

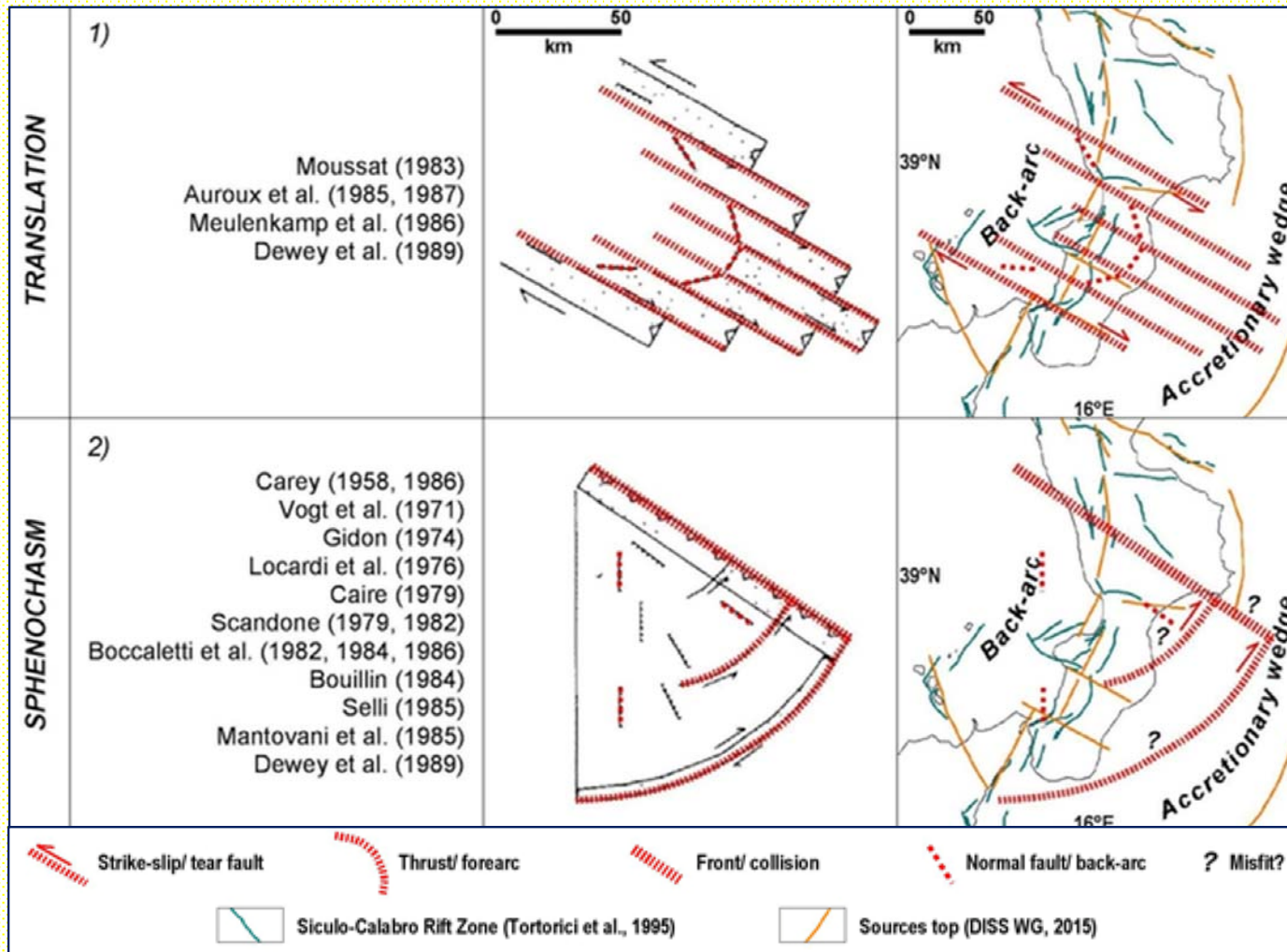


Styles of seismogenic faulting in the southern Calabrian Arc and their geodynamic significance

M.M. Tiberti, P. Vannoli, U. Fracassi, P. Burrato, V. Kastelic, G. Valensise



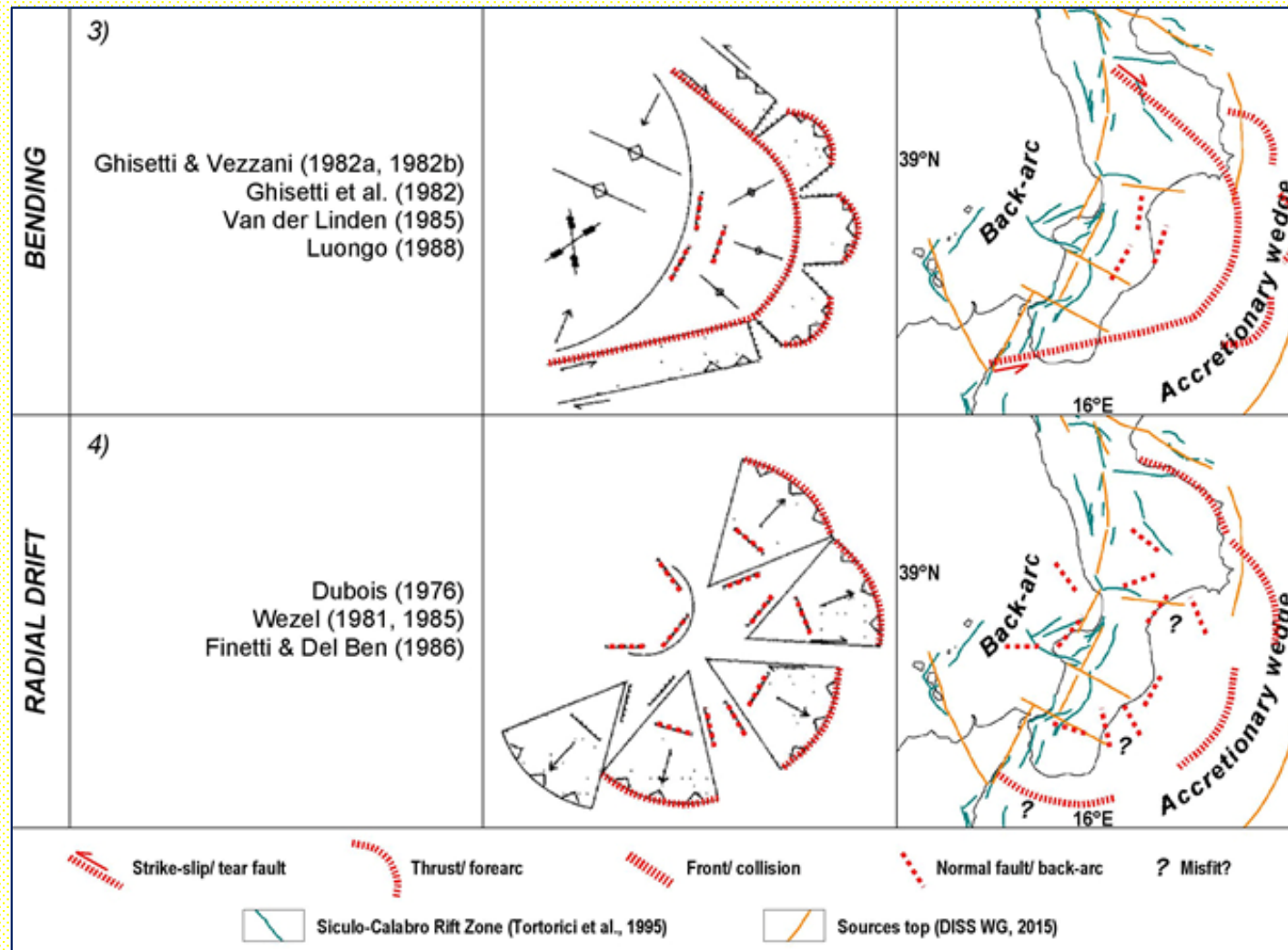
Modelli di evoluzione tettonica dell'Arco Calabro - I



Sintesi di gruppi di modelli cinematici proposti in letteratura per spiegare la messa in posto dell'Arco Calabro.

Van Dijk e Scheepers, 1991; mod. in: Tiberti et al., 2017

Modelli di evoluzione tettonica dell'Arco Calabro - II

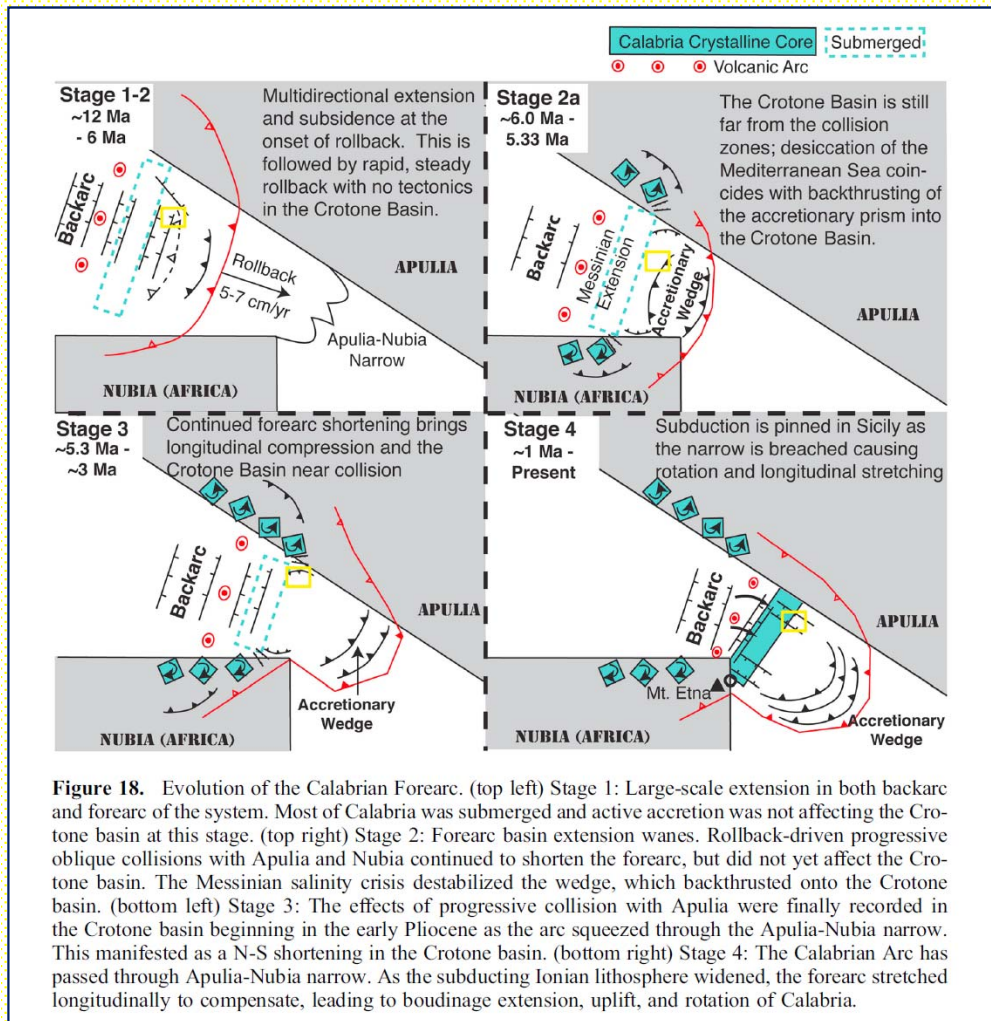


Sintesi di modelli cinematici proposti in letteratura per spiegare la messa in posto dell'Arco Calabro.

Si tendono oggi a preferire i modelli 1 (traslazione) e 3 (*bending*).

Van Dijk e Scheepers, 1991; mod. in: Tiberti et al., 2017

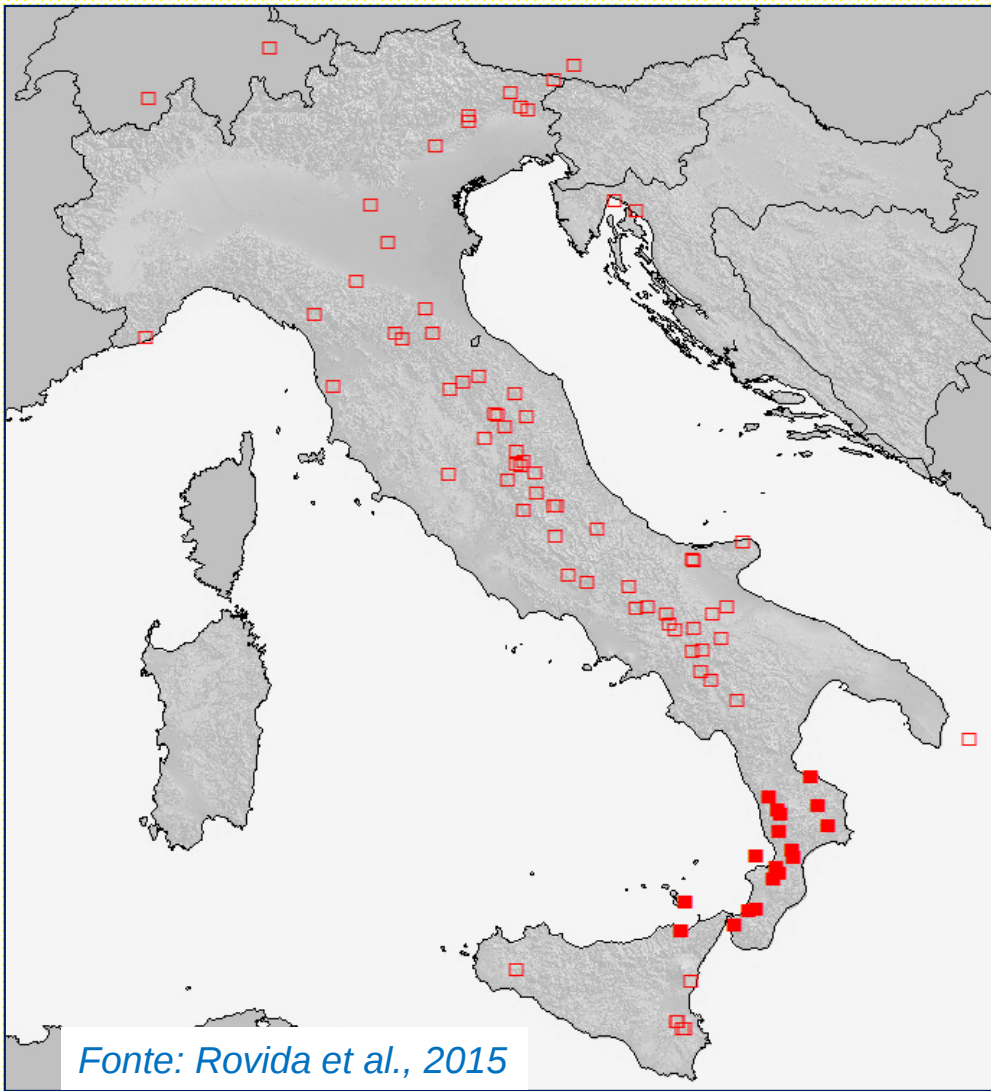
Modelli di evoluzione tettonica dell'Arco Calabro - III



Evoluzione dell'Arco Calabro negli ultimi 12 Ma. Nell'ultimo pannello la messa in posto del cuneo di accrezione e l'emersione della Calabria.

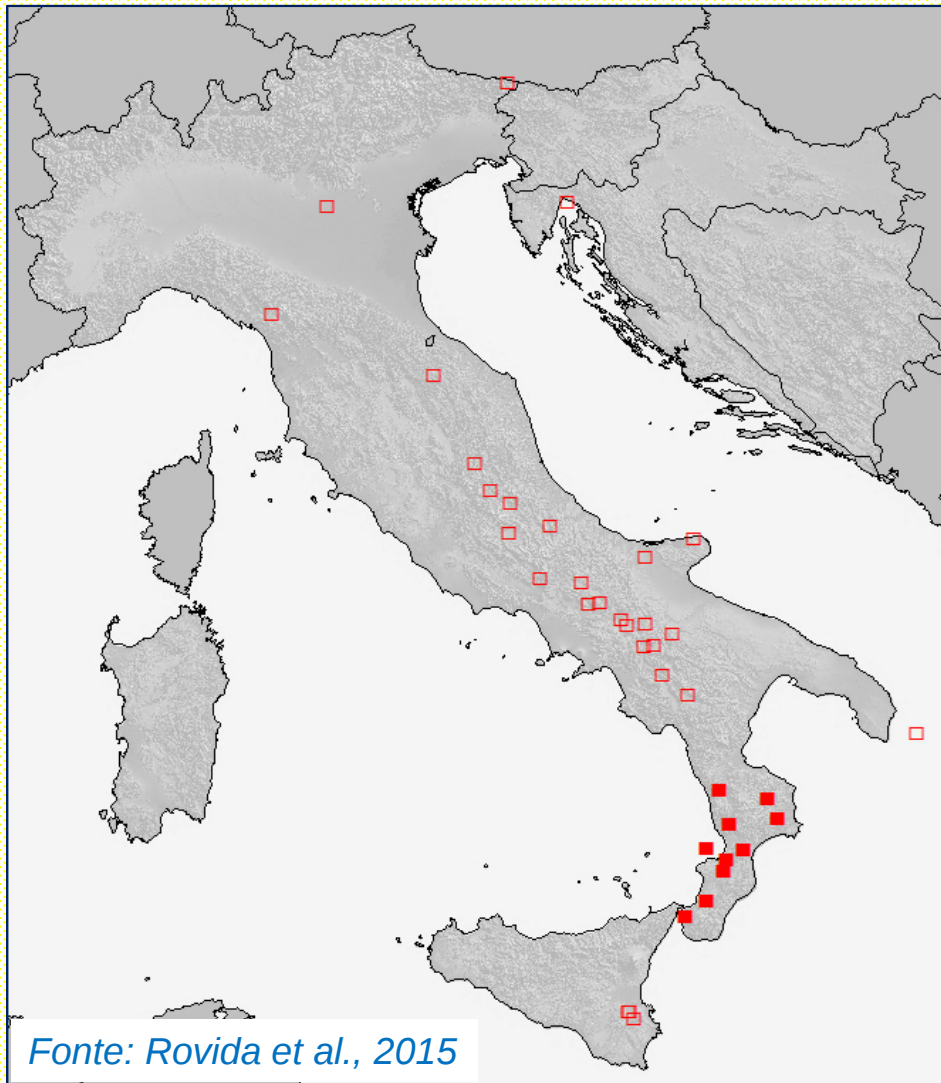
Numerosi ricercatori hanno evidenziato il ruolo della subduzione nel controllare la topografia e la tettonica dell'Arco Calabro; focalizzando sui processi geodinamici, senza approfondire la relazione tra la subduzione e le faglie crostali.

Terremoti storico-strumentali dall'anno 1000 al 2014



Il **19%** dei terremoti italiani
con **$M \geq 6.0$**
si è verificato nell'Arco Calabro
(CPTI15)

Terremoti storico-strumentali dall'anno 1000 al 2014



Il **26%** dei terremoti italiani
con **$M \geq 6.5$**
si è verificato nell'Arco Calabro
(CPTI15)

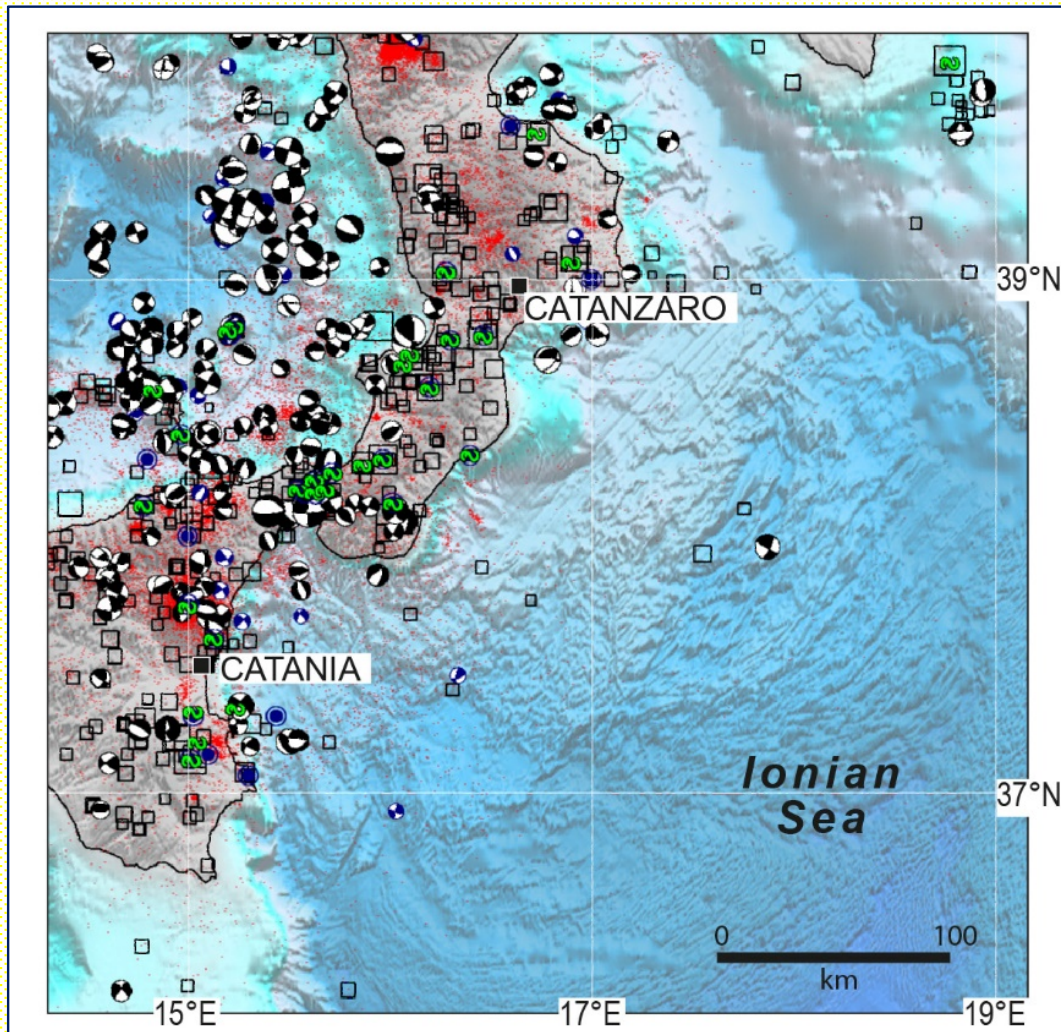
Terremoti storico-strumentali dall'anno 1000 al 2014



Il **44%** dei terremoti italiani
con **$M \geq 7.0$**
si è verificato nell'Arco Calabro
(CPTI15)

Marzo 1638
Marzo 1783
Febbraio 1783
Dicembre 1908

Terremoti - meccanismi focali - effetti di tsunami



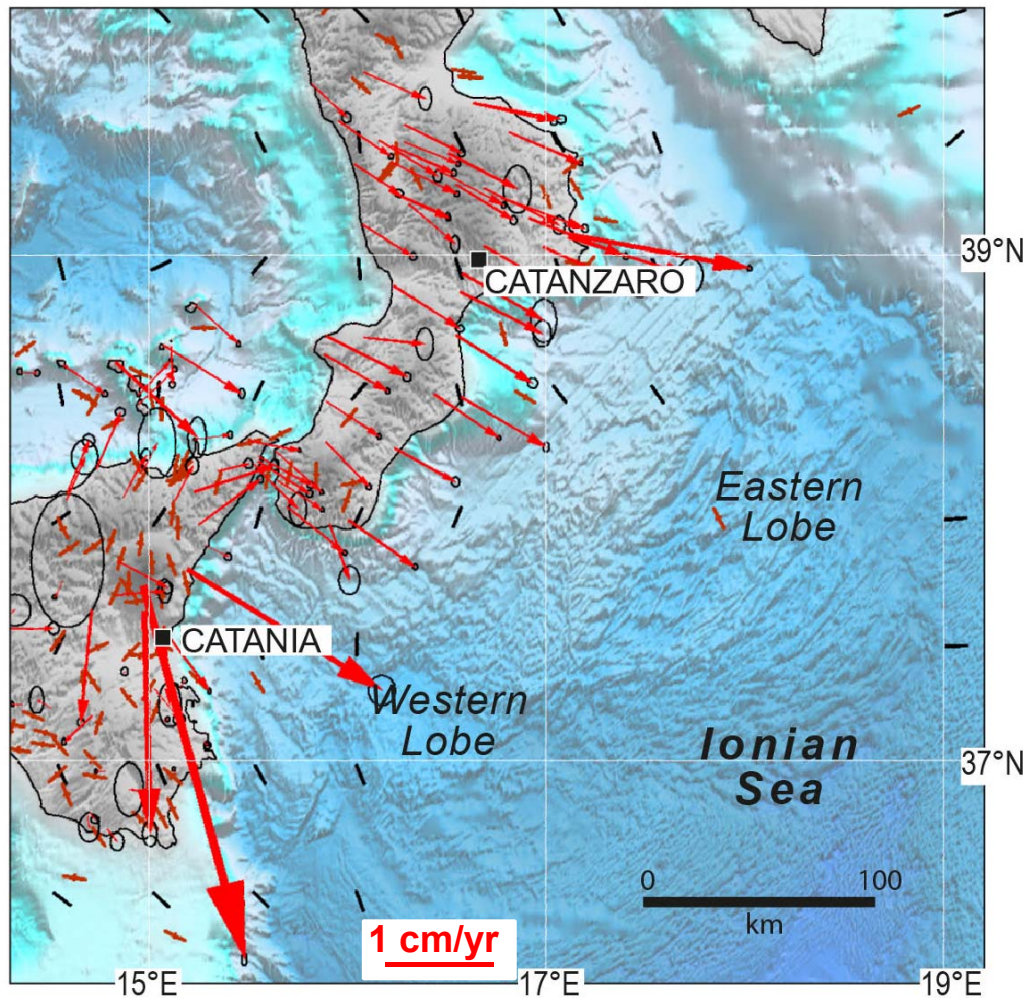
Sismicità superficiale e profonda. Siamo in corrispondenza della porzione attiva della subduzione ionica.

L'attuale sismicità strumentale non ci aiuta nell'individuazione delle faglie crostali responsabili dei più forti terremoti del passato.

Difficoltà di studiare i terremoti storici: 1. sovrapposizione degli effetti di eventi vicini nel tempo e nello spazio; 2. aree disabitate...



Stress & Strain



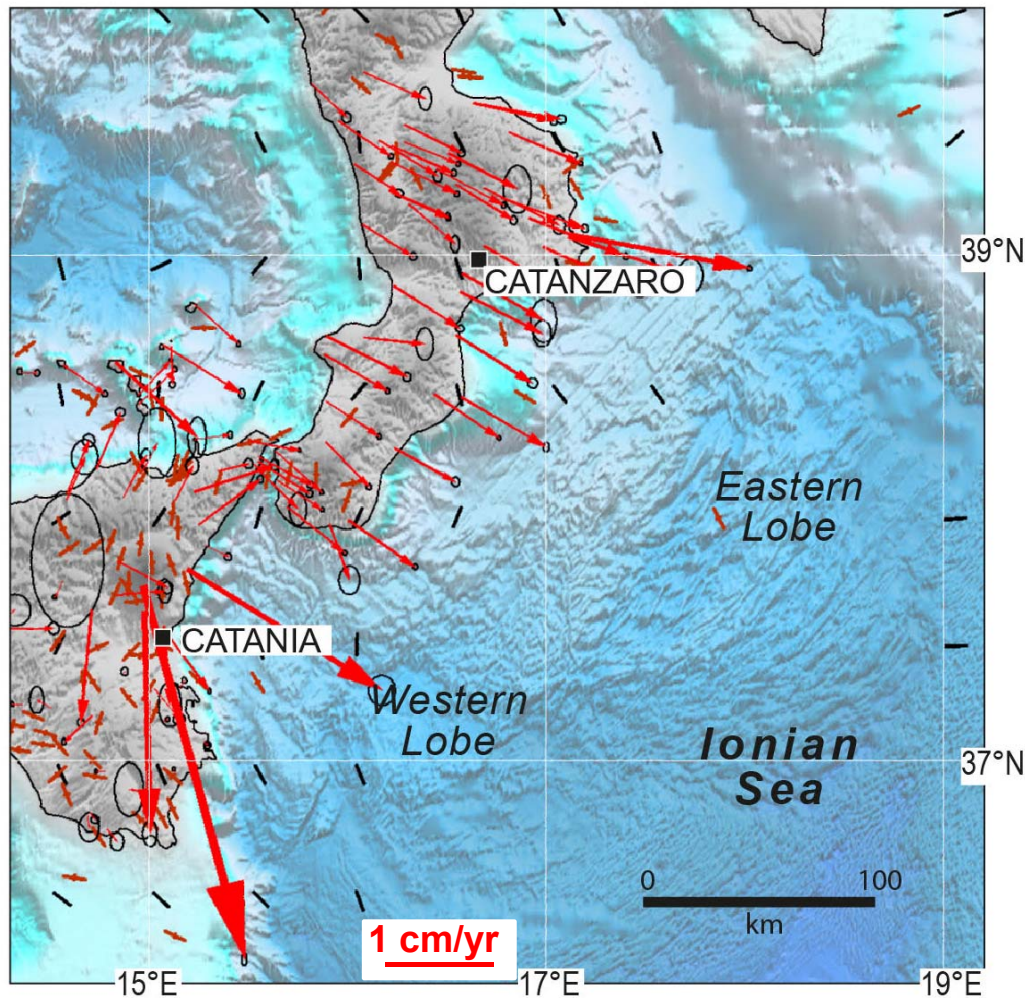
Stress

SHmax: dati di stress orizzontale max e loro interpolazione.

La direzione prevalente dello SHmax è parallela all'Arco Calabro.



Stress & Strain



Strain

GPS: velocità orizzontali max relative all'intervallo 1998-2009 con Africa fissa come sistema di riferimento.

I dati GPS ci “parlano” della subduzione e non ci aiutano nell'individuazione delle faglie crostali responsabili dei più forti terremoti del passato.



Intensi processi tettonici in atto

- Terremoti frequenti e di elevata magnitudo
- I dati GPS ci permettono di ipotizzare che la migrazione della Calabria sia controllata da processi di subduzione
- Ratei di sollevamento tra i più elevati d'Italia (line di riva oloceniche sollevate; quote molto elevate del terrazzo tirreniano, ...)

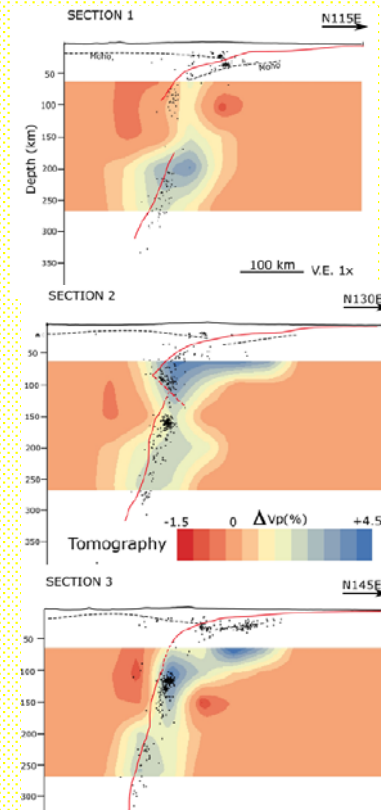
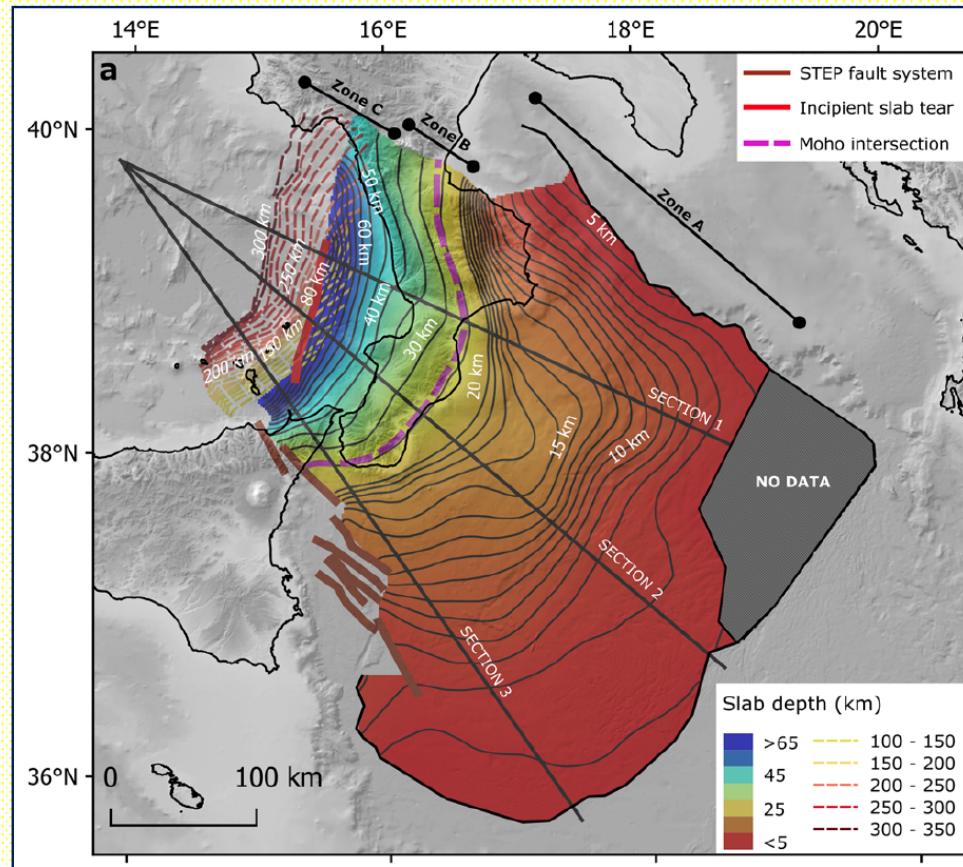
Faglie attive crostali - Stato dell'arte



- Faglie normali della “Siculo-Calabrian Rift Zone” (e.g.: Tortorici et al., 1995), versante orientale della Calabria
- Thrust crostali del cuneo di accrezione della subduzione calabra (Polonia et al., 2011) nell'offshore ionico
- STEP (*Slab Transfer Edge Propagator*) fault al margine occidentale dello *slab* (Govers and Wortel, 2005; Polonia et al., 2011)
- Scarpata Ibleo-Maltese (e.g. Monaco e Tortorici, 2000)
- Strike-slip (e.g. Del Ben et al., 2008)

Faglie attive da varie fonti di letteratura. In: Tiberti et al., 2017

Subduzione – Stato dell'arte

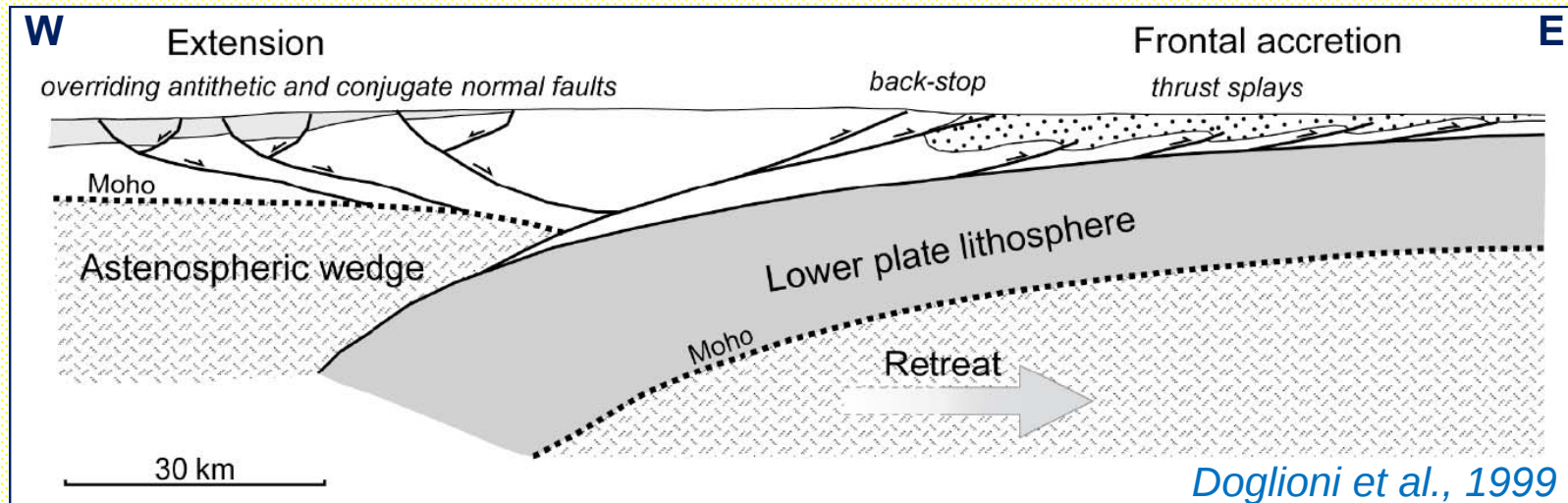


Maesano et al., 2017
(Tomografia da Neri et al., 2009)

Non abbiamo notizie di terremoti avvenuti nell'interfaccia di subduzione, né storiche né archeologiche.

Modello 3D dello *slab* ottenuto integrando la porzione più superficiale (<20 km), risultato dell'interpretazione di 54 linee sismiche con un modello più profondo (>40 km) ottenuto dalla sismicità strumentale. Uno *slab tear* sembra essere in formazione alla profondità di 70-100 km.

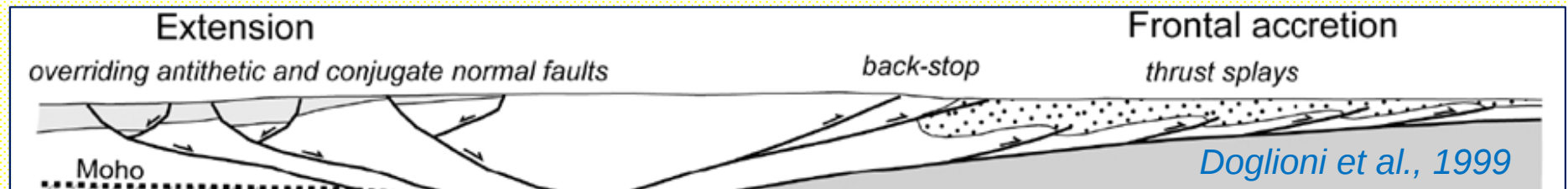
Modello concettuale della subduzione ovest-immergente



Nel cuneo di accrezione: tettonica compressiva *thin-skinned* che coinvolge prevalentemente la copertura sedimentaria. *Thrust splays* sintetici rispetto al piano di subduzione.

Nella porzione più interna della placca superiore: tettonica estensionale *thick-skinned* che interessa l'intero spessore crostale. Faglie normali a basso angolo antitetiche rispetto al piano di subduzione e alle loro coniugate ad alto angolo.

Modello sismogenetico – Faglie crostali

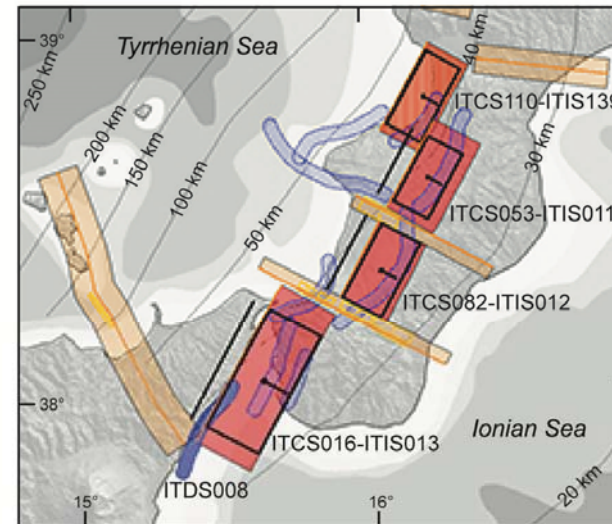


Le sorgenti sismogenetiche:

- sono congruenti con la localizzazione dei più forti terremoti;
- sono state individuate e caratterizzate attraverso analisi di dati geologici, interpretazione di profili sismici, analisi di tectonic geomorphology,
- sono state suddivise in differenti categorie, a seconda della loro cinematica e della loro posizione strutturale nel contesto del sistema di subduzione;
- sono responsabili di eventi con $M \geq 5.5$ e sono state implementate in DISS.

Faglie estensionali a basso angolo est-immergenti

Source Type	A1
Structural setting	Back-arc
Structural type	Overriding antithetic
Faulting style	Normal faulting
Dip	Low-angle
Benioff plane depth	~ 45-35 km
Largest associated EQ	28.12.1908 M_w 7.1
Largest associated tsunami	28.12.1908 I 5
Remarks	Sources responsible for the largest known historical EQS



Individual Seismogenic Sources

ID	Name	Length (km)	Width (km)	Depth (km)	Strike (deg)	Dip (deg)	Rake (deg)	Slip (m)	Slip Rate (mm/y)	M	Latest EQ
ITIS139	Sant'Eufemia	25.0	14.4	0.5-9.4	31	38	270	2.00	0.11-0.3	6.8	8 Sep 1905
ITIS011	Upper Mesima Basin	22.0	13.5	3.0-9.8	30	30	270	1.09	0.1-1.0	6.6	7 Feb 1783
ITIS012	Gioia Tauro Plain	25.0	15.0	3.0-10.5	30	30	270	0.86	0.1-1.0	6.6	5 Feb 1783
ITIS013	Messina Straits	40.0	20.0	3.0-12.7	30	29	270	1.42	0.93-2.0	7.0	28 Dec 1908

Composite Seismogenic Sources

ID	Name	Depth (km)	Strike (deg)	Dip (deg)	Rake (deg)	Slip rate (mm/y)	Max M
ITCS110	Sant'Eufemia	0.5-12.0	25-35	35-45	260-280	0.11-0.3	6.8
ITCS053	Serre	3.0-11.0	20-40	20-40	260-280	0.1-1.0	6.6
ITCS082	Gioia Tauro	3.0-11.0	20-40	20-40	260-280	0.1-1.0	6.6
ITCS016	Aspromonte-Peloritani	2.0-13.0	20-40	25-40	250-280	0.9-2.0	7.0

Debated Seismogenic Sources

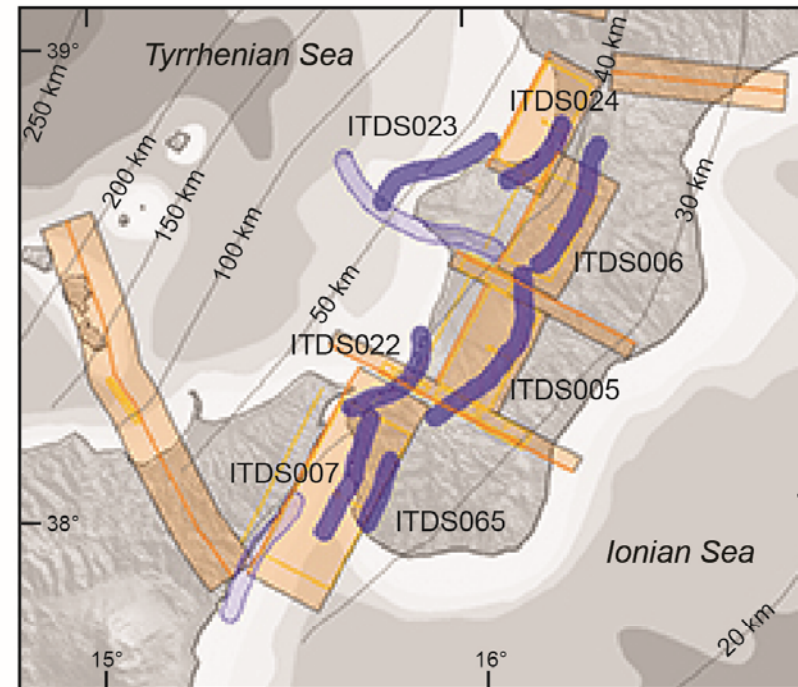
ID	Name	References
ITDS008	Taormina	Stewart et al., 1997

Faglie estensionali ad alto angolo ovest-immergenti

Source Type	A2
Structural setting	Back-arc
Structural type	Overriding conjugate
Faulting style	Normal faulting
Dip	High-angle
Benioff plane depth	~ 40-30 km
Largest associated EQ	Unknown
Largest associated tsunami	Unknown
Remarks	Root on A1 Type faults

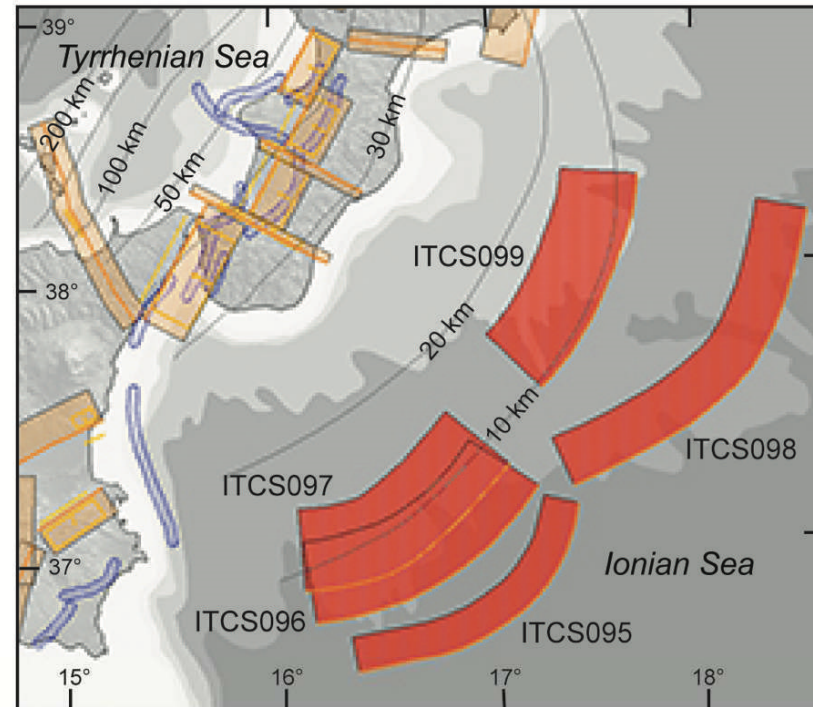
No Individual Seismogenic Sources
No Composite Seismogenic Sources
Debated Seismogenic Sources

ID	Name	References
ITDS023	Capo Vaticano	Monaco and Tortorici, 2000
ITDS024	Vibo	Monaco and Tortorici, 2000
ITDS006	Serre	Tortorici et al., 1995
ITDS005	Cittanova	Tapponier et al., 1987
ITDS022	Scilla	Ghisetti, 1992
ITDS007	Reggio Calabria	Ghisetti, 1992
ITDS065	Armo	Ghisetti, 1992



Thrust splays nel cuneo di accrezione

Source Type	B
Structural setting	Accretionary wedge
Structural type	Synthetic splays
Faulting style	Thrusting
Dip	Low-angle
Benioff plane depth	NA
Largest associated EQ	Unknown
Largest associated tsunami	Unknown
Remarks	Mapped from seismic profiles



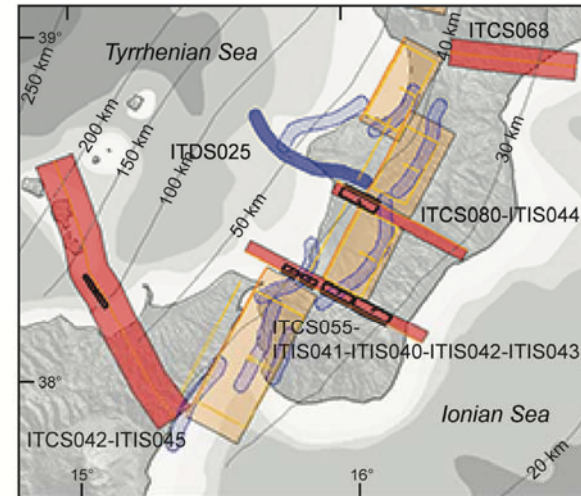
No Individual Seismogenic Sources Composite Seismogenic Sources

ID	Name	Depth (km)	Strike (deg)	Dip (deg)	Rake (deg)	Slip rate (mm/y)	Max M
ITCS099	Calabria offshore NW	3.0-12.0	180-250	10-40	80-100	0.8-2.0	7.1
ITCS098	Calabria offshore NE	4.0-9.0	180-260	10-20	80-100	0.8-2.0	7.1
ITCS097	Calabria offshore SW	4.0-12.0	180-280	10-20	80-100	0-5-1.3	7.1
ITCS096	Calabria offshore S	4.0-12.0	190-270	10-20	80-100	0-5-1.3	7.1
ITCS095	Calabria offshore SE	4.0-9.0	190-270	15-25	80-100	0-5-1.3	7.1

No Debated Seismogenic Sources

Faglie trascorrenti

Source Type	C
Structural setting	Subduction linked
Structural type	Shear zone
Faulting style	Strike slip
Dip	Sub-vertical
Benioff plane depth	~ 25-200 km
Largest associated EQ	16.11.1894 M _w 6.1
Largest associated tsunami	23.10.1907 I 3
Remarks	Related to boundaries of the Subduction (ITCS068 and ITCS042) or/and dissects the back-arc extensional axis (ITCS068, ITCS080, ITCS055 and ITCS042)



Individual Seismogenic Sources

ID	Name	Length (km)	Width (km)	Depth (km)	Strike (deg)	Dip (deg)	Rake (deg)	Slip (m)	Slip Rate (mm/y)	M	Latest EQ
ITIS044	Nicotera-Rosarno	12.5	8.8	3.0-11.3	120	70	315	0.37	0.1-0.5	6.0	7 Mar 1928
ITIS041	Scilla offshore	5.0	4.5	3.0-7.2	300	70	225	0.16	0.1-0.5	5.3	16 Nov 1894 (1/2)
ITIS040	Aspromonte Northwest	5.0	4.5	3.0-7.2	300	70	225	0.16	0.1-0.5	5.3	6 Feb 1783
ITIS042	Aspromonte Northeast	10.0	7.5	3.0-10.0	300	70	225	0.27	0.1-0.5	5.8	16 Nov 1894 (2/2)
ITIS043	Aspromonte East	12.5	8.8	3.0-11.3	300	70	225	0.37	0.1-0.5	6.0	23 Oct 1907
ITIS045	Patti Gulf	12.1	8.6	1.5-10.0	147	83	180	0.6	0.1-0.5	6.1	15 Apr 1978

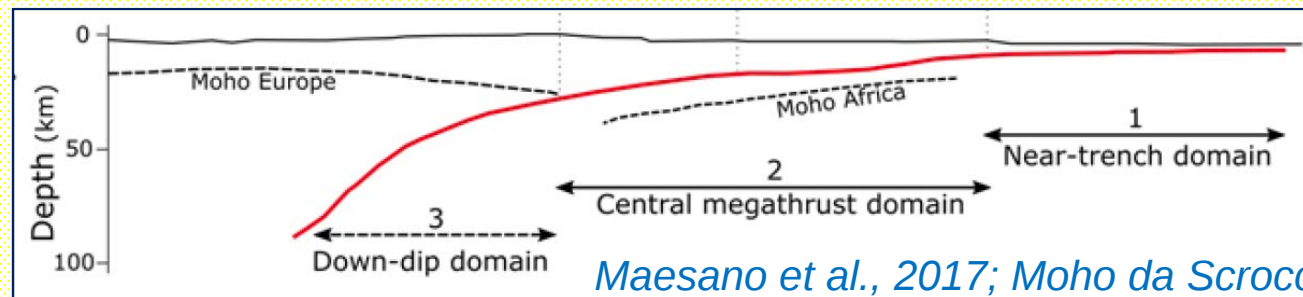
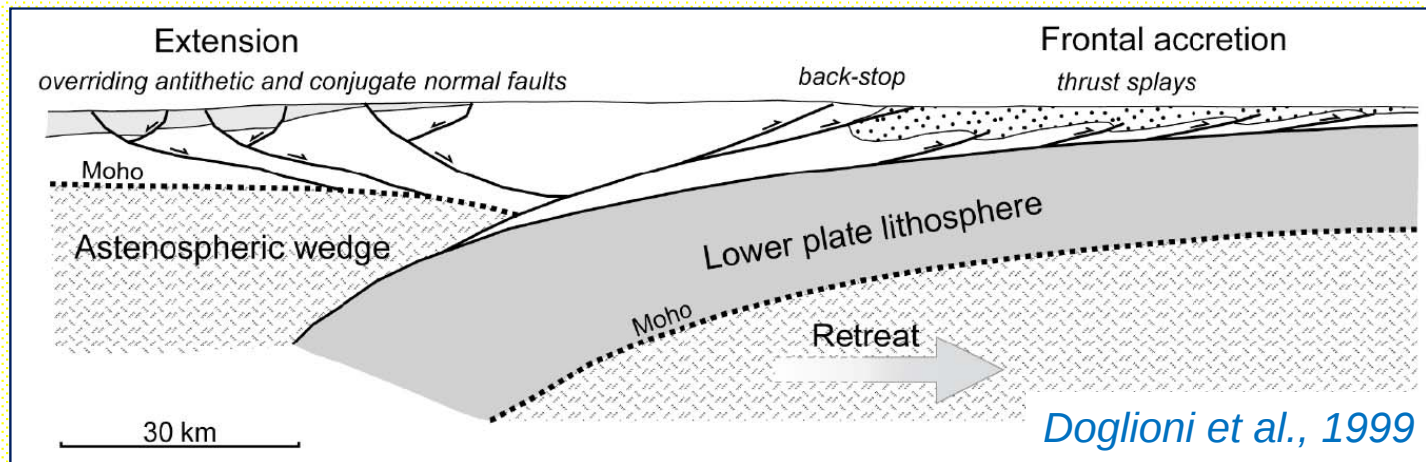
Composite Seismogenic Sources

ID	Name	Depth (km)	Strike (deg)	Dip (deg)	Rake (deg)	Slip rate (mm/y)	Max M
ITCS068	Caraffa-Squillace Gulf	3.0-20.0	90-110	70-90	330-10	0.1-0.5	6.9
ITCS080	Nicotera-Roccella Ionica	3.0-12.0	110-130	60-80	300-330	0.1-0.5	6.0
ITCS055	Bagnara-Bovalino	3.0-12.0	290-310	60-80	210-240	0.1-0.5	6.0
ITCS042	Patti-Eolie	1.0-25.0	140-170	70-90	180-220	0.1-0.5	6.1

Debated Seismogenic Sources

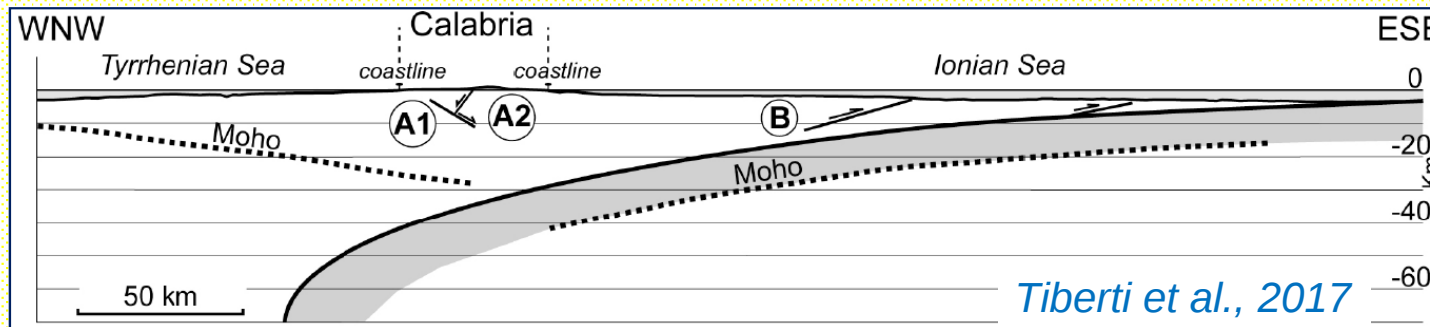
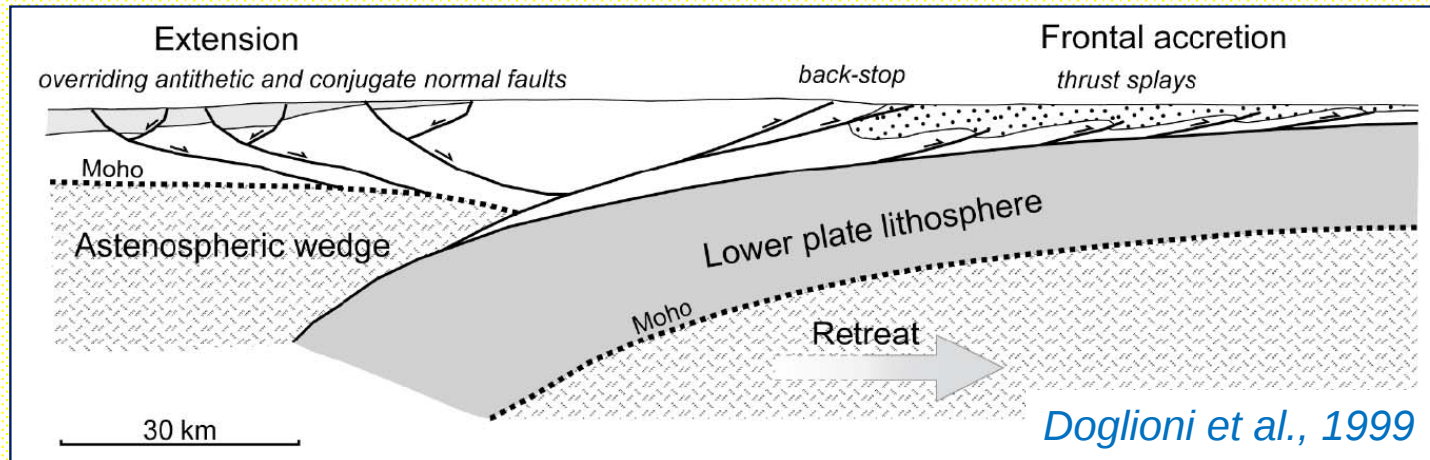
ID	Name	References
ITDS025	Coccorino	Monaco and Tortorici, 2000

Modello concettuale vs. modello sismogenetico terremoti di subduzione (potenziali)



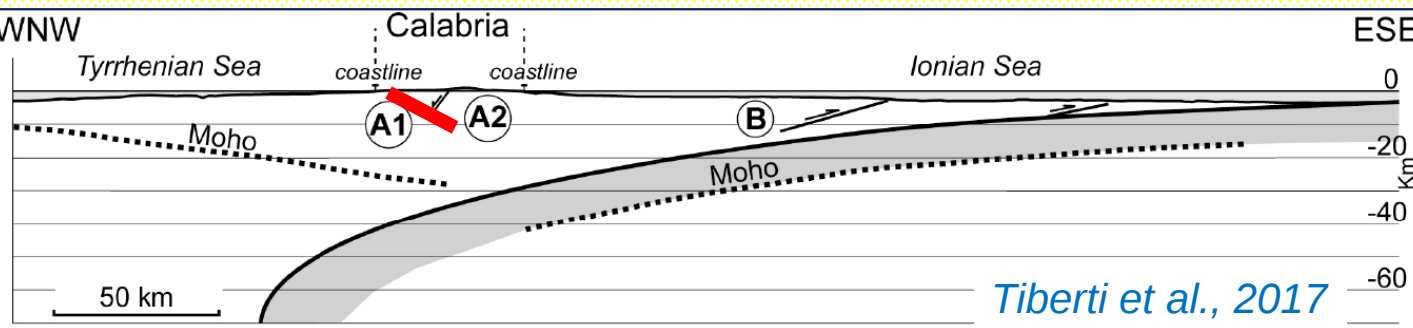
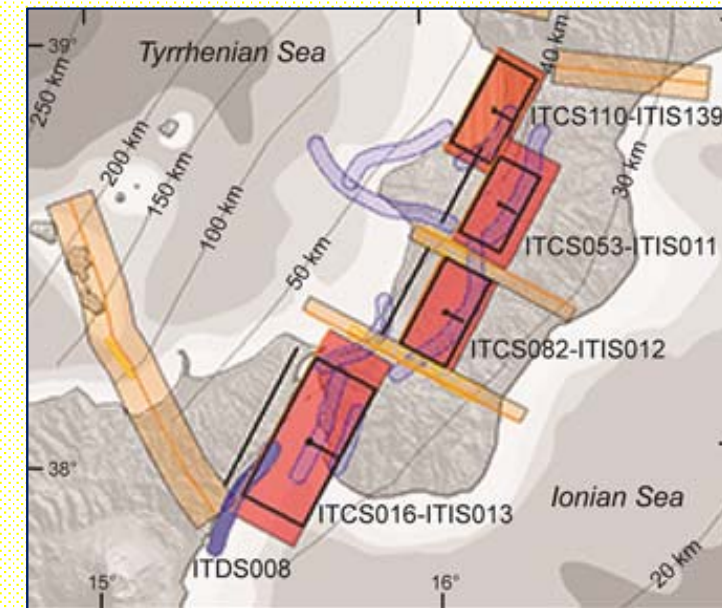
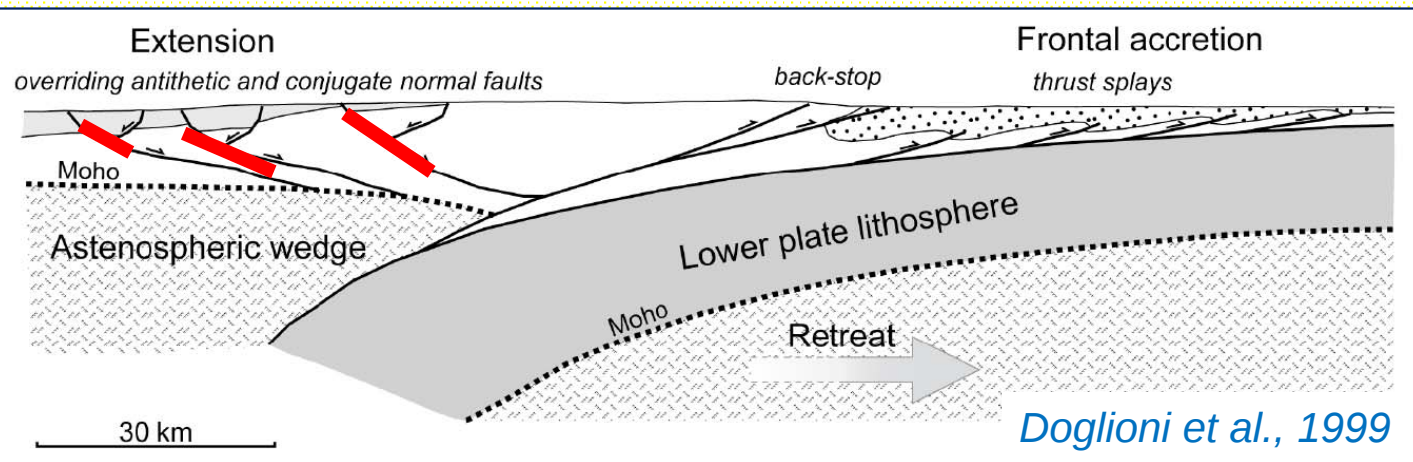
La geometria dell'interfaccia della subduzione calabra ha un ottimo accordo con quella del modello concettuale. Questa geometria permette di individuare i principali domini dell'interfaccia (in rosso), che a loro volta condizionano le tipologie dei terremoti che vi si potrebbero generare.

Modello concettuale vs. modello sismogenetico *terremoti crostali (osservati)*



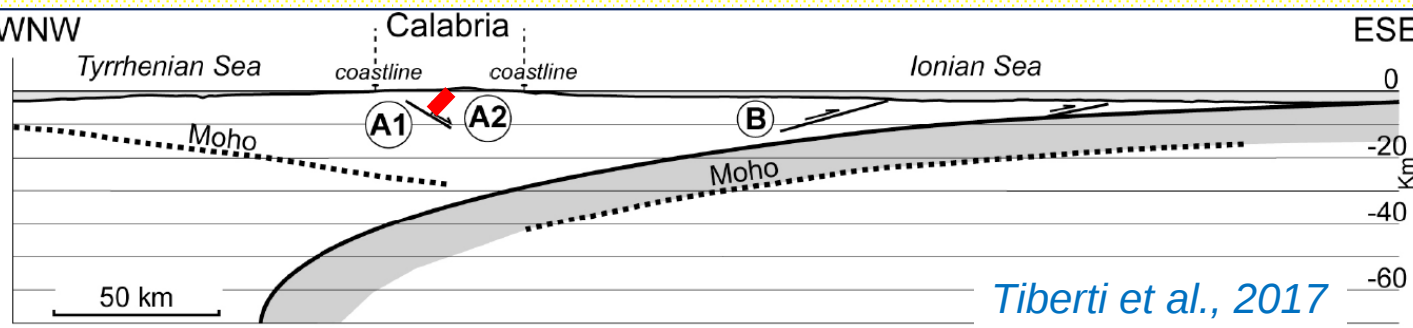
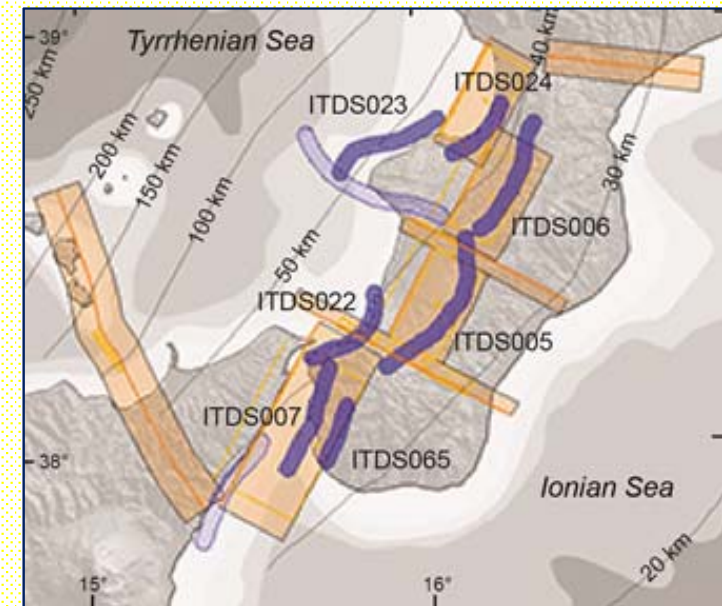
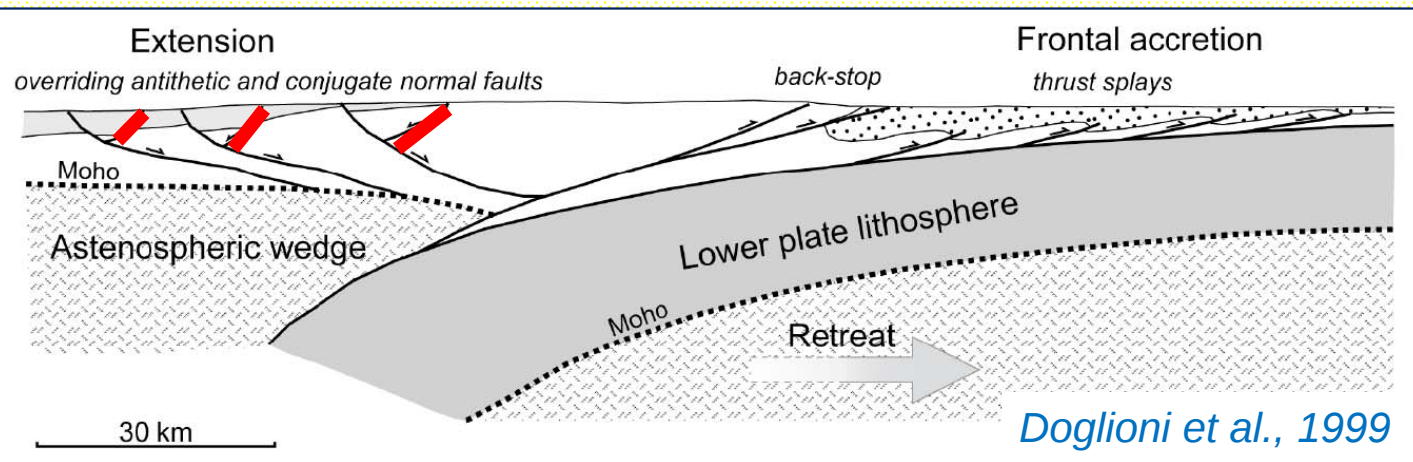
1. Posizioniamo la Calabria «emersa» all'interno del modello; 2. Rappresentiamo in scala -in 3D- le sorgenti del nostro modello sismogenetico; 3. Vediamo l'eventuale corrispondenza con il modello concettuale.

Modello concettuale vs. modello sismogenetico Sorgenti Sismogenetiche Gruppo A1



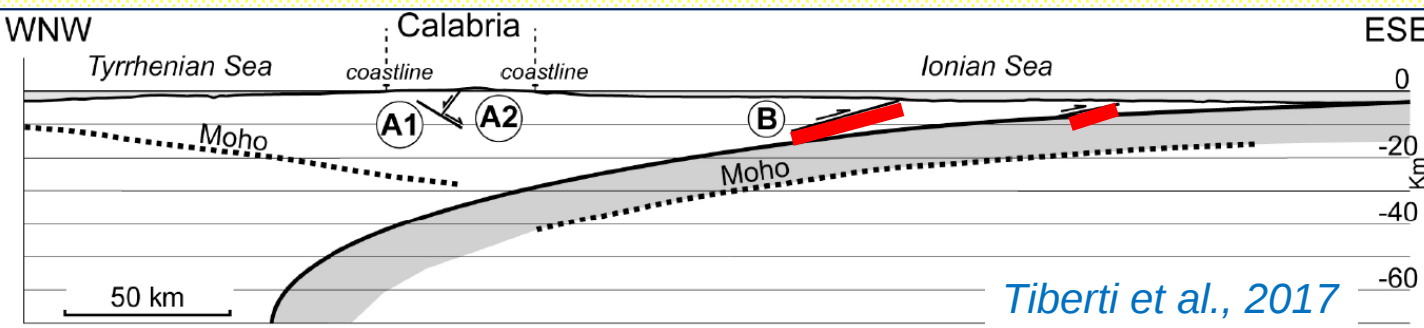
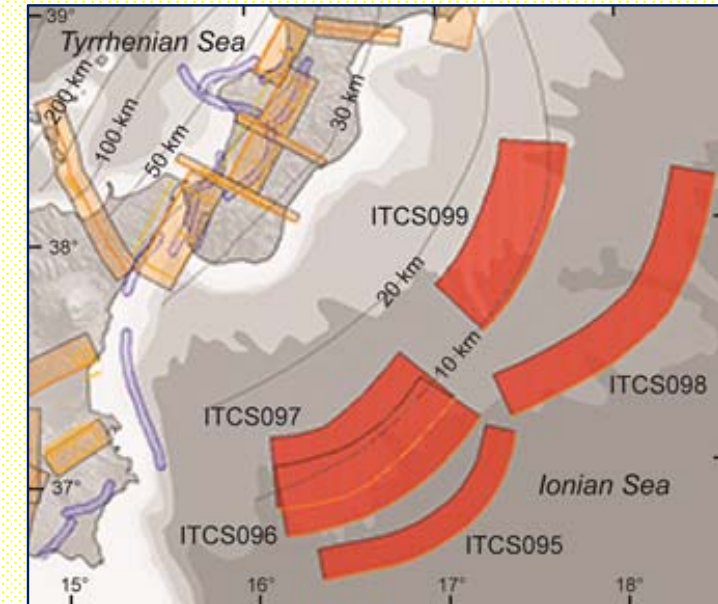
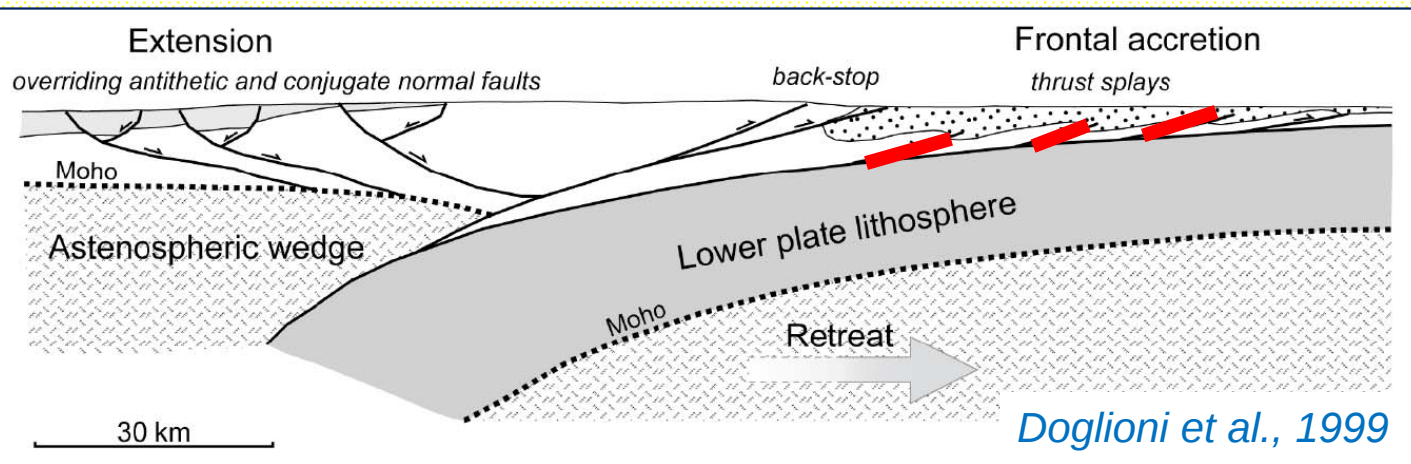
Ottima corrispondenza con il modello. Potrebbero esistere altre strutture est-immergenti sia *offshore* sia *onshore*.

Modello concettuale vs. modello sismogenetico Sorgenti Sismogenetiche Gruppo A2



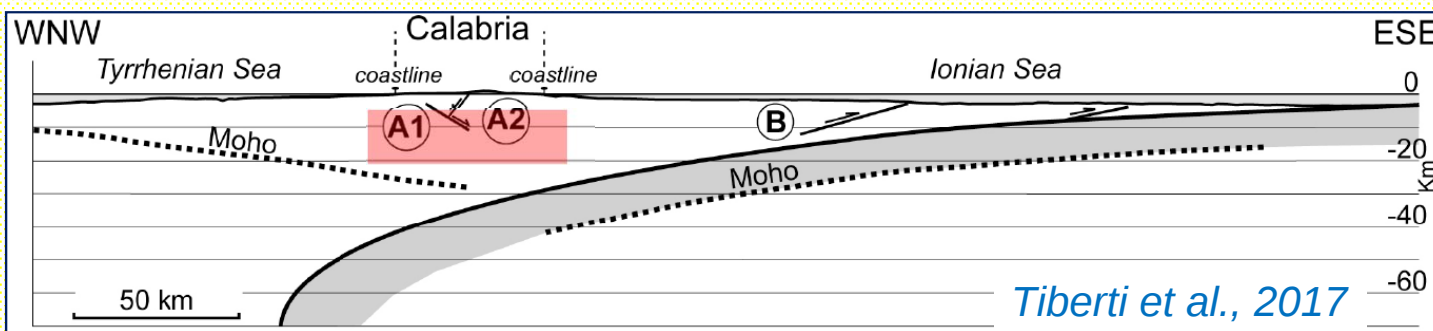
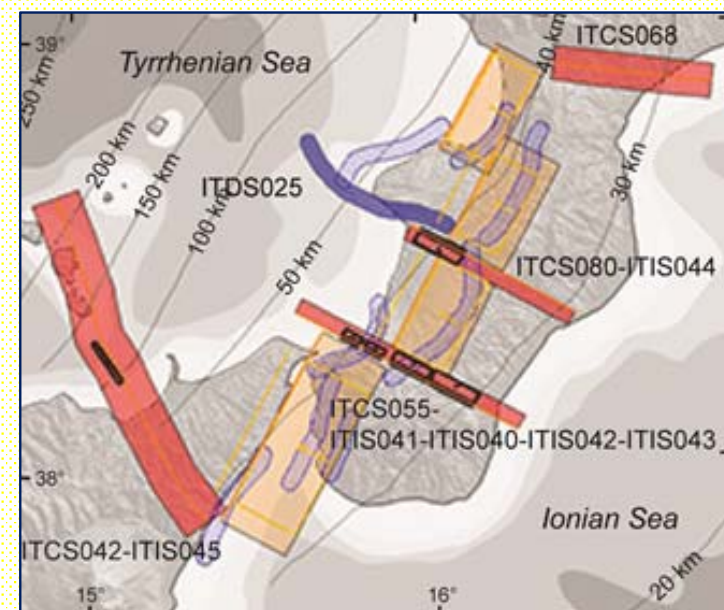
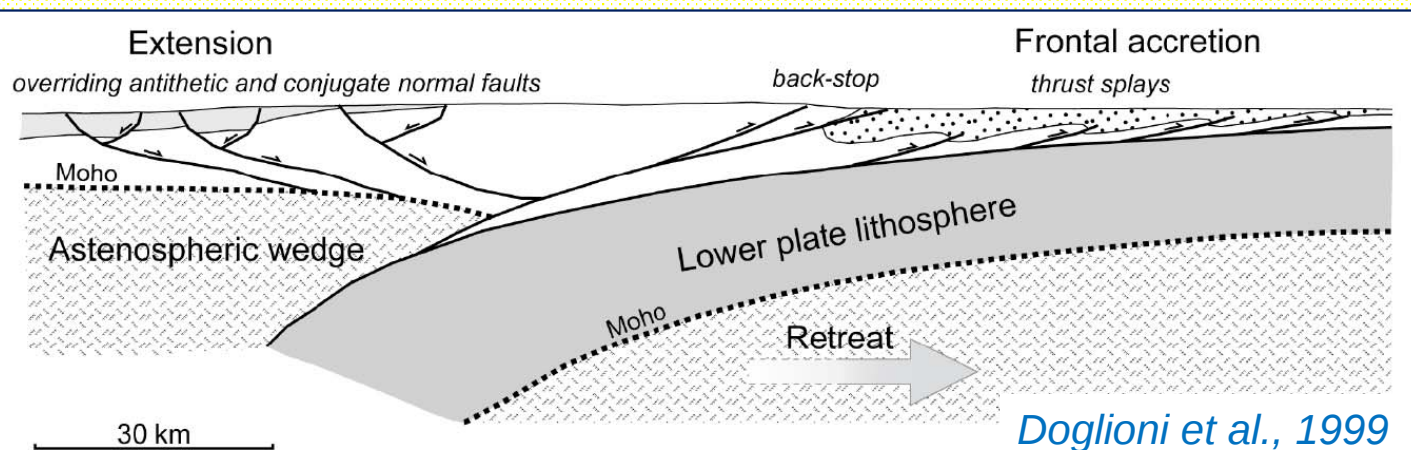
Ottima corrispondenza con il modello. Potrebbero esistere altre strutture ovest-immidenti sia *offshore* sia *onshore*.

Modello concettuale vs. modello sismogenetico Sorgenti Sismogenetiche Gruppo B



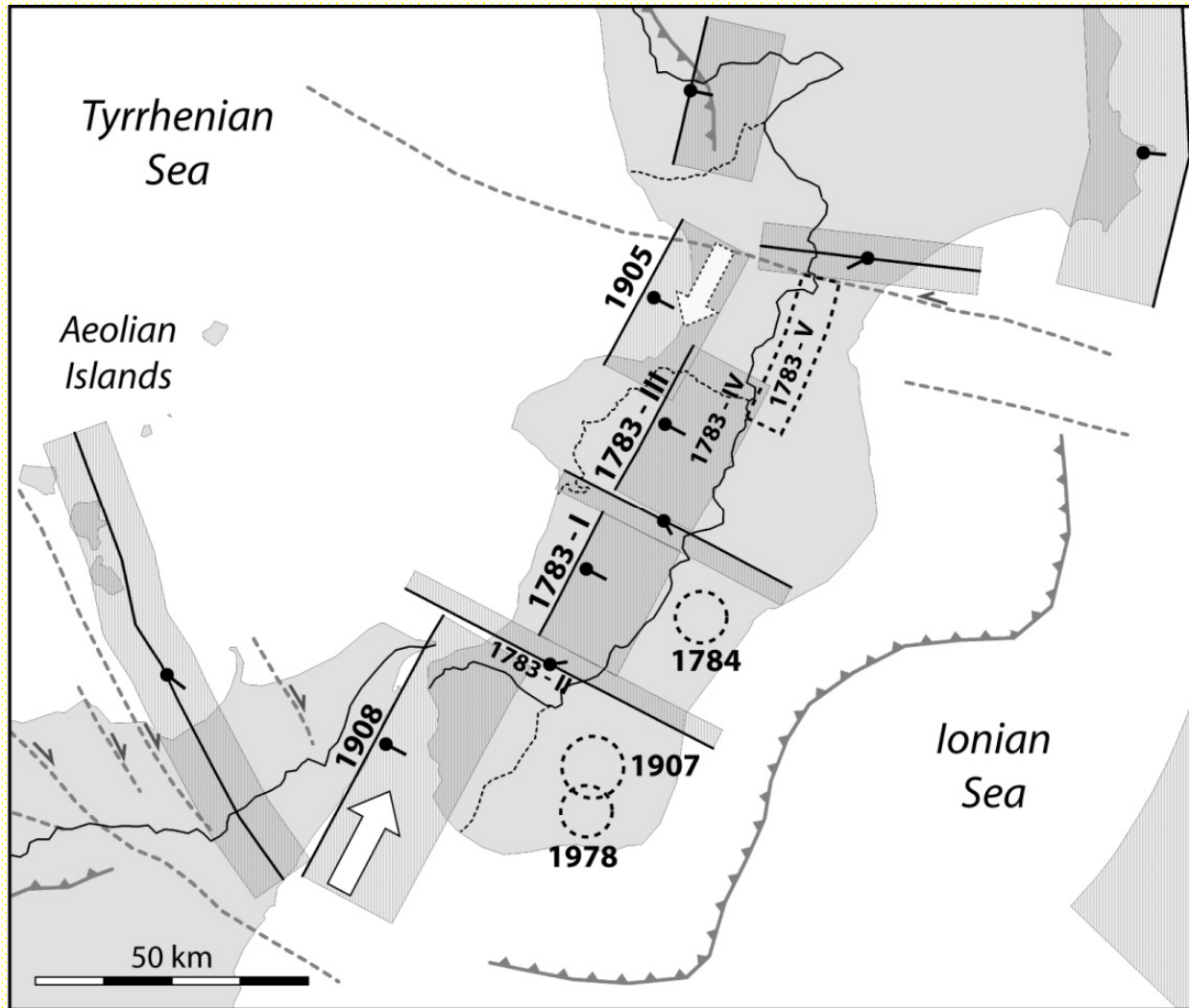
Ottima corrispondenza con il modello. Potrebbero esistere altre strutture offshore.

Modello concettuale vs. modello sismogenetico Sorgenti Sismogenetiche Gruppo C



Strutture parallele alla sezione, attraversano la Calabria dal Tirreno allo Ionio interrompendo l'asse estensionale.

Sintesi sismotettonica - I



Dettaglio sui 4 forti terremoti del 5 e 7 febbraio 1783, del 1905 e del 1908.

La parte centrale dell'Arco si è attivata in tre giorni nel 1783; mentre gli estremi dell'Arco nell'arco di tre anni.

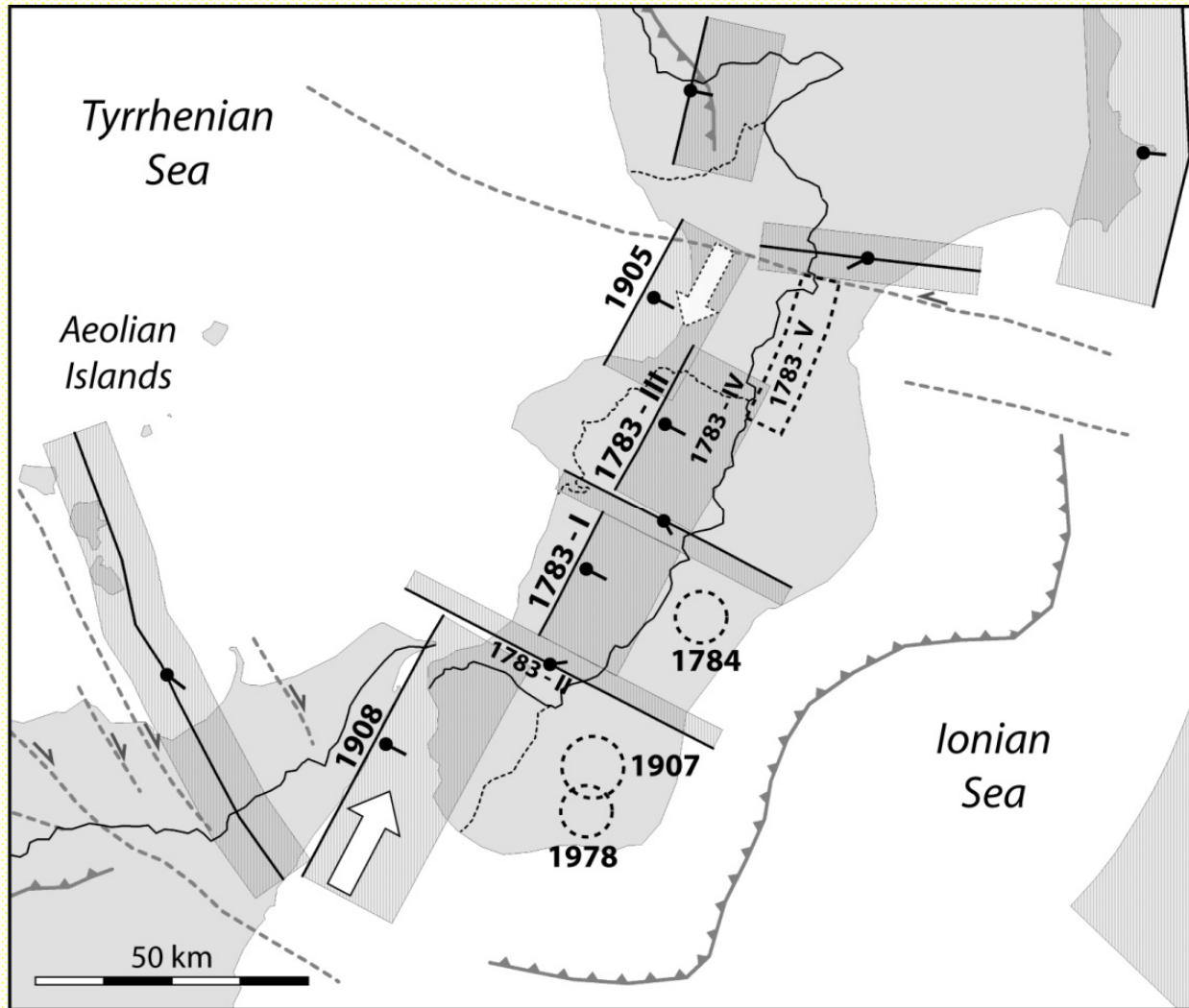
L'attivazione delle principali faglie normali est-immergenti ha «rotto» l'intero Arco Calabro Meridionale nell'arco di 125 anni.

I terremoti che avvengono a est dello spartiacque (1978, 1907, 1784) potrebbero essere stati generati da:

- faglie normali ovest-pendenti (gruppo A2), oppure,
- faglie compressive (gruppo B)

Tiberti et al., 2017

Sintesi sismotettonica - II

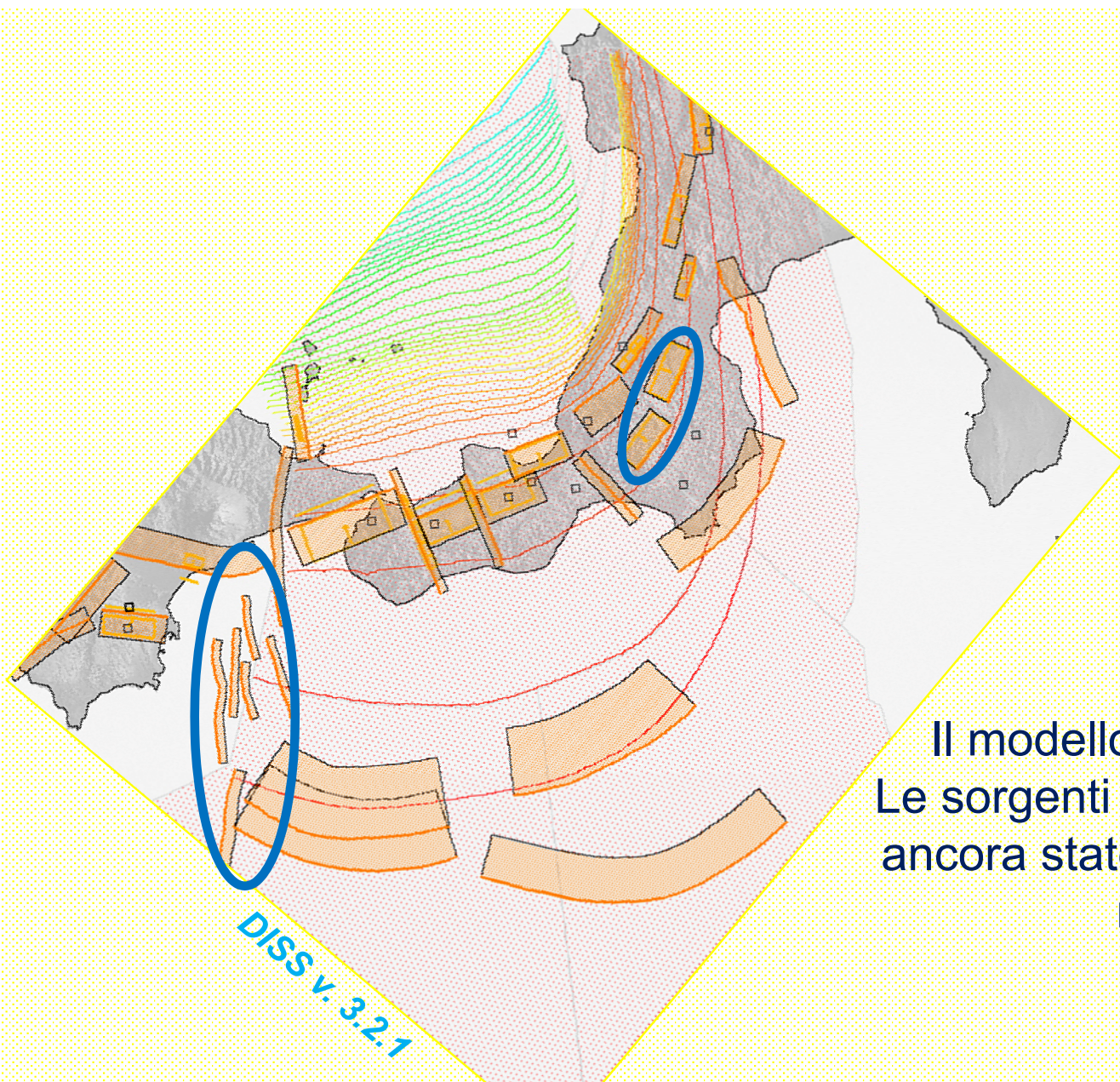


Con il nostro modello sismogenetico proponiamo di colmare il gap tra la geodinamica a grande scala e i processi sismogenetici a scala locale.

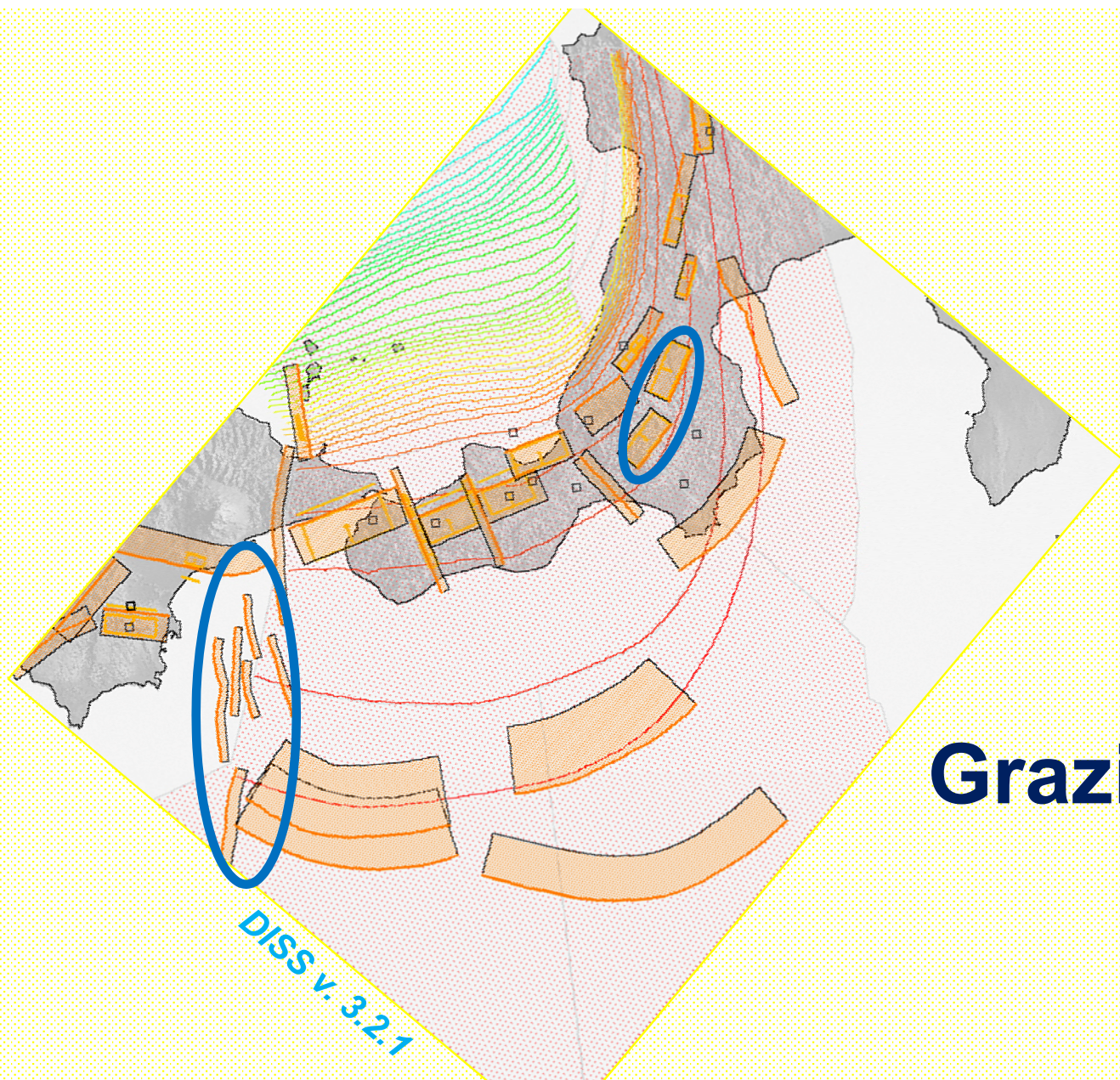
La subduzione è il principale motore geodinamico. Le faglie crostali sono una diretta conseguenza del movimento e dell'arretramento della litosfera ionica in subduzione.

Questo movimento crea il collasso della catena nel lato tirrenico della Calabria e la creazione del cuneo di accrezione nel lato ionico.

Tiberti et al., 2017



Il modello sismogenetico non è completo.
Le sorgenti di diversi terremoti storici non sono
ancora state individuate (p.e. 28 marzo 1783),
ma ci stiamo lavorando!



Grazie per l'attenzione!