza di faglia, slip, magnitudo);
- Nello Stretto possono verificarsi terremoti di magnitudo intorno a 6, con maggiore frequenza e ancora pericolosi ; **Valensise e Pantosti, Boschi**
- Il *tempo di ricorrenza* del terremoto caratteristico oscillerebbe intorno ai 1000 +/- 300 anni e troverebbe conferma nei dati storici e archeologici per i quali il solo terremoto paragonabile a quello del 1908 può essere accaduto verso la metà nel IV secolo.

Una sorgente sismogenetica alternativa al terremoto del 1908 basata su linee sismiche **indica la sorgente sismogenetica del terremoto del 1908** potrebbe essere una faglia trascorrente destra con geometrie strutturali a fiore orientata N-S e situata nella parte meridionale dello Stretto. La struttura si svilupperebbe sul fondo dello Stretto fino ad emergere e disperdersi all'altezza di Messina. **Finetti**, Altri studi geofisici hanno individuato a sud di Capo dell'Armi e dell'imboccatura dello Stretto una nuova faglia lunga 30 km, orientata NW-SE e immergente a Ovest. Ma questa faglia non sarebbe compatibile con le intensità macrosismiche del terremoto del 1908 e tutt'al più potrebbe essersi attivata insieme alla faglia cieca immergente a Est che ha originato il terremoto. **Argnani**

Altri ricercatori hanno applicato un modello che riprende la faglia distensiva, cieca e immergente verso est a basso angolo in passato proposta ricercatori dell'INGV, impostato sullo schema tettonico del Mediterraneo centrale di Doglioni et al. I risultati dell'applicazione modellistica il terremoto del 1908 è stato prodotto da una faglia normale, cieca e a basso angolo, capace di attivare/riattivare strutture secondarie ad alto angolo. La complessità geo-strutturale dello Stretto sarebbe la conseguenza del ripetersi di eventi come quello del 1908.(v. figura)

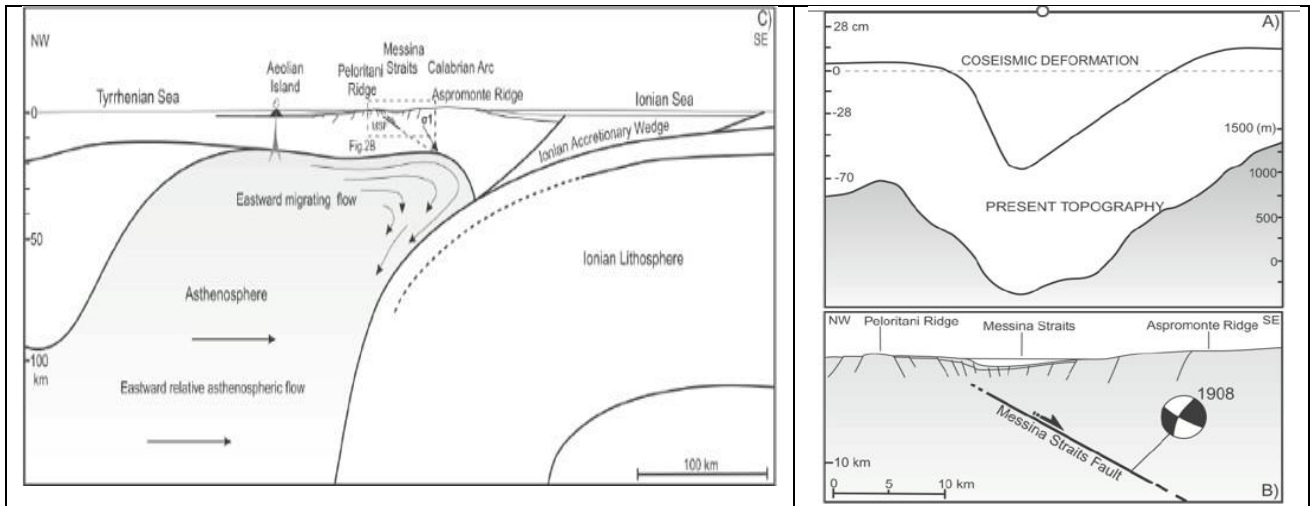


Figura (fig – Schema tettonico semplificato del Mediterraneo centrale. Sezione attraverso l'Arco Calabro e il Mar Tirreno a sx (da Dogliani et al., 2001) . Sezione schematica dello Stretto di Messina con la faglia sismogenetica del terremoto del 1908 e le faglie sovrastanti. (da Boschi et. Al. .modificata )

Questa ipotesi è stata indagata utilizzando un modello analogico della deformazione tettonica dello Stretto, simulando l'attività di una faglia distensiva, a basso angolo e immergente verso est, e valutando gli effetti provocati dalla faglia sulle strutture secondarie sovrastanti. Tale approccio ha permesso di osservare che le faglie superficiali ad alto angolo emergenti nello Stretto sarebbero l'espressione dell'attività della *master fault* sottostante. (v. figura)

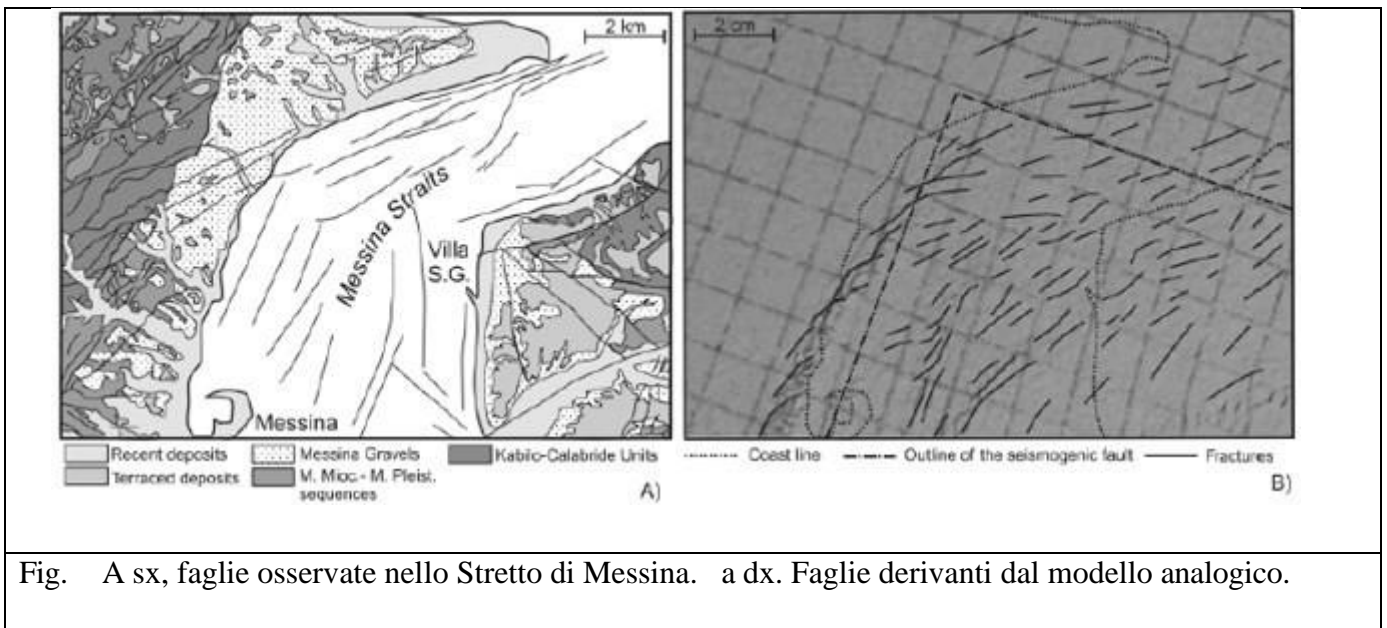


Fig. A sx, faglie osservate nello Stretto di Messina. a dx. Faglie derivanti dal modello analogico.

Il modello concilia i dati geologici, tettonici e sismologici disponibili in un unico modello per il quale i terremoti principali sono generati dalla struttura profonda a basso angolo, mentre la sismicità minore dipende dalle faglie superficiali di minore estensione.

(Figure 6.21, 6.22 e 6.23).

Nel modello può trovare collocazione anche la faglia di Scilla, responsabile della scossa sismica (MW= 5.9 6.0) del 6 febbraio 1783, che con il suo segmento sud-occidentale interessa l'area degli ancoraggi del ponte sulla sponda siciliana, come anche le strutture che ricadono al largo dell'allineamento Cannitello Punta Pezzo e interessano le fondazioni del ponte sul versante calabrese.

Mettere figura con faglie a colori

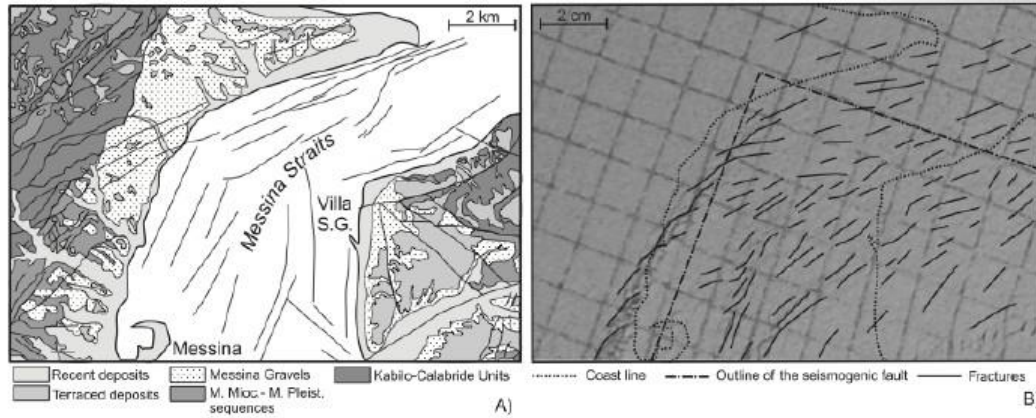


Figura 6.23 – Visione in pianta delle faglie generate dal modello analogico (a destra) a confronto con le faglie effettivamente osservate nello Stretto di Messina (da Bonini et al., in stampa).

In tempi recenti uno studio dell'Università di Catania, dell'Università di Kiel e dell'INGV di Catania, utilizzando tomografie sismiche, dati geomorfologici e sismologici, avrebbe individuato posizione esatta e caratteristiche della faglia 1908 (v. figura).

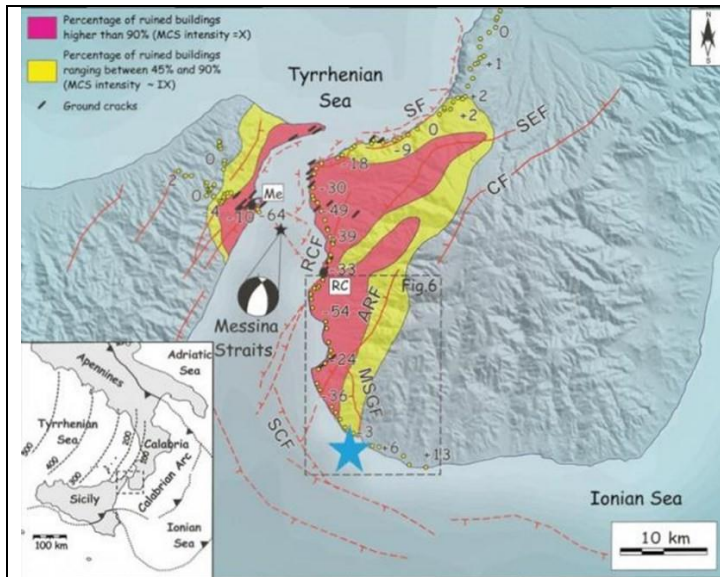
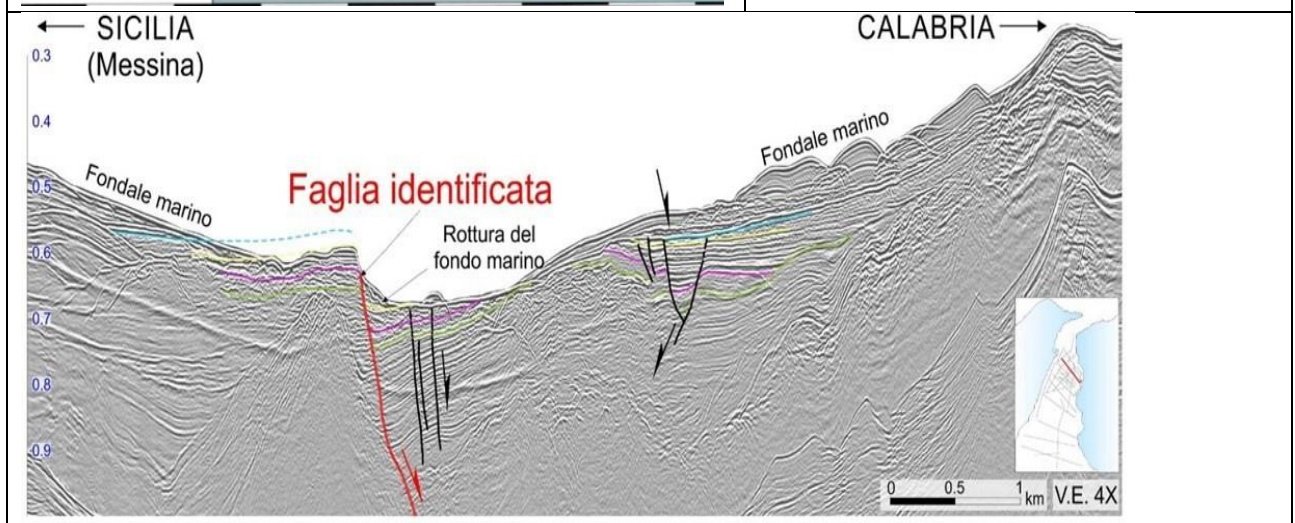


Fig. Planimetria 3D e sezione della faglia 1908



Si tratta di una faglia lunga 34.5 km e immergente a Est, che segnirebbe l'asse dello Stretto da sud verso nord fino all'altezza del Torrente Catona da dove piegherebbe nell'entroterra costeggiando l'alto strutturale di Campo Piale. Il potenziale sismogenetico stimato è tale da generare terremoti di magnitudo fino a 6.9, molto simile a quella del terremoto del 1908.

Anche questo studio individua in 3.5 mm l'allontanamento tra Calabria e Sicilia ancora in atto e colloca la faglia sopra una discontinuità geostrutturale profonda e immergente a est, sulla quale si sposterebbe il graben dello Stretto e buona parte dell'Aspromonte con possibilità di generare/attivare faglie nella zona soprastante.

Altri esperti, applicando l'approccio neo-deterministico (NDSHA) e i parametri della pericolosità sismica locale : Accelerazione di Picco (PGA), Spostamento (PGD) e Velocità (PGV) hanno calcolato, in maniera conservativa, la Magnitudo di progetto con la relazione ( $M_{design} = M_{max} + Y_{ME} \theta_M$ ) in cui  $M_{max}$  è la Magnitudo Massima, e il secondo termine rappresenta i multipli ( $ME$ ) della deviazione standard ( $\theta_M$ )

Da tale procedura è derivato un valore di magnitudo del *massimo livello del rischio sismico*  $M=7.7$ , in base al quale non possono ragionevolmente verificarsi terremoti di magnitudo superiori e che corrisponde a una intensità enorme per la sismicità dell'Italia.

La mol degli studi abbondantemente concordanti sulla faglia principale e sul suo potenziale sismogenetico abbondantemente compreso e valutato nel progetto del ponte sullo Stretto, i massimi rappresentanti dell'INGV e della Protezione Civile hanno affermato che la sismicità dello Stretto non pone limiti invalicabili per la realizzazione del Ponte.