



REGIONE SICILIA
Provincia di Ragusa
Comune di Ragusa

**CONCESSIONE DI COLTIVAZIONE “RAGUSA”
PERFORAZIONE DEL POZZO ESPLORATIVO ARANCIO 1 DIR
E MESSA IN PRODUZIONE IN CASO DI MINERALIZZAZIONE**

**Integrazioni allo
STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE
SAGE/SIA_INT/001/2015**

*Appendice V
Proposta di piano di monitoraggio microsismico*

Agosto 2016

00	Emissione per Enti	GEOM/ENIMED	ENIMED	ENIMED	Agosto 2016
REV.	DESCRIZIONE	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO	DATA



eni S.p.A.
Exploration

Doc. N° GEOM-2016034-MS-RT-01

TIPOLOGIA
DOCUMENTO:

DI

RAPPORTO TECNICO

TITOLO:

CAMPO DI RAGUSA

Studio Geologico e Sismologico

DISTRIBUZIONE:

A: *Enimed - SAGE*

NOTE:

DATA EMISSIONE: 12/08/2016

"Servizi di Geologia e Geofisica"

GEOM

"Geodinamica e Monitoraggio Geofisico"

00
Rev.

64
Pagine

Redatto da: GEOM

E. Norelli
E. Norelli
F. Ferulano
F. Ferulano
A. Orefice
A. Orefice
L. Barzaghi
L. Barzaghi

Verificato da: GEOM

L. Barzaghi
L. Barzaghi
F. Ferulano
F. Ferulano

Approvato da: GEOM

M. Mileti
M. Mileti
L. Barzaghi



eni S.p.A.
Exploration

RAPPORTO TECNICO

“STUDIO GEOLOGICO E SISMOLOGICO CAMPO DI
RAGUSA“

DOC. N.
GEOM-2016034-MS-RT-01

REV.
00

PAG. 2 DI 64


Foglio Revisioni

Rev.	Modifiche
00	12/08/2016 Emissione



INDICE

1	Introduzione	4
2	Sintesi risultati	5
3	Geologia.....	7
3.1	Analisi degli elementi strutturali	9
3.1.1	Arco Calabro.....	9
3.1.2	Il Massiccio Ibleo.....	10
3.1.3	Il canale di Sicilia	15
3.1.4	Il Rift Siculo-Calabro (faglia ibleo maltese).....	16
3.2	Geologia di superficie	18
4	Storia sismica della Sicilia Sud-Orientale e valutazione della pericolosità sismica dell'area di Ragusa.....	20
4.1	Sismicità nell'area di Ragusa	20
4.1.1	Sismicità storica (1000-2006).....	20
4.1.2	Sismicità strumentale (1981-2013).....	25
4.1.3	Faglie sismogenetiche	32
4.1.4	Faglie capaci	34
4.2	Vulnerabilità.....	35
4.2.1	Risentimenti avvertiti nell'area di Ragusa	35
4.2.2	Inquadramento amministrativo e normativa sismica	39
4.2.3	Analisi statistiche.....	42
5	Struttura della rete di monitoraggio sismico	44
5.1	Geometria.....	44
5.2	Strumentazione.....	52
6	Stima tempi di realizzazione della rete microsismica	57
7	Bibliografia.....	60
7.1	Bibliografia della parte geologica	60
7.2	Bibliografia della parte sismologica.....	62
7.3	Bibliografia dei documenti amministrativi.....	64

 eni S.p.A. Exploration	RAPPORTO TECNICO		
	"STUDIO GEOLOGICO E SISMOLOGICO CAMPO DI RAGUSA"		
	DOC. N. GEOM-2016034-MS-RT-01	REV. 00	PAG. 4 DI 64

1 Introduzione

Il prospect Arancio è ubicato nella porzione meridionale della concessione Ragusa. Per verificare la mineralizzazione del prospect è prevista la perforazione del pozzo Arancio-1 Dir, ubicato in prossimità delle propaggini meridionali del campo ad olio di Ragusa (EniMed, 2015).

Nell'ambito del processo autorizzativo, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) ha richiesto una serie di integrazioni alla documentazione presentata (MATTM, 2016).

A tale scopo è stato eseguito il presente studio, che si propone di valutare la realizzazione di una rete di monitoraggio sismico, inquadrandola nel contesto geologico, tettonico e sismologico della regione Iblea, dove si trova ubicato il campo di Ragusa. Tale analisi è condotta in accordo con le indicazioni del documento "*Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell'ambito delle attività antropiche*" emesso il 24 Novembre 2014 dal Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE), di seguito indicato con la sigla ILG.

Nel presente studio, ai fini della progettazione della rete, è opportuno considerare il campo di Ragusa nel suo complesso, di cui, il pozzo Arancio-1 Dir rappresenterà un eventuale allargamento verso Sud, di limitata estensione.

Per il campo di Ragusa non vale la condizione di esclusione prevista dagli ILG: benché la profondità del giacimento sia inferiore a 2000 m, le riserve originarie di olio sono superiori alla soglia di 30 milioni di barili di olio, richiesti dagli ILG.

Nel caso si decida di procedere con la realizzazione della rete, i presenti risultati andranno precisati nel corso di una successiva progettazione di dettaglio.



2 Sintesi risultati

Il campo di Ragusa è posto in posizione centrale nel Massiccio Ibleo, area di avampaese della Catena Appenninico Maghrebide, interessato da sistemi geodinamici a scala regionale, che ne condizionano l'assetto strutturale.

Si individuano sistemi di faglie a movimento transtensivo sul lato ionico (Rift Siculo – Calabro e strutture annesse); a Ovest e Sud-Ovest la faglia di Scicli a componente prevalentemente trascorrente, i sistemi Comiso-Chiaramonte e il Graben di Marina di Ragusa; a Nord il sistema di graben Scordia-Lentini. Ragusa si trova nell'area maggiormente interessata dalla faglia di Scicli.

L'area Iblea è una zona tettonicamente e sismicamente attiva e ha sperimentato terremoti di notevole intensità, i cui effetti catastrofici sono stati subiti anche dalla città di Ragusa, danneggiata dall'evento del 9 Gennaio 1693 e distrutta da quello successivo del 11 Gennaio. Per l'area ristretta intorno al campo la complessa distribuzione di fratture evidenziata dalle analisi geologico-strutturali e le registrazioni strumentali degli ultimi 30 anni indicano l'esistenza di una attività sismica con profondità degli ipocentri nei primi 30-40 km della crosta. La magnitudo massima registrata entro 30 km dal campo negli ultimi due secoli è stata 5.2; è compreso tra 4.5-6.0 il valore di magnitudo per un forte evento in zona previsto dalle stime di probabilità effettuate dal Progetto DPC-INGV S1.

La geologia superficiale dell'area di Ragusa è caratterizzata da un plateau carbonatico, che la tettonica e i processi di erosione da parte dell'idrografia superficiale hanno profondamente inciso determinando un paesaggio a pareti subverticali. Nelle vicinanze di tali strutture possono verificarsi amplificazioni degli effetti di sito in occasione di eventi sismici.

Questa situazione complessiva ha determinato una catalogazione dell'area di Ragusa come Zona 2, con passaggio a Zona 1 per tutte le strutture “Strategiche e rilevanti”.



Nel progetto si ipotizza la realizzazione di una **rete formata da 8 stazioni**, 4 nel Dominio Interno di rilevazione (area estesa fino a 5 km dal bordo del giacimento, così come definito dagli ILG) e 4 nel Dominio Esteso di rilevazione (area estesa fino a 10 km dal bordo del giacimento). La geometria della rete proposta tiene conto della presenza, nell' area circostante il campo, di 1 stazione della Rete Sismica Nazionale, che fornisce un controllo aggiuntivo e indipendente della zona del giacimento. I relativi dati saranno utilizzati insieme a quelli della rete Eni per un'analisi integrata dei fenomeni sismici.

Al momento si ipotizza che tutte le stazioni abbiano i sensori installati in superficie.

I **tempi** per la realizzazione della rete si possono stimare in **18 mesi** dall'avvio del progetto.



3 Geologia

Questa nota vuole fornire una visione schematica della geologia della Sicilia Sud Orientale, con lo scopo di contribuire ad individuare e descrivere le aree sismogenetiche, nell’ambito del progetto di realizzazione di una rete di monitoraggio microsismico da installare in un intorno (ca 10 km) del campo a olio di Ragusa.

La Sicilia rappresenta uno dei punti più complessi della situazione geologica e geodinamica del Mediterraneo. Tale situazione mostra un assetto strutturale profondo caratterizzato dalla sovrapposizione di Unità bacinali alloctone su scaglie embriciate di piattaforma carbonatica, a loro volta sovrascorse su un avampaese poco o nulla deformato (blocco Ibleo – Pelagiano). La Fig. 1 (Finetti et al., 1996) fornisce una visione schematica della situazione e illustra, a scala regionale come nelle realtà locali, la complessità geologica dell’area mediterranea, compresa (e compressa!) nella dinamica delle placche africana ed euroasiatica.

Gli elementi strutturali e geodinamici principali nell’area sono:

- L’Arco Calabro.
- Il Massiccio Ibleo.
- Il Canale di Sicilia (nella figura, “*Pelagian Foreland*”).
- La faglia ibleo maltese e più in generale il sistema del Rift Siculo – Calabro.
- Il complesso vulcanico dell’Etna costituisce un sistema a se stante, che presenta una sismicità molto localizzata, sebbene non trascurabile, e non viene trattato in questo testo.

Tutti questi sistemi, che rappresentano situazioni comunque dominate dalla dinamica delle placche africana ed euroasiatica, sono da ritenersi tettonicamente attivi. Solo la falda di Gela, fronte dell’alloctono esterno della catena Maghrebide–Appenninica, risulta non più in movimento dal Pleistocene medio superiore.

La mappa in Fig. 2 mostra le relazioni esistenti tra i vari sistemi presenti nell’area dell’isola.

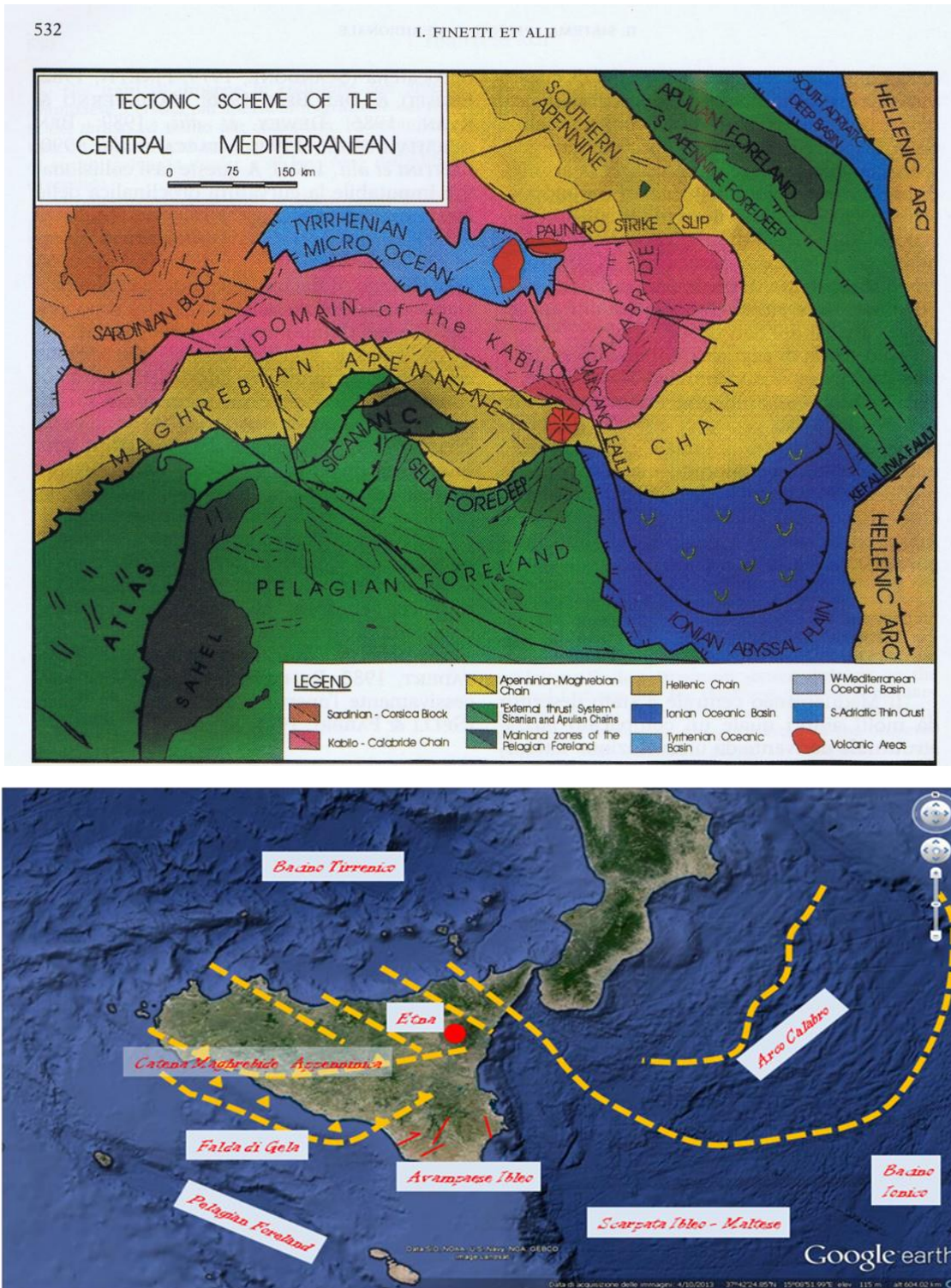


Fig. 1: schema tettonico del Mediterraneo Centrale (la figura in alto tratta da Finetti et al., 1996).

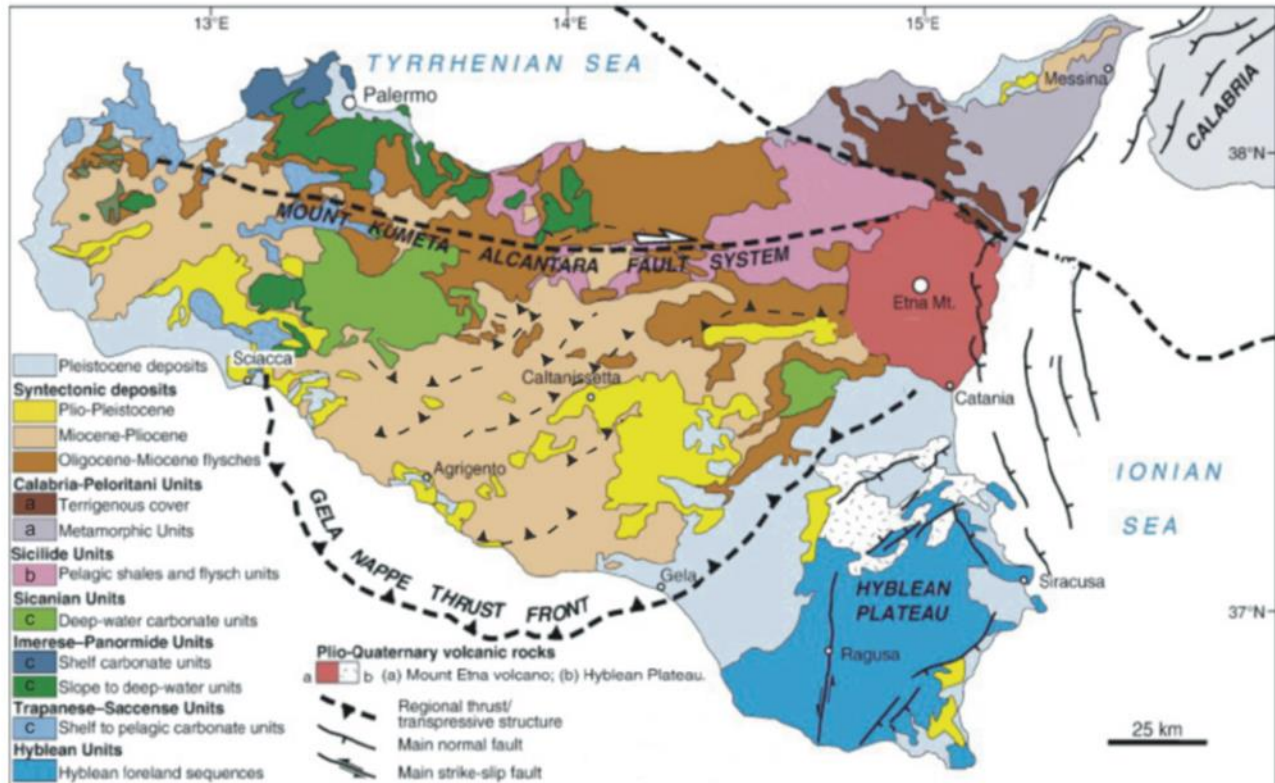


Fig. 2: schema tettonico della Sicilia (da Tassi et al. (2012), in Macchiavelli et al. (2013), ridis.).

3.1 Analisi degli elementi strutturali

3.1.1 Arco Calabro

Rappresenta una delle più complesse ed attive strutture geodinamiche del Mediterraneo; si tratta di una catena in formazione, costituita da un cuneo di accrezione formato dalla subduzione della placca ionica e costituito da sedimenti meso-cenozoici della litosfera africana impilati frontalmente lungo faglie a basso angolo.

La Fig. 3 illustra la distribuzione degli eventi sismici legati a tale subduzione, che presenta uno *slab* ad alto angolo nel Tirreno meridionale.

L'attività dell'arco calabro è documentata anche dal sollevamento della penisola della Calabria, con un evidente sviluppo di terrazzi marini riferibili al Pleistocene Superiore-Olocene su ambedue le coste della penisola.

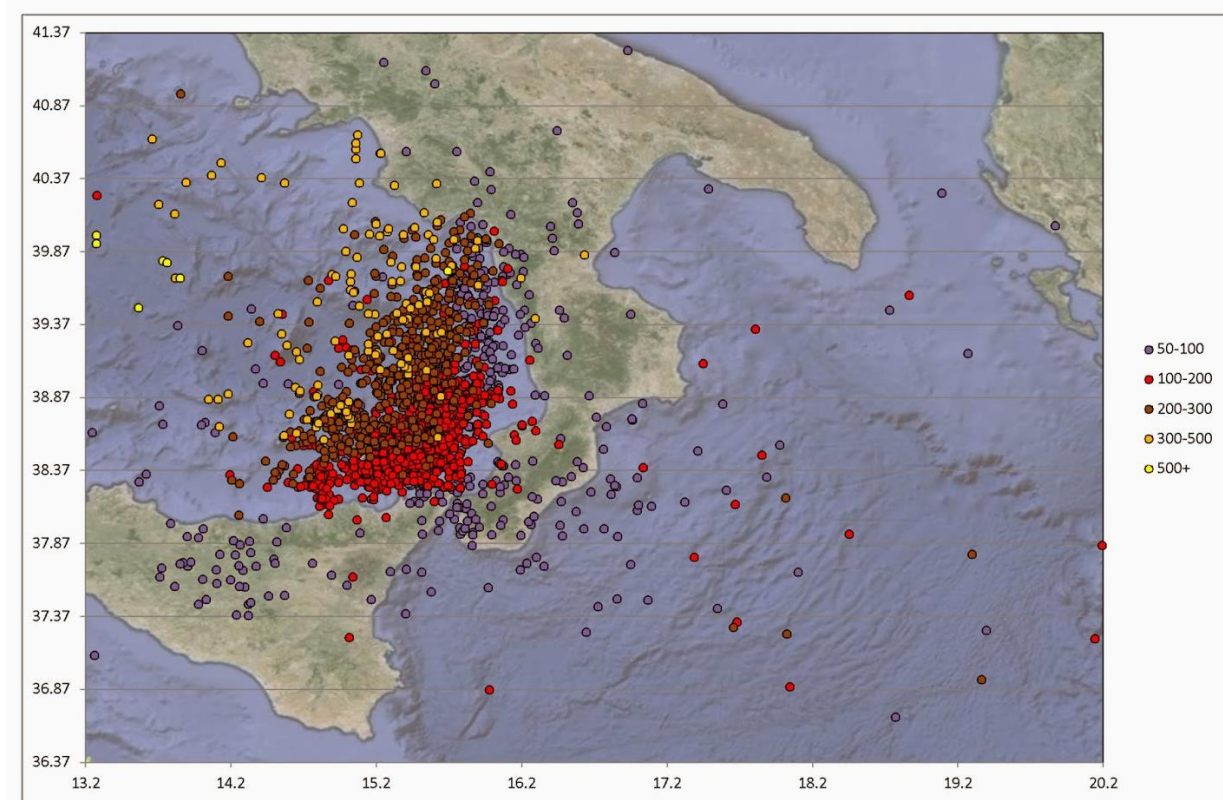


Fig. 3: distribuzione degli ipocentri correlabili allo slab presente sotto il Tirreno Meridionale (<http://studioprecursorisismici.blogspot.it>).

3.1.2 Il Massiccio Ibleo

Il plateau Ibleo rappresenta uno dei settori emersi del Blocco Pelagiano, delimitato a NW da un sistema di faglie normali di notevole rigetto, orientate NE-SW, che originano l'Avanfossa Gela-Catania, che è occupata dalle unità Alloctone del cuneo frontale della catena Appenninico-Maghrebide, di cui il Massiccio Ibleo rappresenta l'avampaese. La copertura sedimentaria dell'altopiano Ibleo è stata attraversata dal sondaggio Vizzini-1, fino ad una profondità di poco superiore ai 5500 metri. Essa è costituita da una potente successione di calcari di piattaforma del Trias-Giurassico Inferiore, con intercalazioni di vulcaniti basiche, ricoperte da pelagiti carbonatiche del Giurassico-Eocene, a cui seguono depositi carbonatici terziari, affioranti. Lentini e Carbone (2014) distinguono due aree: una orientale, caratterizzata da depositi di ambiente marino poco profondo, condizionato dallo



sviluppo di prodotti vulcanici, e una occidentale, con sedimenti carbonatici di mare aperto, con importanti fasi di risedimentazione di materiali provenienti dalle aree orientali. La Fig. 4 presenta uno schema stratigrafico strutturale dell'area, relativo alle formazioni affioranti (da Lentini e Carbone, 2014).

Dal Trias al Pleistocene inferiore il Plateau Ibleo è stato sede di attività vulcanica intermittente; le vulcaniti giurassiche e triassiche sono attualmente sepolte, mentre quelle del Cretaceo superiore affiorano, parzialmente ricoperte da calcari a Rudiste, nel settore orientale dell'area. L'attività vulcanica è proseguita nel Miocene con fasi da submarino a subaereo, mentre nel Pliocene essa è stata caratterizzata da un rapido cambiamento composizionale, con variazione da lave alcaline a lave tholeiitiche, con emissione di grossi volumi di prodotti. Tale cambiamento corrisponde alla fase di collasso dell'area nord occidentale iblea, con la formazione di un importante sistema di faglie normali e la creazione dell'Avanfossa della catena Appenninico-Maghrebide.

La continuità areale delle vulcaniti sepolte è illustrata anche nella sezione CROP M24 (Finetti, 2005).

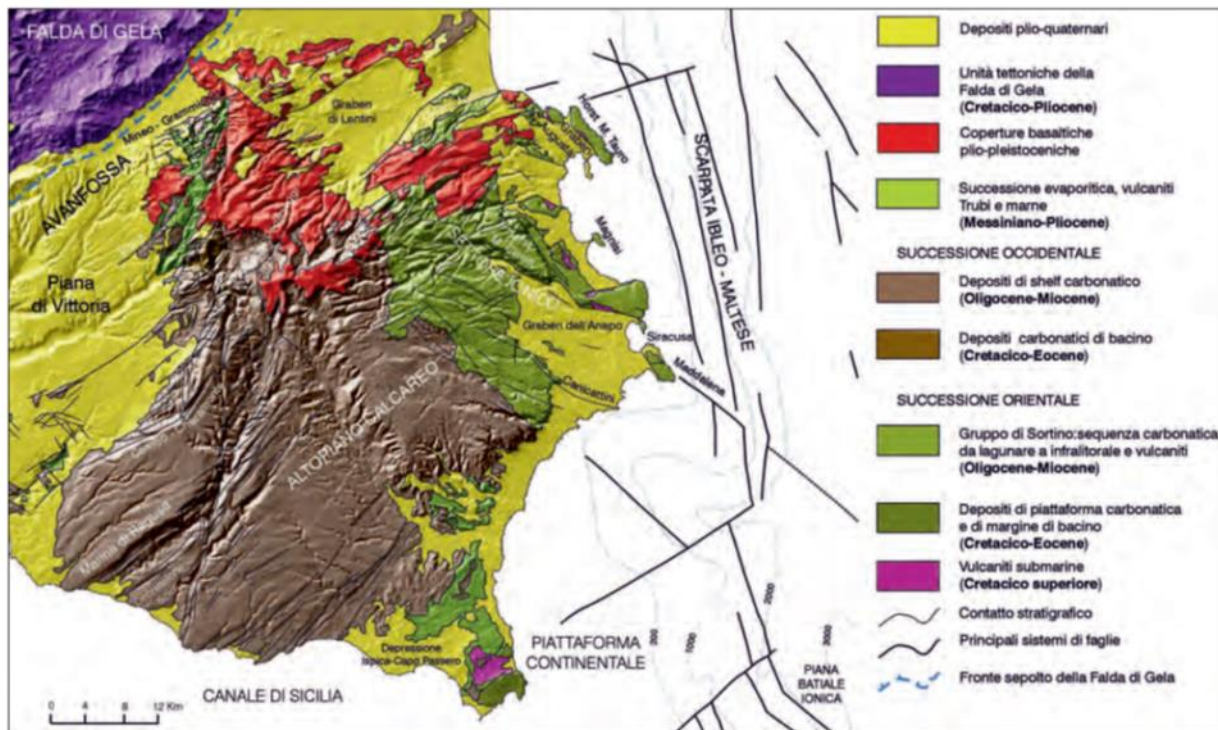


Fig. 15 – Schema stratigrafico-strutturale dell’Avampaes Ibleo (da LENTINI *et alii*, 1984 modificato), applicato su immagine DEM (Digital Elevation Model).
- Digital model of stratigraphic-structural scheme of the Hyblean Foreland (after LENTINI *et alii*, 1984, modified).

Fig. 4: schema stratigrafico strutturale dell’area, relativo alle formazioni affioranti (da Lentini e Carbone, 2014).

3.1.2.1 Cenni di tettonica dell’area

La parte Sud-orientale della Sicilia è una delle aree sismicamente più attive lungo il confine tra le placche Africana e Euroasiatica nel Mediterraneo centrale. Quest’area, rappresentata significativamente dal Plateau Ibleo, è bordata ad Est da faglie normali attive che contribuiscono ad una continua deformazione dalla costa ionica della Sicilia al Nord della Calabria (Bianca *et al.*, 1999). Il sistema di faglie normali è provocato da un regime estensionale orientato prevalentemente in direzione ESE-WNW, evidenziato da terremoti a meccanismo focale distensivo ed evidenti processi morfologici che caratterizzano bacini interni e lo sviluppo di terrazzi marini sulla costa ionica. La struttura principale su questo lato dell’area di interesse è la Scarpata di Malta, che costituisce una netta separazione tra il dominio continentale mesozoico dell’altopiano e delle strutture a thrust della catena Appenninico-Maghrebide e la crosta oceanica del bacino dello Ionio.



Bianca et al. (1999) descrivono due sistemi di faglie normali di età quaternaria, caratterizzate da età differenti e correlate a distinti processi tettonici. La fase più antica, databile a circa 400 kys BP è distribuita con allineamenti NW-SE, perpendicolari al fronte principale della Catena e limita i piccoli bacini presenti lungo la costa orientale del massiccio ibleo. Il sistema più giovane rappresentato da importanti segmenti di faglia con allineamenti NNW-SSE comprende a sud il Sistema Pozzallo-Ispica-Rosolini e si estende verso Nord confluendo nel Rift Siculo – Calabro attivo (Monaco & Tortorici, 2000).

La Fig. 5 fornisce una idea della complessità tettonica dell'area iblea.

Il Rift Siculo-Calabro è una delle strutture più importanti a livello regionale, che determinano l'assetto tettonico dell'area. Esso accomoda l'intera deformazione estensionale, orientata N100 (Romagnoli et al., 2008) dell'area compresa tra il Blocco Adriatico, il Bacino Ionico e il Blocco Pelagiano (D'Agostino & Selvaggi, 2004, in Romagnoli et al, 2008), assumendo il significato di un margine di placca incipiente.

L'altro importante lineamento tettonico quaternario è costituito dal Sistema della Linea di Scicli (Catalano et al., 2008), che comprende, oltre alla zona di taglio destro orientata NNE-SSW della Linea di Scicli, passante tra l'altro per il campo di Ragusa, anche i graben di Scordia – Lentini e quello di Marina di Ragusa, orientati ambedue NE-SW.

Lungo tale sistema sono registrati movimenti compatibili con una estensione orientata circa NW-SE, la quale, se contrastante con il generale quadro geodinamico della collisione Africa – Eurasia, è analoga a quella che caratterizza, oggi, il Rift Siculo – Calabro.

L'intersezione dei due sistemi di faglie (direttrici NNE-SSW e NE-SW) dà origine a depressioni rombiche, interpretabili come piccoli bacini di pull-apart prodotti da movimenti trascorrenti destri (Grasso, 2000).

Gli elementi del sistema della Linea di Scicli sono stati interessati, nella parte alta del Pleistocene, da una diffusa inversione tettonica che, manifestata con movimenti sinistri lungo la Linea di Scicli, associati a movimenti inversi lungo i bordi dei due graben, ha coinciso con una riduzione dei tassi di dislocazione. Bianca et al. (1999) suggeriscono un long-term slip rate di circa 3.7 mm/y, calcolando un tempo di ritorno di 550 ± 50 yr per eventi simili a quello avvenuto nel 1693.

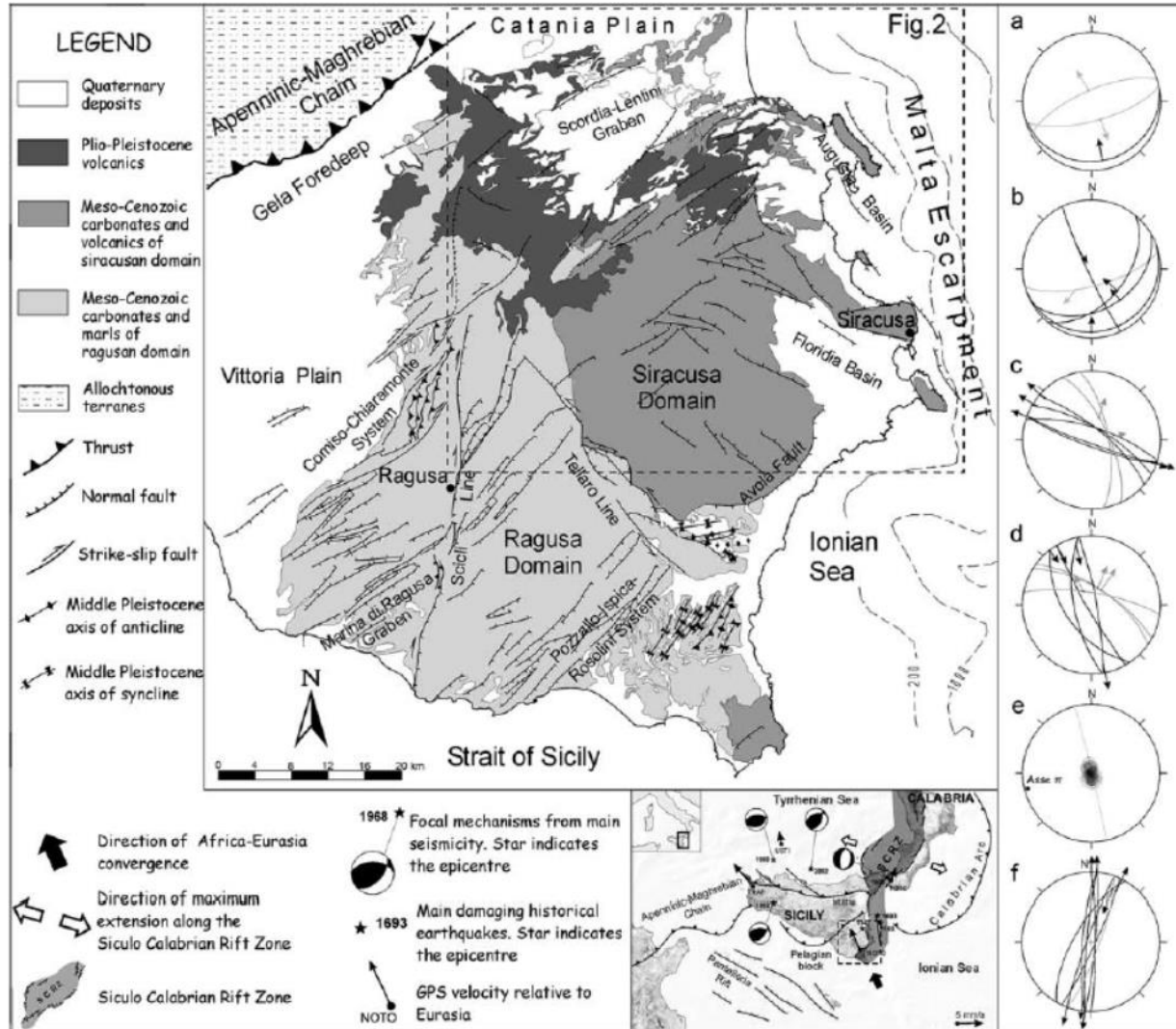


Fig. 1 - Schema geologico-strutturale della Sicilia sud-orientale. Il riquadro mostra il fronte della Catena Apenninico-Maghrebide, le principali faglie quaternarie e la sismicità del Mediterraneo centrale. Gli stereoplot si riferiscono ai dati strutturali misurati lungo diversi lineamenti quaternari del Plateau Ibleo: a-b) Graben di Scordia-Lentini; c) Bacino di Augusta; d) Bacino di Florida; e) Sistemi a pieghe del margine sud-orientale; f) Linea di Sicili. Il rettangolo tratteggiato rappresenta l'ubicazione della fig. 2.
- Tectonic sketch map of SE Sicily. The inset shows the front of Apenninic-Maghrebian Chain, the main Quaternary faults and the seismicity of the Central Mediterranean region. Stereoplot refers to structural data measured on distinct quaternary tectonic features of the Hyblean Region: a-b) Scordia-Lentini Graben; c) Augusta Basin; d) Florida Basin; e) SE Hyblean fold systems; f) Sicily Line. Box countered by dash line refers to the area detailed in fig. 2.

Fig. 5: schema geologico-strutturale della Sicilia Sud-orientale con stereoplot (Romagnoli et al., 2008).



3.1.3 Il canale di Sicilia

Il Canale di Sicilia è legato a processi distensivi e transtensivi in atto tra Sicilia e Tunisia. Tali processi sono attivi dal Neogene (ca 20 Ma) e hanno determinato la formazione dei Bacini di Pantelleria, Malta e Linosa, con strutture a graben orientati NW-SE, paralleli a strutture analoghe che compaiono in Tunisia e al margine della piattaforma dell'off-shore Pelagiano (Sicilia sud-occidentale) (nella Fig. 1: Pelagian Foreland).

La Fig. 6, composta da una miscellanea di immagini tratte dal lavoro CROP (Finetti, 2005), illustra la situazione geologica a scala regionale di quest'area. E' evidente il coinvolgimento molto profondo, fino al mantello superiore, da parte delle strutture transtensive, che raggiungono la superficie (fondo mare) nell'area dell'avampaese ibleo, mentre risultano bloccate dalla posizione della Falda di Gela. Si noti la distribuzione delle strutture nella Scarpata di Malta, ancora attive, che costituisce una separazione netta tra la crosta oceanica del bacino ionico (OC, color blu) e la Lower Crust continentale (LC, color azzurro chiaro). La profondità della Moho in questa sezione è collocata tra 8 e 10 sec (TWT), corrispondenti a circa 30 km. La lunghezza totale della sezione in figura è circa 350 km.

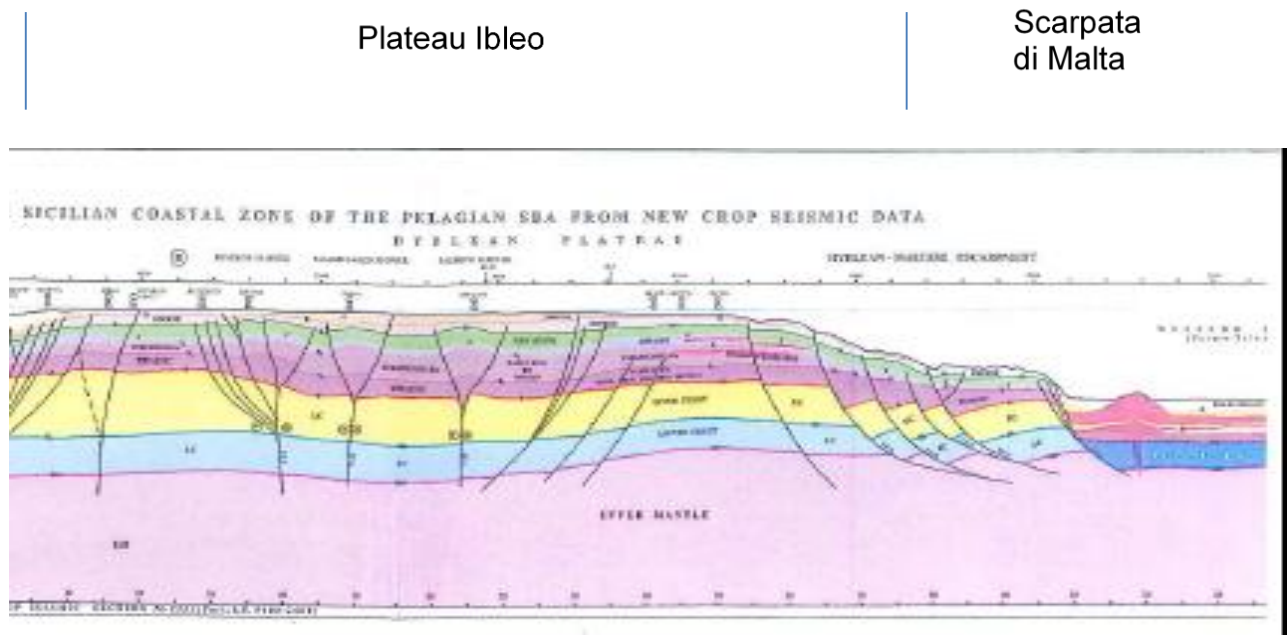


Fig. 6: situazione geologico-strutturale del Canale di Sicilia (Finetti, 2005).



3.1.4 Il Rift Siculo-Calabro (faglia ibleo maltese)

Il Plateau Ibleo, delimitato dalla avanfossa di Gela e dalle sopra ricordate strutture del Canale di Sicilia, è bordato ad Est dalla parte settentrionale di un imponente sistema di strutture crostali che, da Est dell'isola di Malta, risale verso Nord lungo il fianco orientale del Massiccio Ibleo e dell'area etnea. Tale struttura presenta diversi segmenti di faglia con andamento principalmente verso Nord o Nord Est nell'area iblea, con rotazione verso NW all'altezza del Bacino di Catania. Come si vede nella sezione precedente, le faglie interessano l'intera crosta assottigliata del dominio ionico fino ad intercettare il fondo marino, dove si creano grosse scarpate la cui altezza varia da 80 a 240 metri.

Il sistema di faglie normali interessa la parte emersa della Sicilia con la faglia di Avola e nel graben di Rosolini – Pozzallo. Tali sistemi di faglie, con lunghezza di oltre venti chilometri (faglia di Avola) creano scarpate morfologiche profonde, e intense re-incisioni del sistema idrografico nelle parti rialzate (faglie di Rosolini – Pozzallo e Ispica).

Il Rift Siculo – Calabro è la più importante struttura tettonica quaternaria nell'area dell'arco calabro e della Sicilia orientale. Esso si allunga dalla parte interna dell'arco calabro all'area del Massiccio Ibleo, passando per lo Stretto di Messina e il lato ionico della Sicilia, per una lunghezza totale di circa 370 km. E' distinto in diversi segmenti caratterizzati da faglie normali che definiscono il confine orientale dei rilievi (Iblei, Aspromonte, Serre) in onshore, mentre in offshore dà luogo a bacini sintettonici ben sviluppati (Bianca et al, 1999). I segmenti di faglia hanno lunghezze comprese tra 10 e 50 km, compresi in tre gruppi principali caratterizzati da orientazioni differenti. Nel tratto ibleo la struttura del rift è rappresentata da faglie normali, con allungamenti in direzione NE, delle quali la principale è la Faglia di Avola, lunga circa 20 km, Sud-Est vergente, che si estende da Cassibile a Noto. La Fig. 7 mostra uno schema tettonico della struttura (Catalano, 2008). La faglia produce una morfologia ad evidenti gradoni, con altezze progressivamente decrescenti verso le estremità. La parte interna (footwall) è costituita da carbonati miocenici, con sovrapposti resti di una piattaforma di erosione; nella parte ribassata (hangingwall), i depositi carbonatici



miocenici sono ricoperti in unconformity da calcareniti litorali, formanti due ordini di terrazzi marini di altezza di circa 25 e 50 metri.

Nella parte più meridionale del sistema è presente un'altra struttura, con faglie normali a direzione circa N30°E Est immergenti, che si estende tra Rosolini ed Ispica. I segmenti di faglia si estendono per circa 20 km e le morfologie associate, sia ai piedi delle scarpate che l'idrografia, mostrano una età delle strutture riferibile al Pleistocene superiore – Olocene.

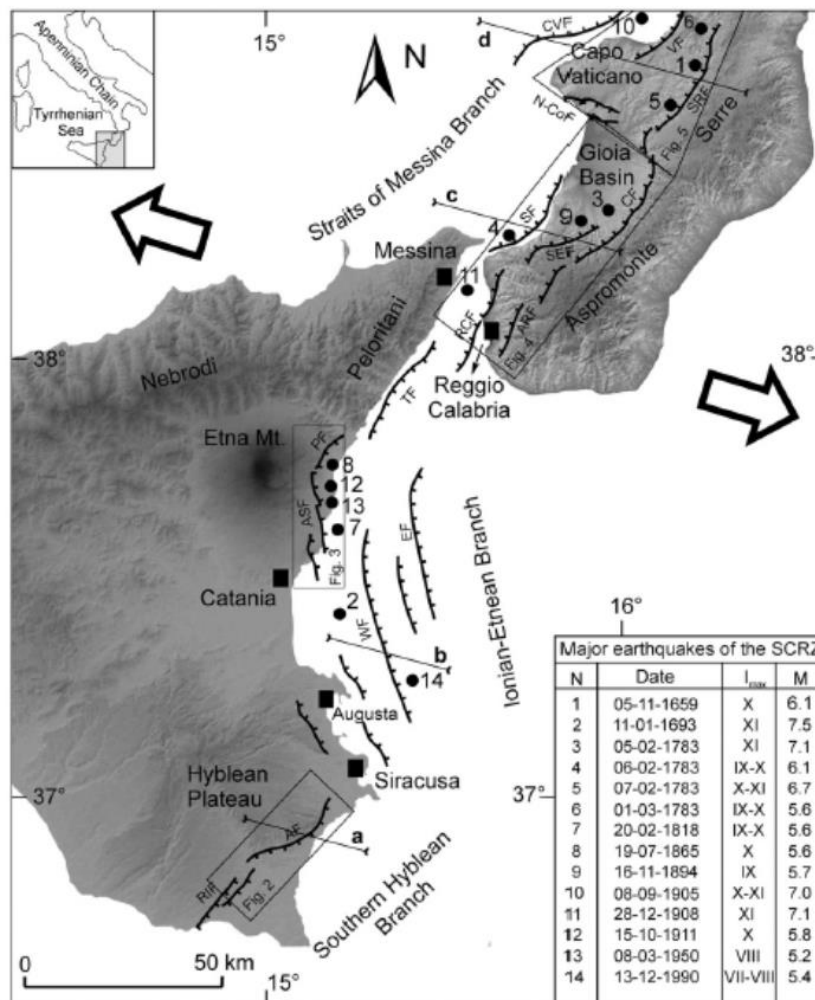


Fig. 1. Seismotectonic map of the Siculo-Calabrian Rift Zone (SCRZ). Faults are mainly normal with barbs on downthrown block. Black dots and numbers indicate the major historical and instrumental crustal earthquakes occurred in the last six centuries as reported in the inset (data from Postpischl 1985; Boschi et al., 1995, 1997). Large arrows indicate the regional extension direction (data from Monaco and Tortorici, 2000). Boxes indicate the locations of Figs. 2–5. RIF: Rosolini–Ispica faults; AF: Avola fault; WF: Western Ionian fault; EF: Eastern Ionian fault; ASF: Acireale–S. Alfio faults; PF: Piedimonte fault; TF: Taormina fault; RCF: Reggio Calabria fault; AR: Armo fault; SF: Scilla fault; SEF: S. Eufemia fault; CF: Citanova fault; SRF: Serre fault; VF: Vibo fault; CVF: Capo Vaticano fault; N-CoF: Nicotera–Coccorino faults.

Fig. 7: mappa sismo-tettonica del Rift Siculo-Calabro (Catalano, 2008).



3.2 Geologia di superficie

Dal punto di vista stratigrafico la geologia dell'area Iblea si presenta relativamente semplice; si tratta infatti dell'affioramento del blocco di avampaese, non interessato dalle orogenesi che interessano invece le catene Appenninico – Maghrebide e l'Arco Calabro.

La Fig. 8 mostra uno stralcio della Carta geologica della Sicilia (ISPRA et al., 2014).

La serie stratigrafica, divisa nelle due zone del Massiccio, presenta una successione di formazioni carbonatiche, in facies differenziate nei due blocchi, occidentale e orientale, del Massiccio. Da segnalare, la presenza di vulcaniti cretacee (Vulcaniti di Capo Passero), affioranti nel margine estremo meridionale dell'area e mioceniche, in livelli presenti, nel sottosuolo, all'interno della F.ne Tellaro.

Le vulcaniti affioranti a nord del Massiccio sono costituite da lave basaltiche con piroclastiti, a composizione tholeiitica, a testimonianza della fase distensiva Pliocene – Pleistocene inferiore.

Assai importanti sono gli aspetti morfologici legati alla tettonica dell'area. Le strutture sopra descritte producono infatti graben di varie dimensioni, a pareti a gradinata e l'intensa fratturazione delle formazioni a comportamento rigido determina una idrografia con incisioni strette e profonde, a pareti spesso sub verticali. Eventuali effetti di sito sono quindi attribuibili più agli aspetti morfologici dell'area che a quelli legati alle litologie; i centri abitati, tra cui Ragusa, sono costruiti sulle parti più rilevate e su terreni meccanicamente consistenti.

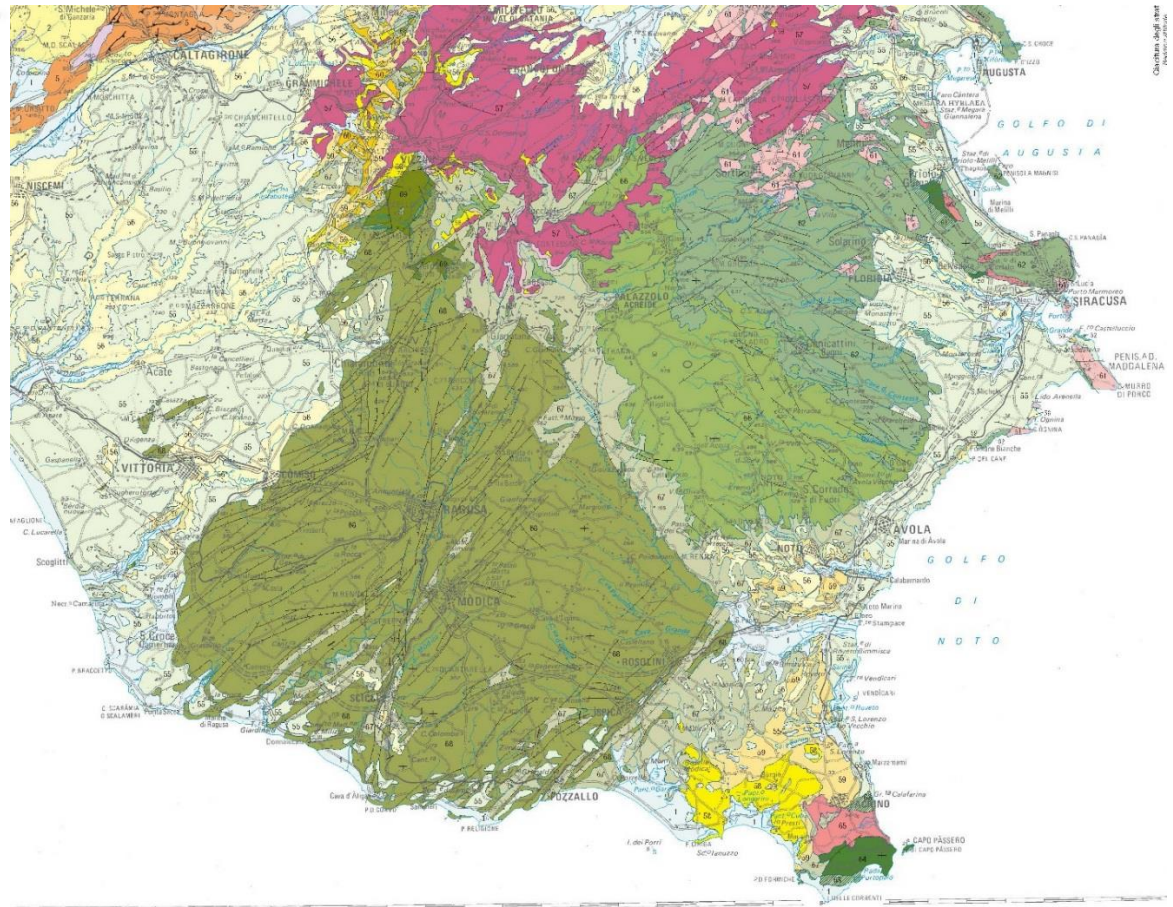
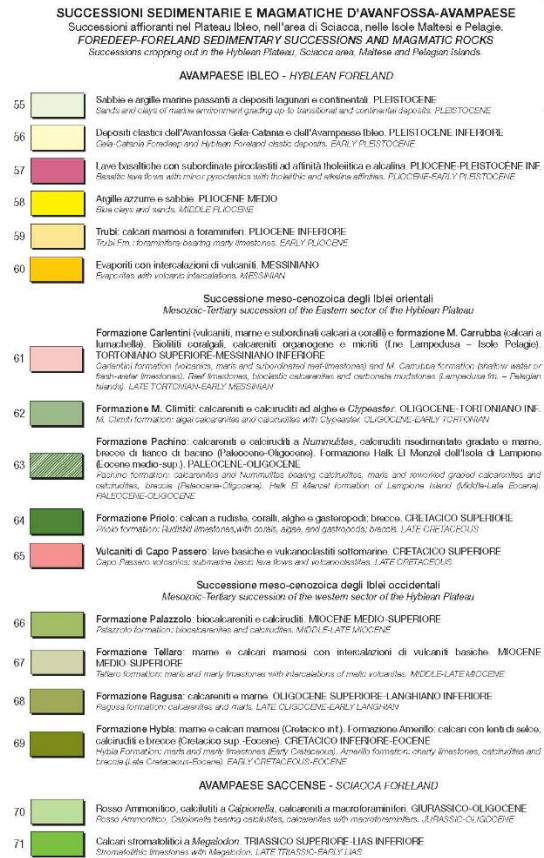


Fig. 8: stralcio della carta geologica della Sicilia (ISPRA et al., 2014).



4 Storia sismica della Sicilia Sud-Orientale e valutazione della pericolosità sismica dell'area di Ragusa

4.1 Sismicità nell'area di Ragusa

Per valutare correttamente gli obiettivi di una rete microsismica è necessario conoscere la sismicità pregressa registrata nell'area da controllare in un intervallo di tempo il più ampio possibile. In Italia i database macrosismici partono generalmente dall'anno 1000 A.D., anche se le informazioni diventano più attendibili per eventi di forte intensità (V della scala MCS) solo alcuni secoli dopo.

La storia sismica è stata studiata all'interno di tre circonferenze di raggio rispettivamente 100, 50 e 30 km centrate sul campo di Ragusa. Si è cercato informazioni bibliografiche sui risentimenti che ha subito la città di Ragusa nel passato, la presenza di faglie considerate sismogenetiche e la pericolosità sismica stimata secondo gli ultimi decreti ministeriali e regionali.

4.1.1 Sismicità storica (1000-2006)

Le informazioni sulla sismicità storica in Italia (1000-2006) sono disponibili sul DB dell'INGV CPT11 (Gruppo di Lavoro CPTI – 2011).

In tale catalogo sono stati riportati in genere sismi con intensità $I_{max} > 5 - 6$ (scosse forti) e magnitudo stimata $M_w > 4.5$. Le informazioni disponibili per eventi fino al 1963 sono solo di tipo macrosismico (effetti di tipo geologico e/o danni al patrimonio immobiliare), fino al 1980 sono miste macrosismiche e strumentali. Dal 1980, con l'ampliarsi della rete sismologica nazionale, le informazioni sono essenzialmente di tipo strumentale.

In Fig. 9 sono stati riportati gli epicentri estratti dal DB CPT11. Al centro dei cerchi di raggio rispettivamente 30, 50 e 100 km (grigio, viola e arancione) si trova il giacimento di Ragusa.



Appare evidente che, all'interno dell'area da investigare, la sismicità è tutta raggruppata al centro e a Nord oltre 30 km.

Gli epicentri più vicini alla città di Ragusa (1693, 1949, 1980, 2004) presentano un'intensità 5-7 (scosse forti-fortissime). Gli eventi del 1693, ne sono riportati 3 nel DB con la medesima localizzazione, sono repliche del terremoto di $I=11$ localizzato a NE, e presentano scarsi dati. In Fig. 10 sono riportate le mappe di intensità dei sismi del 1949, 1980, 2004, che hanno informazioni più affidabili.

Entro circa 30 km da Ragusa sono presenti altri epicentri, con intensità 6-8 (scosse molto forti – rovinose): 1696, 1727, 1903 e 1896 ad Est; 1717 e 1937 ad Ovest. Per quelli precedenti il XIX secolo sono disponibili scarse informazioni coeve, spesso limitate ai 1 o 2 paesi, che hanno risentito maggiormente del sisma. A Nord sono individuati 3 epicentri (1892, 1895, 1924) che rappresentano la parte più meridionale dell'attività presente vicino ai paesi di Mineo e Vizzini, i cui terremoti più forti del 1624, 1698, 1818, 1895 hanno caratteristiche del campo macrosismico che fanno ipotizzare ipocentri superficiali.

All'interno del cerchio di 50 km, nell'area Nord-Orientale ricadono gli epicentri dei terremoti più forti della zona Iblea con intensità 9-11 (scosse disastrose-catastrofiche) (eventi del 1169, 1542, 9/11 Gennaio 1693): la distribuzione dei danni per questi sismi, pur nelle difficoltà di acquisizione di informazione per eventi lontani nel tempo (specialmente quello del 1169) sembrano mostrare sorgenti comuni. Poiché tra i fenomeni riportati ci sono anche episodi di tsunami e le isolinee dell'Intensità non si chiudono sulla costa, parte della struttura sismogenetica potrebbe essere in mare.

In Fig. 11 è visibile il modello sismogenetico per l'area Iblea con le indicazioni dei terremoti che possono aver attivato i singoli tratti di faglia. Su tale carta, estratta da un lavoro di Azzaro e Barbano (2000), sono stati aggiunti i 2 episodi più recenti di $M > 4$ che hanno interessato l'area di studio. (30/12/2004 $MW=4.2$ e 8/2/2016 $ML= 4.6$).

Riguardo a quanto appena analizzato sulla sismicità più forte presente nell'area di studio, Azzaro et al. (2000) hanno così sintetizzato le zone sismogenetiche, in relazione alla situazione geologico-strutturale presentata nei paragrafi precedenti:



“La Scarpata di Malta, per la quale si hanno evidenze di attività tardo-Quaternaria, sembra la sorgente più probabile per i grandi terremoti che hanno colpito la regione (1169, 1693, 1818). [omissis]

Il settore interno del Plateau Ibleo è attraversato dalla Linea di Scicli. [omissis] Sebbene per questo sistema non si osservino evidenze di attività tettonica successiva al Pleistocene medio, la distribuzione dei terremoti (1698, 1818, 1895, 1949, 1980, 1990) indica l'esistenza di strutture sismogenetiche minori ad esso riferibili. Il margine settentrionale e nord-occidentale dell'avampaese risulta fagliato da un sistema orientato NE-SO sotto il fronte delle unità più esterne della Catena Appenninico-Maghrebide. Esso è caratterizzato da ampie depressioni strutturali quaternarie come il graben Scordia-Lentini, attivo fino al Pleistocene medio, e da faglie cieche lungo il fronte della catena ai quali si possono associare terremoti con magnitudo massima 6.4 (1542, 1990) e 5.2 (1898, 1903, 1909, 1959) rispettivamente. Altre strutture sismogenetiche sono individuabili nella Piana di Vittoria, dove si sviluppano faglie cieche responsabili degli eventi del 1717-1937, e nel sistema di Ispica, l'unico dell'area per il quale è documentata un'attività tardo quaternaria-olocenica (terremoti del 1727-1903).”



Eni S.p.A.

Giacimento di Ragusa
Epicentri sismici dal 1000 al 2006

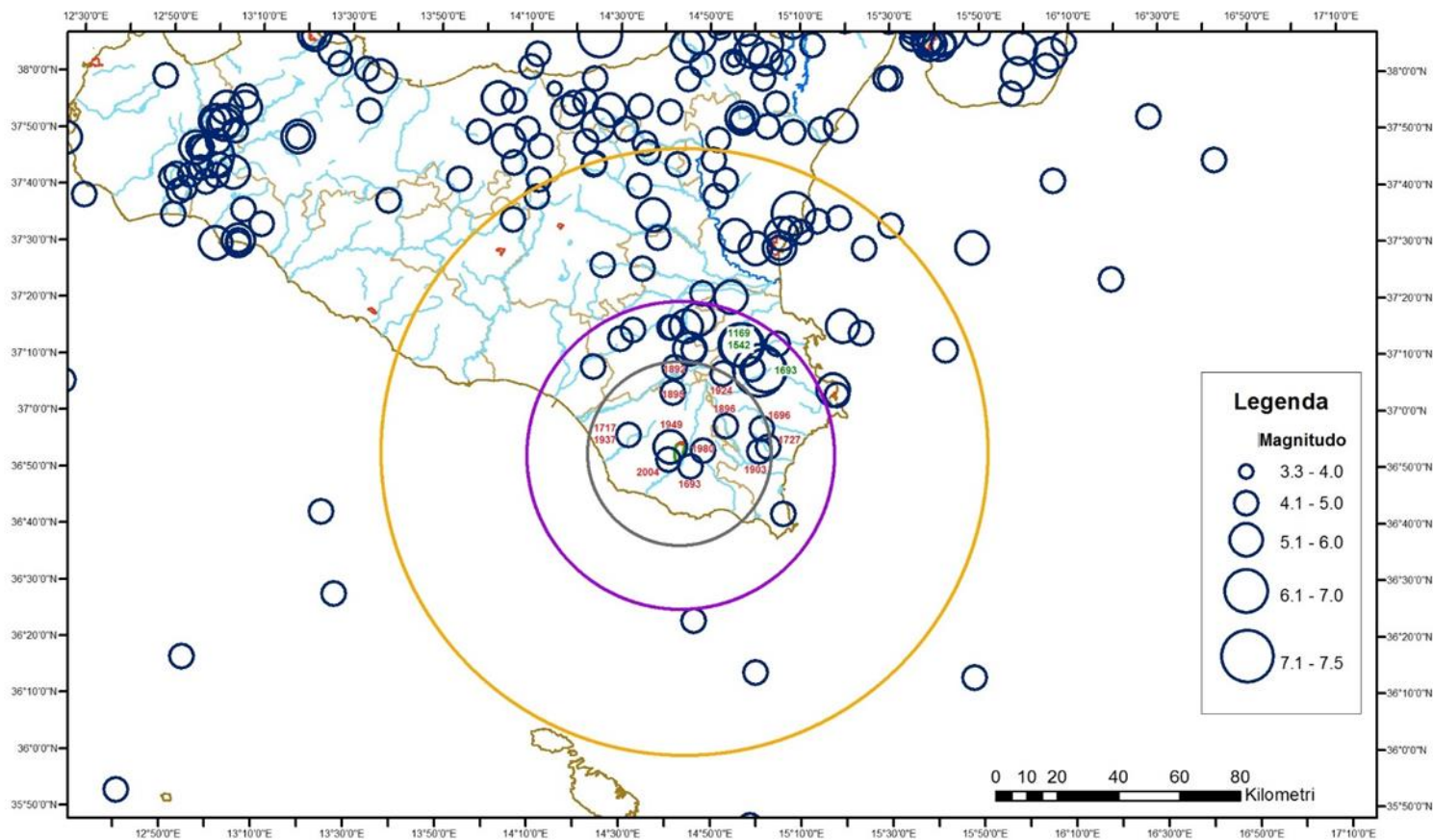


Fig. 9: mappa con gli epicentri di Magnitudo > 4.0 dal 1000 al 2006. In arancio la circonferenza di raggio 100 km, in viola quella di raggio 50 km e in grigio quella di raggio 30 km.



eni S.p.A.
Exploration

RAPPORTO TECNICO

“STUDIO GEOLOGICO E SISMOLOGICO CAMPO DI RAGUSA“

DOC. N.
GEOM-2016034-MS-RT-01

REV.
00

PAG. 24 DI 64

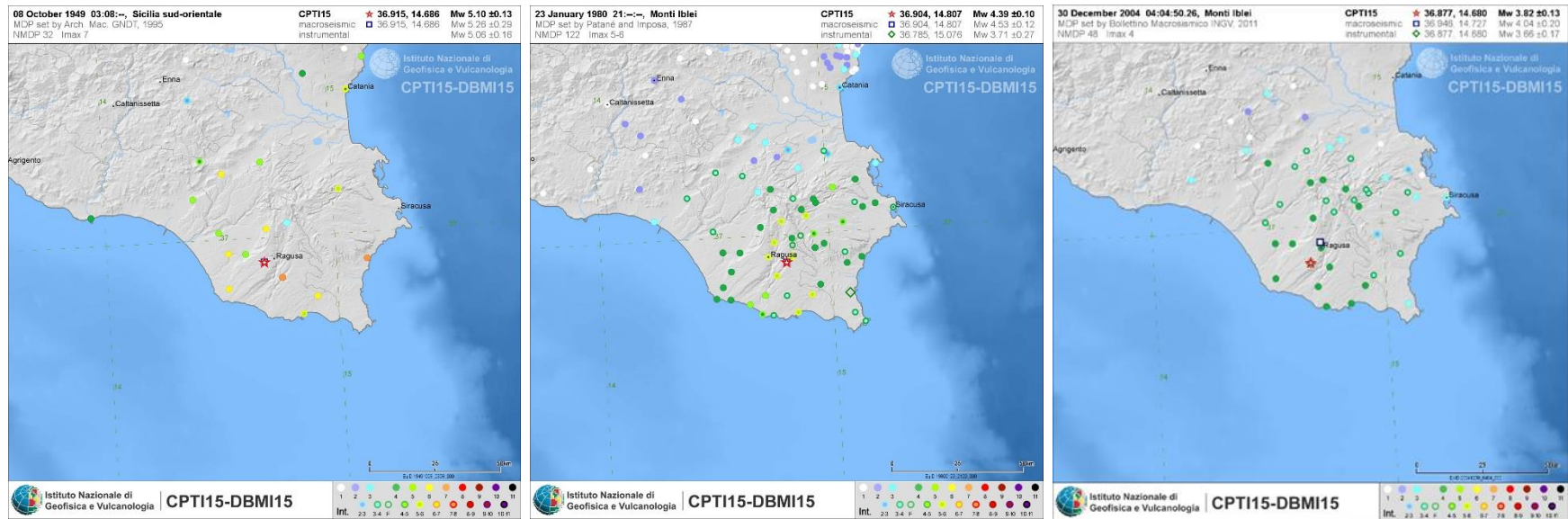


Fig. 10: mappe di Intensità per i terremoti del 8/10/1949, 23/01/1980, 30/12/2004 (estratto da DBMI15-INGV). Il quadrato blu indica l'epicentro ottenuto dalle osservazioni macrosismiche, il rombo verde dai dati strumentali, la stella rossa quello scelto nell'ultimo catalogo.

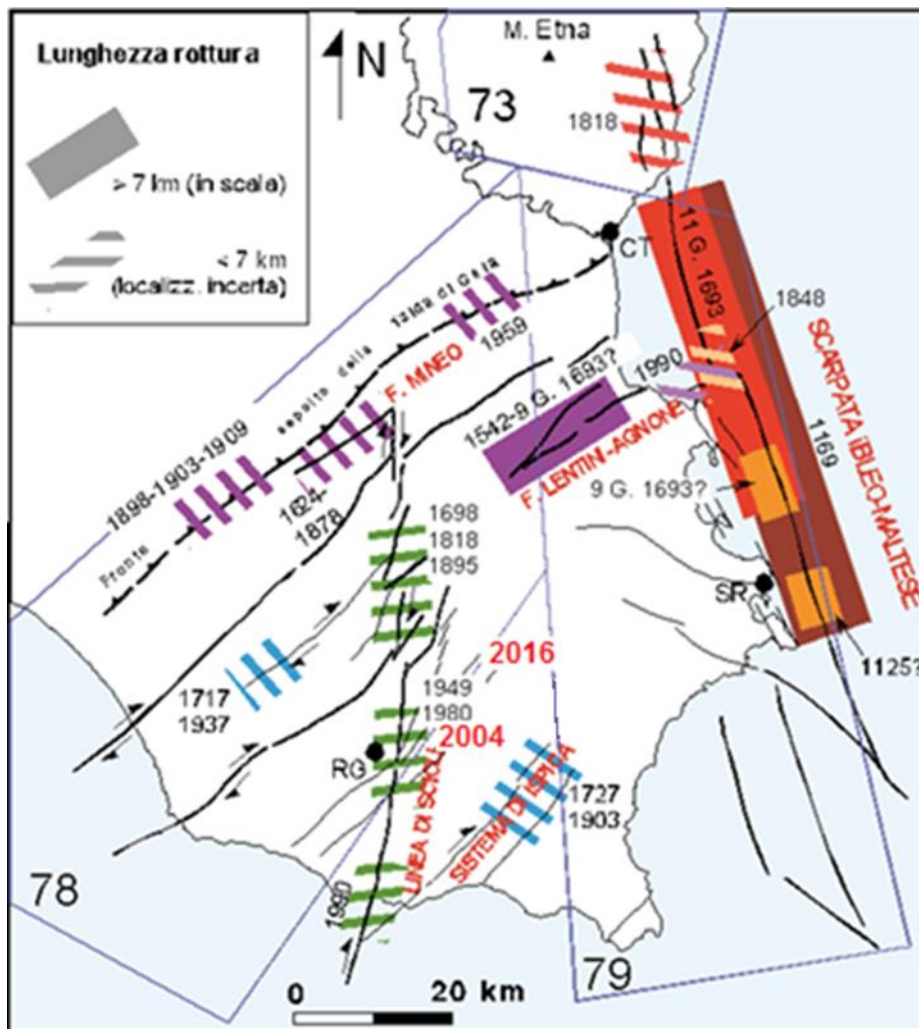


Fig. 11: proposta di un modello sismogenetico della Sicilia SE rielaborato da Azzaro e Barbano (2000). In rosso le date dei sismi con $M > 4$ avvenuti dopo l'anno 2000, poste in corrispondenza degli epicentri.

4.1.2 Sismicità strumentale (1981-2013)

La sismicità strumentale registrata dal 1981, estratta dai DB dell'INGV (CSI 1.1 e ISIDE), è visibile per l'intera Sicilia nella Fig. 12 e in dettaglio nella Fig. 13. La maggior parte dell'attività resta localizzata nell'area sud-orientale, intorno all'Etna e nel settore Nord in corrispondenza del Massiccio delle Madonie.

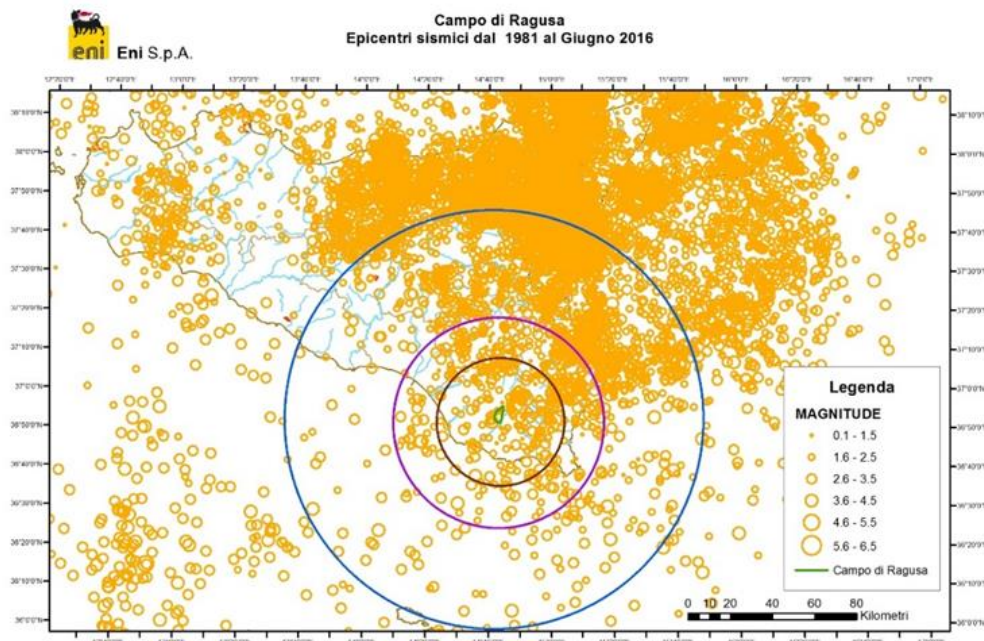


Fig. 12: sismicità strumentale dal 1981 al Giugno 2016 in Sicilia. In blu la circonferenza di raggio 100 km, in viola quella di raggio 50 km, in marrone quella di 30 km.

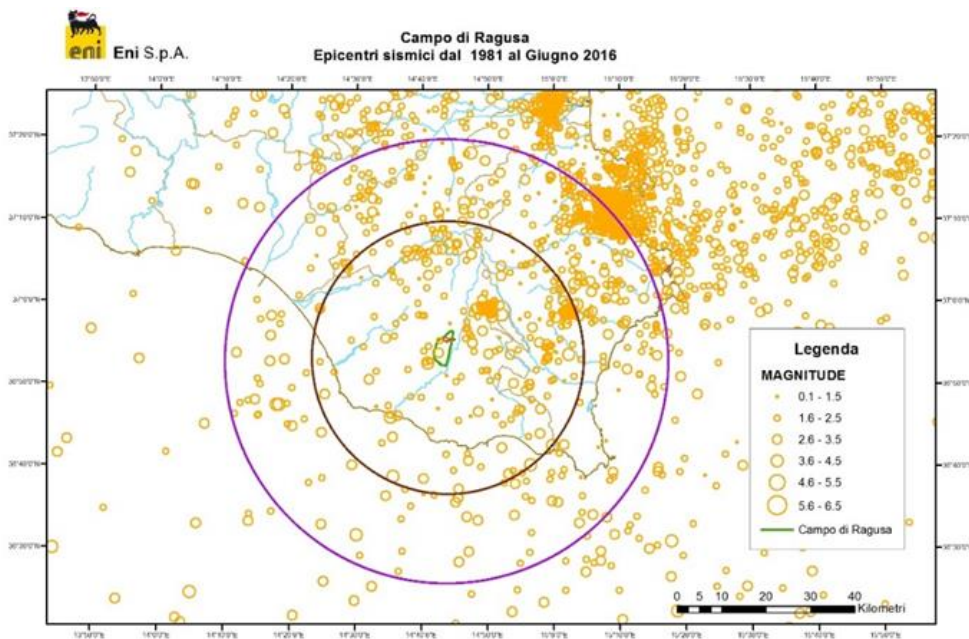


Fig. 13: sismicità strumentale dal 1981 al Giugno 2016 nella Sicilia Meridionale. In viola la circonferenza di raggio 50 km, in marrone quella di 30 km.



In Fig. 14 è riportata la distribuzione nel tempo dei sismi entro 30 km dal campo con l'indicazione della magnitudo. La magnitudo minima resta costante fino a circa il 2005, poi si osserva un abbassamento di tale soglia, dovuto all'incremento del numero di stazioni della Rete Sismica Nazionale (RSN) nell'area, installate nell'ambito del Progetto CESIS, finanziato dal Ministero per l'Università e la Ricerca (Legge 488/92). La posizione delle stazioni utilizzate nell'intero periodo di analisi e poste entro 50 km dal campo di Ragusa è visibile nella Fig. 15. Sono indicate anche quelle attualmente non attive (MEI e PZI).

In Fig. 16 è mostrata la distribuzione dei sismi per classi di Magnitudo Locale. E' evidente che le informazioni sono sufficienti da $ML > 1.8$. Al di sotto di tale soglia, detta Magnitudo di Completezza (M_c), le informazioni sulla sismicità sono lacunose.

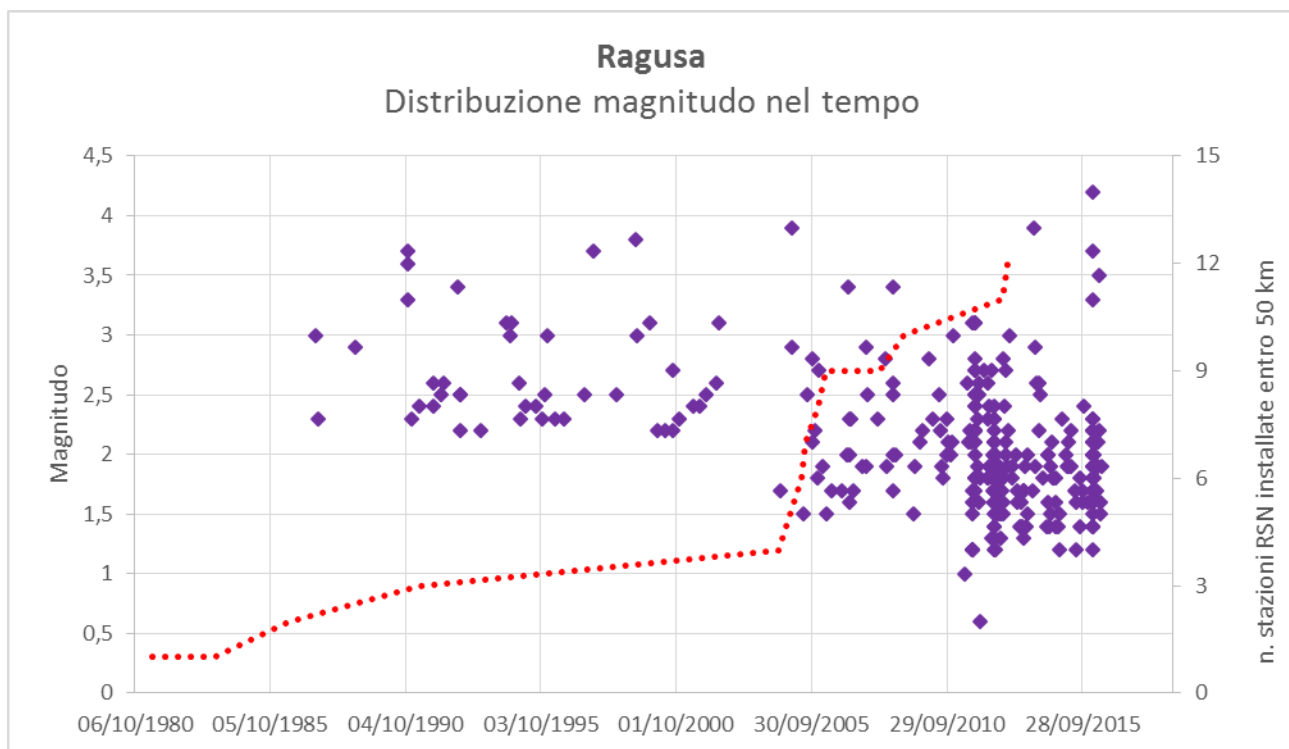


Fig. 14: distribuzione della magnitudo nel tempo per i sismi con epicentro entro 30 km dal campo di Ragusa. La linea rossa indica le stazioni installate entro 50 km di distanza dal campo.

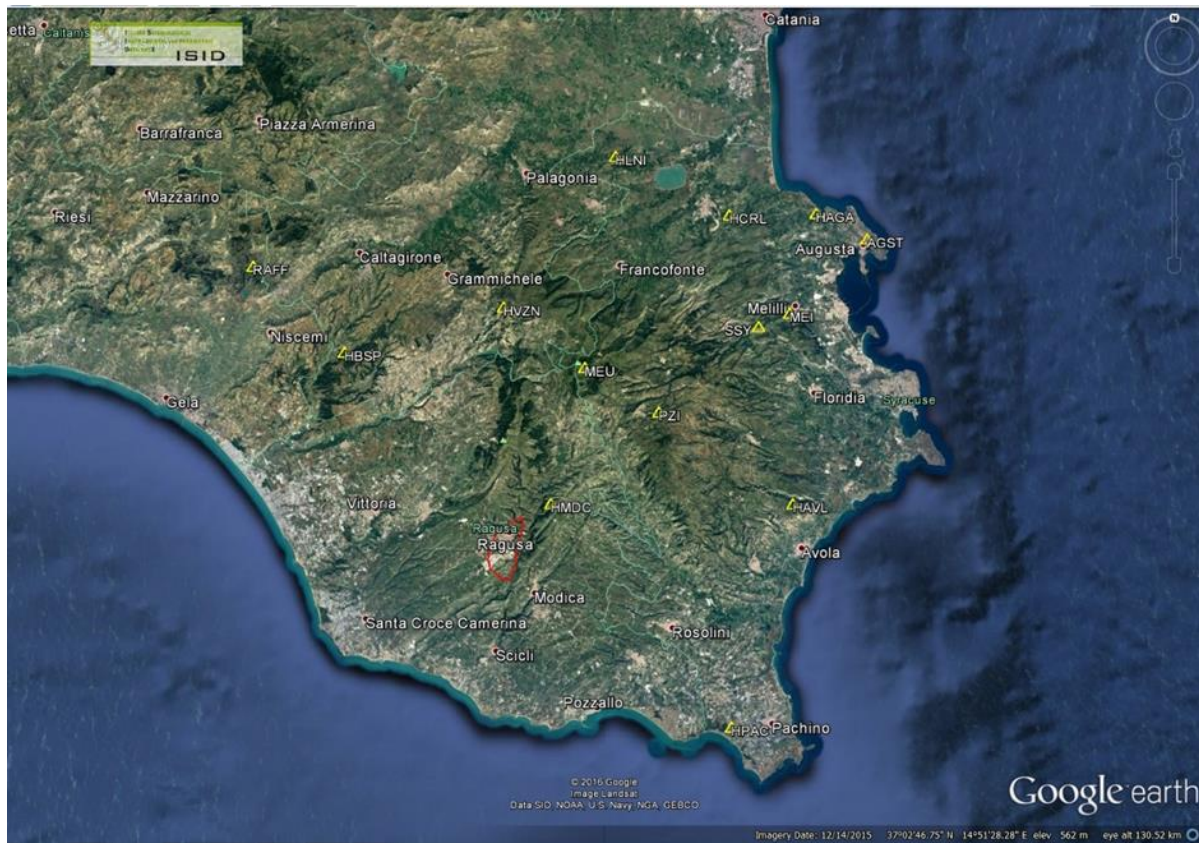


Fig. 15: distribuzione delle stazioni (triangoli) della Rete Sismica Nazionale entro 50 km nel periodo 1981-2016, anche quelle attualmente non attive. In rosso il giacimento di Ragusa.

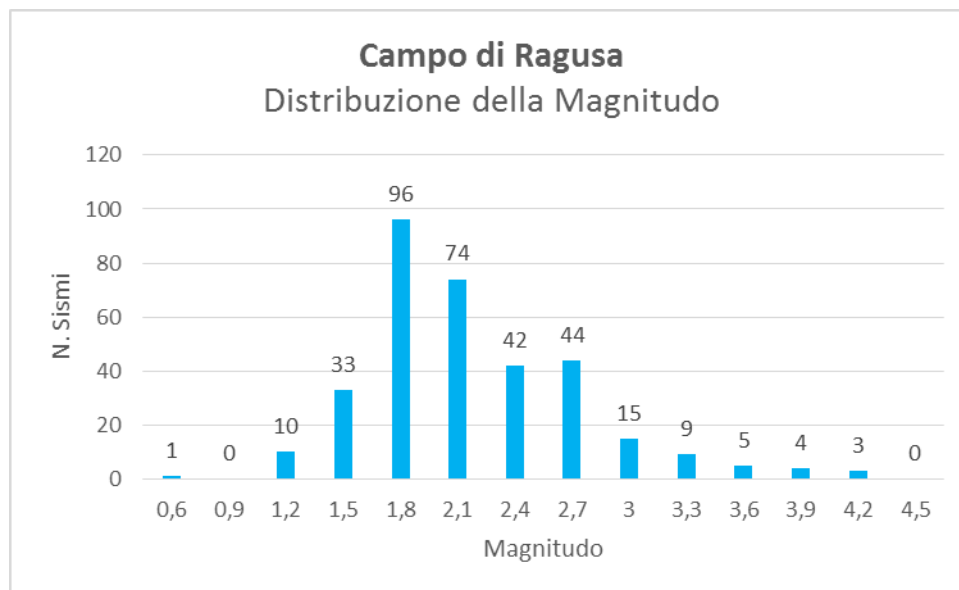


Fig. 16: distribuzione della magnitudo per i sismi registrati dal 1981 al Giugno 2016 con epicentro entro 30 km dal campo di Ragusa.



La distribuzione dei sismi in profondità (Fig. 17 e distribuzione in mappa in Fig. 18) mostra che la maggior parte dell'attività è concentrata nei primi 30 km della crosta.

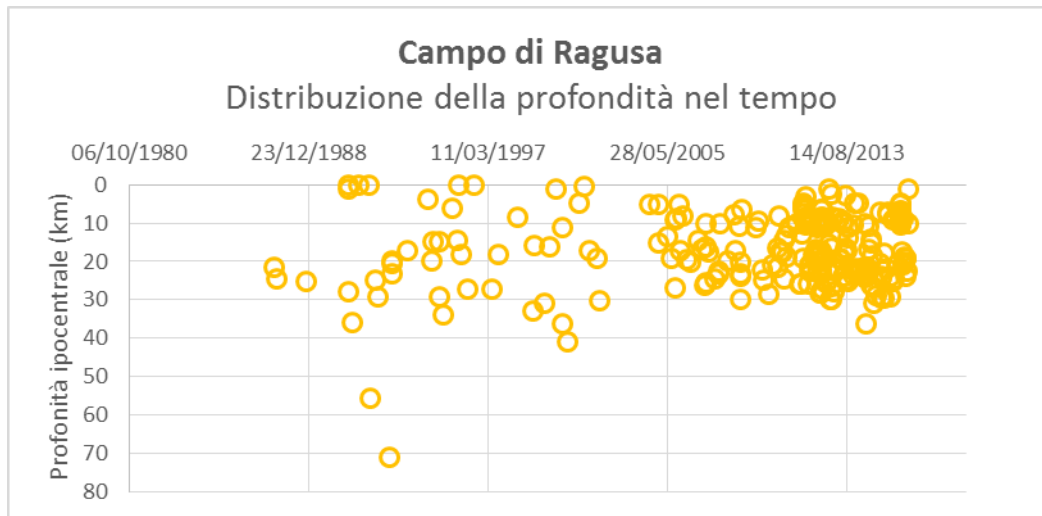


Fig. 17: distribuzione nel tempo della profondità per i sismi con epicentro entro 30 km dal campo di Ragusa.

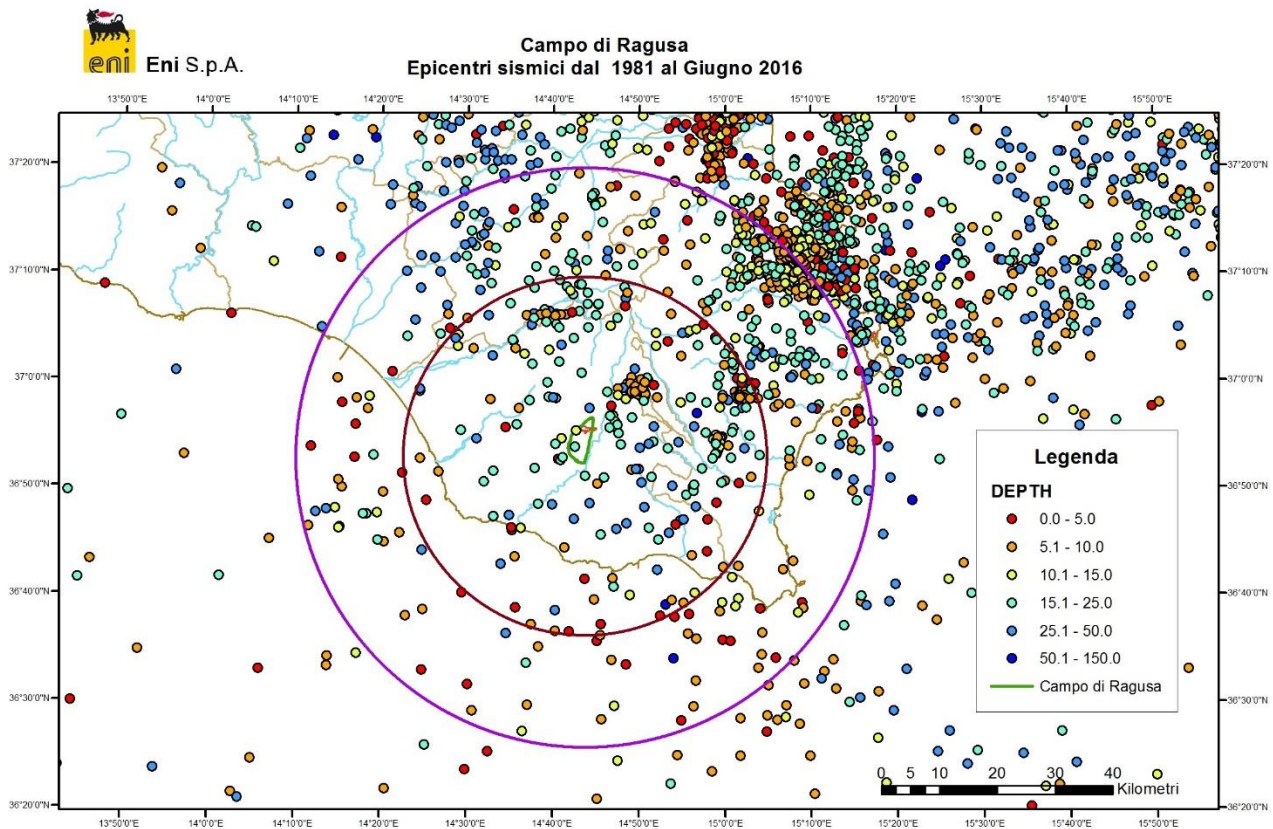


Fig. 18: mappa della sismicità strumentale nella Sicilia Meridionale in funzione della profondità degli ipocentri. In viola la circonferenza di raggio 50 km, in marrone quella di 30 km.

Gli epicentri osservati nelle figure precedenti sono visibili anche in Fig. 19, estratta dal sistema ARCGIS dell'INGV, in cui inoltre sono evidenziate le strutture presenti nell'area considerate sismogenetiche, come riportate dal Catalogo Nazionale delle Strutture Sismogenetiche (DISS) (vedi anche paragrafo 4.1.3). In particolare sono evidenziati i principali allineamenti nella zona Iblea: Scicli-Giarratana, Ragusa-Pelagonia e Monte Lauro (ITCS017 - ITCS035- ITCS036). Per questa area, sono stati compiuti studi sui meccanismi focali di terremoti registrati dal 1990 (Musumeci et al. (2005)), come visibile in Fig. 20, che evidenziano sul lato occidentale movimenti di tipo transpressivo sinistrorso sulle strutture con direzione NNE e di tipo normale lungo il fronte ionico della Scarpata di Malta.

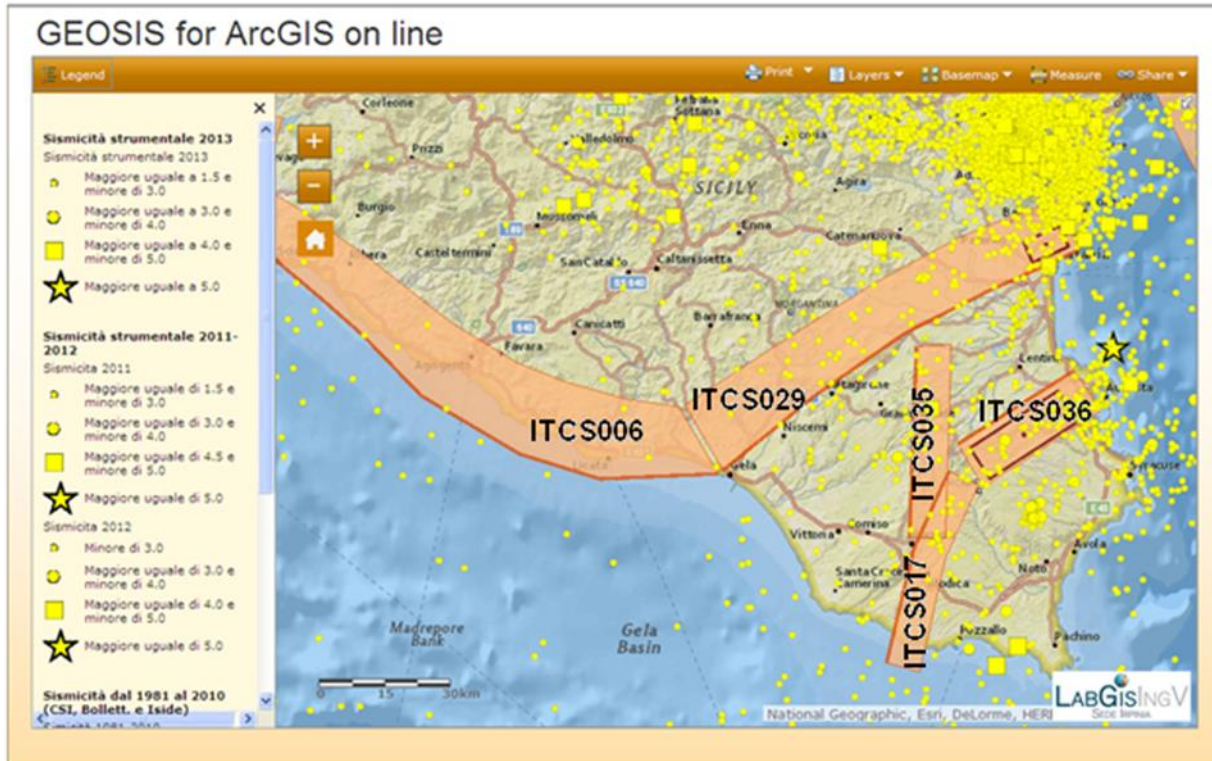


Fig. 19: sismicità nella Sicilia Meridionale in relazione alle strutture sismogenetiche estratte da DISS-INGV.

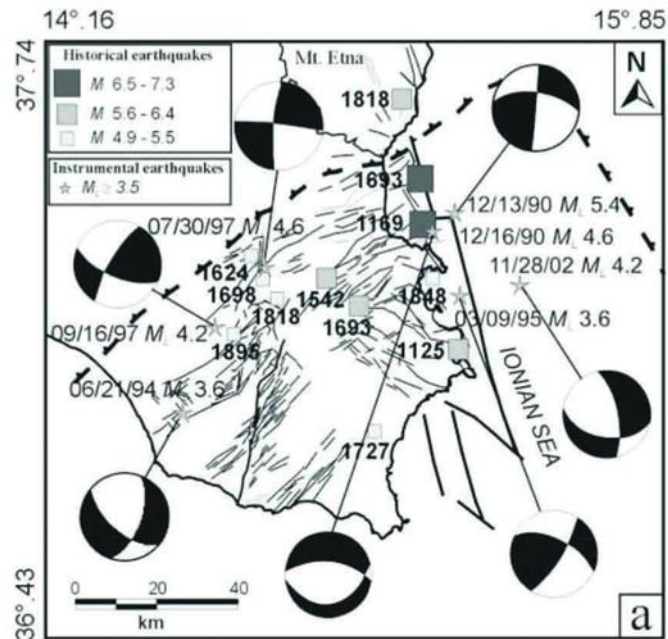


Fig. 20: mappa dei terremoti storici (quadrati) e strumentali (stelle) e dei loro meccanismi focali (da Musumeci et al., 2005).

4.1.3 Faglie sismogenetiche

Lo studio della sismicità storica e strumentale permette di individuare le strutture sismogenetiche, ossia in grado di generare un terremoto. Per l'Italia tali strutture sono state catalogate nel DB DISS (Database delle Faglie Sismogenetiche), presente sul sito INGV.

Da tale DB per l'area di interesse sono state estratte le principali sorgenti sismogenetiche composite (Fig. 21): faglia di Scicli-Giarratana (a Sud del campo, ITCS017), che attraversa il Plateau Ibleo per circa 70 km (dall'area dell'avampaese Ibleo ai depositi sepolti dell'avanfossa Gela-Catania e la parte frontale della catena Appenninico-Maghrebide) in direzione circa N-S; faglia di Ragusa-Palagonia (a Nord del Campo, ITCS035), prosecuzione settentrionale della faglia di Scicli-Giarratana; faglia di Monte Lauro (a Nord-Est del Campo, ITCS036); nonché quelle individuali e dibattute.



In particolare, in Fig. 21 sono identificate le faglie individuali di Monte Lauro (ITIS074) e di Gravina di Catania (ITIS106), responsabili del terremoto del 11 Gennaio 1693 di magnitudo 7.3.

Infatti, tale terremoto potrebbe essere stato generato dall'attivazione di due faglie opposte compressionali: la faglia che immerge a NW localizzata sotto le anticlinali di Terre Forti, segmento del thrust Appennino-Maghrebide vicino Catania (Gravina di Catania, ITIS106), e la faglia inversa che immerge a SE localizzata sotto il Monte Lauro (margine settentrionale del Plateau Ibleo, sorgente Monte Lauro, ITIS074).

Nonostante la gravità del danno e i diffusi effetti ambientali, la sorgente che ha causato il terremoto dell'11 Gennaio 1693 è ancora oggetto di vivace dibattito (come evidenziato nella Fig. 11, dove la sorgente viene messa parallela alla costa in corrispondenza della scarpata di Malta coincidente alla Faglia Dibattuta in Fig. 21, e in Fig. 7 dove l'epicentro viene spostato lungo la costa verso Catania). Ciò è dovuto a diverse circostanze, tra cui:

- 1) l'assenza di qualsiasi prova di faglia superficiale e la mancanza di qualsiasi rapporto contemporaneo che potrebbe descrivere tali effetti;
- 2) la prossimità della zona epicentrale alla costa, con una mancanza di informazioni per un settore significativo dell'area colpita dal terremoto;
- 3) il verificarsi di uno tsunami a seguito dei mainshocks, che potrebbe suggerire una sorgente del terremoto situata vicino alla costa o in mare;
- 4) la presenza di molteplici scosse disperse su un'ampia area, che sottolinea la complessità strutturale della sorgente sismogenetica e il potenziale di innesco di rotture successive.



Fig. 21: mappa delle faglie sismogenetiche estratta dal DISS. I rettangoli gialli sono le proiezioni in superficie delle sorgenti sismogenetiche individuali; in figura è indicata la faglia di Monte Lauro (codice DISS ITIS074) e la faglia di Gravina di Catania (codice DISS ITIS106). Le fasce arancioni sono invece le proiezioni delle sorgenti sismogenetiche composite; in figura sono indicate le faglie di Scicli-Giarratana (codice DISS ITCS017), di Ragusa-Palagonia (codice DISS IRCS035) e la faglia di Monte Lauro (ISCS036). In viola le faglie “dibattute”.

4.1.4 Faglie capaci

Le informazioni disponibili per i terremoti storici, quelle di tipo paleosismologico e quelle geologico-strutturali di un'area permettono di individuare le cosiddette “Faglie Capaci”, definite come “faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie”.

Per completare il quadro delle informazioni disponibili a livello nazionale sulle aree potenzialmente attive dal punto di vista sismico, si riporta in Fig. 22 la mappa della zona in studio con la distribuzione di Faglie Capaci presenti nel DB ITHACA di ISPRA.

Le faglie sono concentrate nell'area siracusana e nessuna Faglia Capace viene evidenziata direttamente in corrispondenza del campo di Ragusa. Due sono le strutture visibili a circa 15 km dal campo: la faglia normale di Comiso a NW, appartenente al sistema di faglia della Piana di Vittoria, e la faglia normale di Marina di Ragusa a SW.



Fig. 22: distribuzione delle Faglie Capaci (in rosso) nell'area della Sicilia Meridionale. Mappa estratta da “SGI GeoMapView” con dati del DB ITHACA di ISPRA.

4.2 Vulnerabilità

4.2.1 Risentimenti avvertiti nell'area di Ragusa

Prima di presentare gli aspetti della normativa sismica della zona di Ragusa, che tiene conto di quanto l'area ha risentito nel passato di attività sismica vicina e lontana, viene presentato il quadro delle informazioni disponibili dal database DBMI15 dell'INGV sui risentimenti sismici sperimentati dall'anno 1000 al 2014. Si sottolinea che solo per il presente studio è stato considerato il database DBMI15, versione rilasciata a Luglio 2016, quando l'attuale rapporto era già in avanzata fase di stesura. Di conseguenza, per le analisi svolte nei paragrafi precedenti sulla sismicità storica e strumentale è stata considerata la versione precedente del database INGV, ossia il DBMI11.

Le informazioni disponibili nel database sono state raccolte da fonti coeve o successive, da memorie sui danni (quando ce ne sono state), in particolare da archivi parrocchiali (dopo il concilio di Trento), da archivi pubblici o privati. E' possibile avere dati incompleti in zone



più isolate rispetto ai centri amministrativi e a quelli con scambi commerciali. Le analisi fin qui compiute sui terremoti nell'area sud-orientale della Sicilia fanno prevedere che più volte a Ragusa siano stati avvertiti effetti di terremoti più o meno vicini, ma le informazioni disponibili per $I > 3$ sono solo quelle visualizzate in Fig. 23 in alto. Si deduce che alcune informazioni del passato sono andate perse.

Per avere un quadro più completo, almeno dal 1650 in poi, vengono confrontate le informazioni di 2 altri comuni, Modica e Scicli, posti rispettivamente ad Sud-Est e Sud-Ovest di Ragusa.

L'episodio di maggiore intensità, presente su tutti i grafici, corrisponde ai terremoti del 1693 nella zona nord-Orientale dei Monti Iblei ($I=10$). Le 3 cittadine hanno risentito in maniera più o meno forte dei successivi terremoti avvenuti nell'area Iblea (intensità da 3 a 8); i più forti si sono verificati nel 1818 con $I=7-8$ a Ragusa, ma di cui non si hanno informazioni a Modica e Scicli, e nel 1990 con $I=6$ in tutti i 3 comuni.

Per i forti terremoti del 1169 e del 1542 localizzati nella zona nord-Orientale dei Monti Iblei (Fig. 9) sono disponibili informazioni rispettivamente a Modica ($I=10$) e a Modica e Scicli ($I=8$): la posizione delle 2 città rispetto a Ragusa fa presupporre che anche quest'ultima abbia risentito ugualmente effetti, anche se non sono arrivate notizie fino a noi.

In Tabella 1 sono sintetizzati i dati di Ragusa, in cui, alla tabella originale del database DBMI15, sono state inserite le indicazioni delle provincie, così da poter meglio discriminare la sismicità vicina da quella lontana.

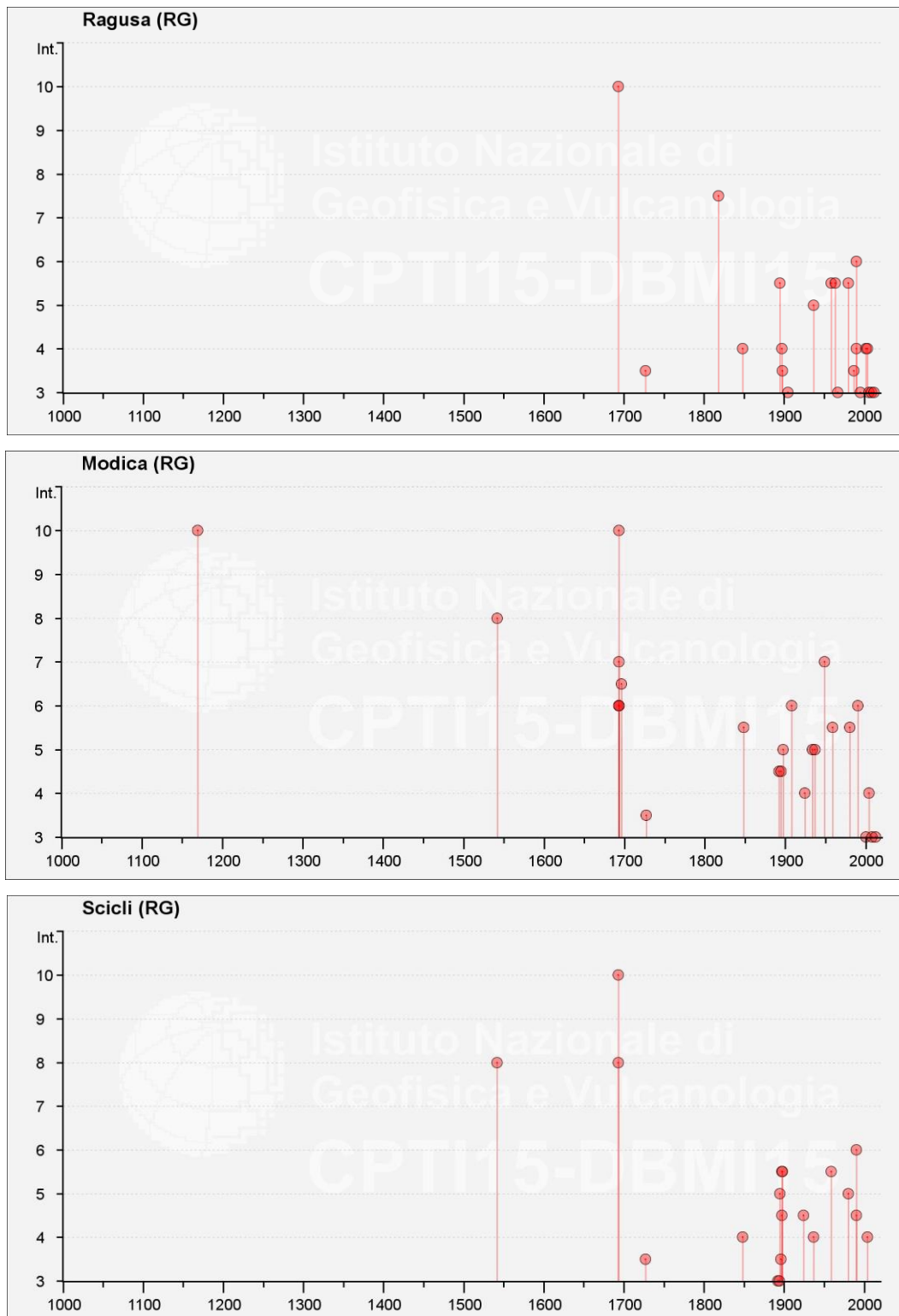


Fig. 23: risentimenti riferiti a Intensità > 3 avvertiti a Ragusa, Modica e Scicli dall'anno 1000 (fonte INGV-DBMI15).



Numero di Eventi: 33	Storia Sismica Ragusa [36.926°N, 14.729°E]				
Effetti	In occasione del terremoto del				
Is	Data	Ax	Np	Io	Mw
NC	1542 12 10 15 15	Sicilia sud-orientale	32	10	6.68
10	1693 01 11 13 30	Sicilia sud-orientale	179	11	7.32
3-4	1727 01 07	Val di Noto (SR)	14	6-7	4.64
F	1818 02 20 18 15	Catanese	128	9-10	6.28
7-8	1818 03 01 02 45	Monti Iblei (SR)	24	7-8	5.57
4	1848 01 11 12	Golfo di Catania	41	7-8	5.51
5-6	1895 04 13 15 01	Monti Iblei ? (SR)	32	6-7	4.82
4	1897 02 11 23 33 07.00	Ionio meridionale	96	5	5.03
NF	1898 08 12	Sicilia nord-orientale	69	6-7	4.82
3-4	1898 11 03 05 59	Calatino (CT)	48	5-6	4.51
NF	1903 07 13 08 19	Calatino (CT)	46	5	4.14
3	1905 09 08 01 43	Calabria centrale	895	10-11	6.95
5	1937 03 06 01 56	Monti Iblei (SR)	15	5	4.49
5-6	1959 12 23 09 29	Piana di Catania	108	6-7	5.11
5-6	1964 05 02 11 32	Monti Iblei (SR)	14	5	4.2
3	1967 10 31 21 08 07.00	Monti Nebrodi	60	8	5.33
F	1978 04 15 23 33 48.15	Golfo di Patti (ME)	330	8	6.03
5-6	1980 01 23 21	Monti Iblei (SR)	122	5-6	4.39
F	1980 05 28 19 51 20.04	Tirreno meridionale	44	5-6	5.66
3-4	1987 02 02 16 08 44.20	Sicilia centro-orientale	22		4.44
2-3	1987 08 13 07 22 09.91	Etna – Maletto (CT)	35	6	4.75
4	1990 10 29 08 16 14.35	Stretto di Sicilia	40		4.79
6	1990 12 13 00 24 25.68	Sicilia sud-orientale	304		5.61
2-3	1990 12 16 13 50 28.68	Ionio meridionale	105		4.38
3	1995 02 10 08 15 45.00	Etna - Versante occidentale	18	5	4.31
2	2000 11 05 17 26 27.04	Etna - Versante meridionale	70	5-6	3.85
4	2002 09 06 01 21 27.25	Tirreno meridionale	132	6	5.92
NF	2004 05 05 13 39 42.93	Isole Eolie	641		5.42
4	2004 12 30 04 04 50.26	Monti Iblei (SR)	48	4	3.82
3	2006 04 23 14 42 38.19	Siracusano	12	4	4.05
NF	2006 12 19 14 58 05.94	Etna - Versante nord-occidentale	28	6	4.19
3	2009 12 19 09 01 14.58	Etna – Maletto (CT)	64	6	4.39
3	2012 06 27 01 14 20.24	Monti Iblei (SR)	16	5	3.9

Tabella 1: storia sismica di Ragusa estratta da DBMI15. Is=Intensità locale (NC=terremoto non classificato, F=terremoto avvertito, NF=terremoto non avvertito). Ax=Area dei maggiori effetti. Np=numero di osservazioni macrosismiche. Io=intensità epicentrale.



4.2.2 Inquadramento amministrativo e normativa sismica

Il campo ad olio di Ragusa ricade all'interno dell'area visibile in Fig. 24, in cui è stato evidenziato il campo (in viola), il Dominio interno (in rosso) ed esterno (in arancione) di rilevazione (per la definizione data si veda il capitolo 5).

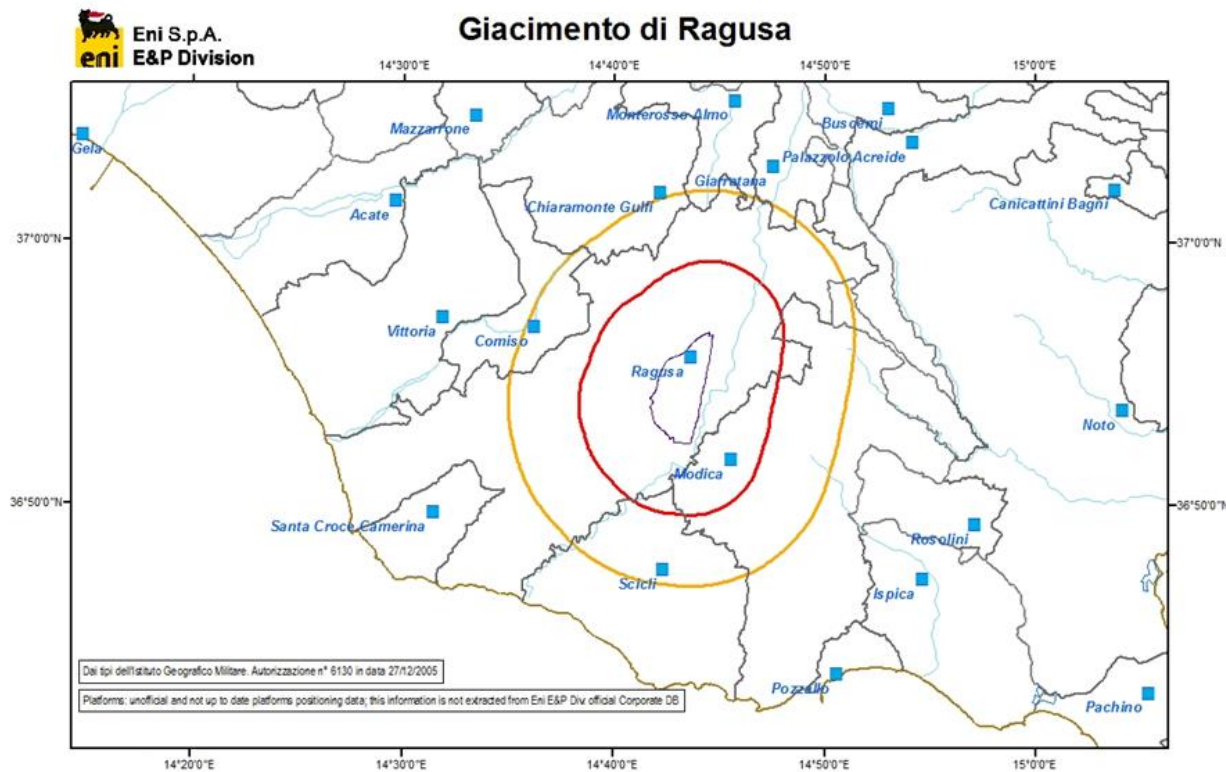


Fig. 24: limiti amministrativi dei comuni nell'area d'interesse per lo studio. In viola è indicato il giacimento, in rosso il DI e in arancione il DE.

Dal punto di vista amministrativo il campo ricade nel comune di Ragusa.

In Fig. 25 viene riportata la classificazione delle zone Sismiche in Sicilia come normato dall'Ordinanza della Presidenza del Consiglio 3274/03 e s.m.i., ratificato dalla Regione Sicilia con Delibera della Giunta regionale n.408 19/12/2003. Questa figura è messa a confronto con la mappa di pericolosità sismica (MPS04) elaborata da INGV (Ordinanza PCM 28/04/2006 n. 3519, All. 1b), espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Fig. 26).



Per determinare la classificazione della Sicilia sono state utilizzate le stesse informazioni riportate nel capitolo precedente (cataloghi storici macrosismici e strumentali e informazioni geologiche-strutturali): le aree a basso rischio sismico sono sulla costa centro-meridionale, contornate da zone, che hanno sperimentato in passato una sismicità medio-alta ossia l'area del Belice, quella dello stretto di Messina e la zona degli Iblei e quella Etnea. Queste ultime due, pur classificate come Zona Sismica 2, risultano Zona 1 per la parte normativa degli edifici “strategici e rilevanti”, comma 2 art. 3 ord. PCM 3274/2003, evidenziata in Fig. 25 come zona puntinata rossa su fondo arancio. Ragusa e i comuni limitrofi ricadono in questa categoria mista.

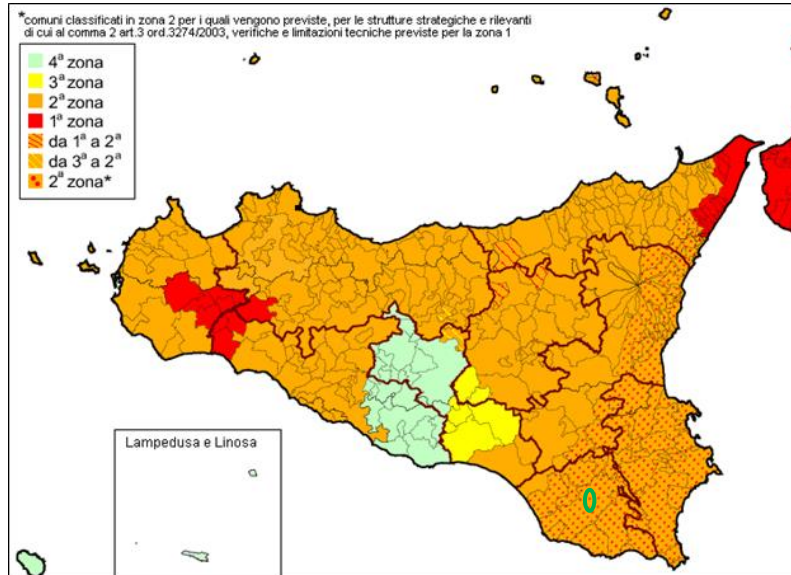


Fig. 25: classificazione sismica della Sicilia: 1^a zona= ad altissimo rischio). In verde il campo di Ragusa.

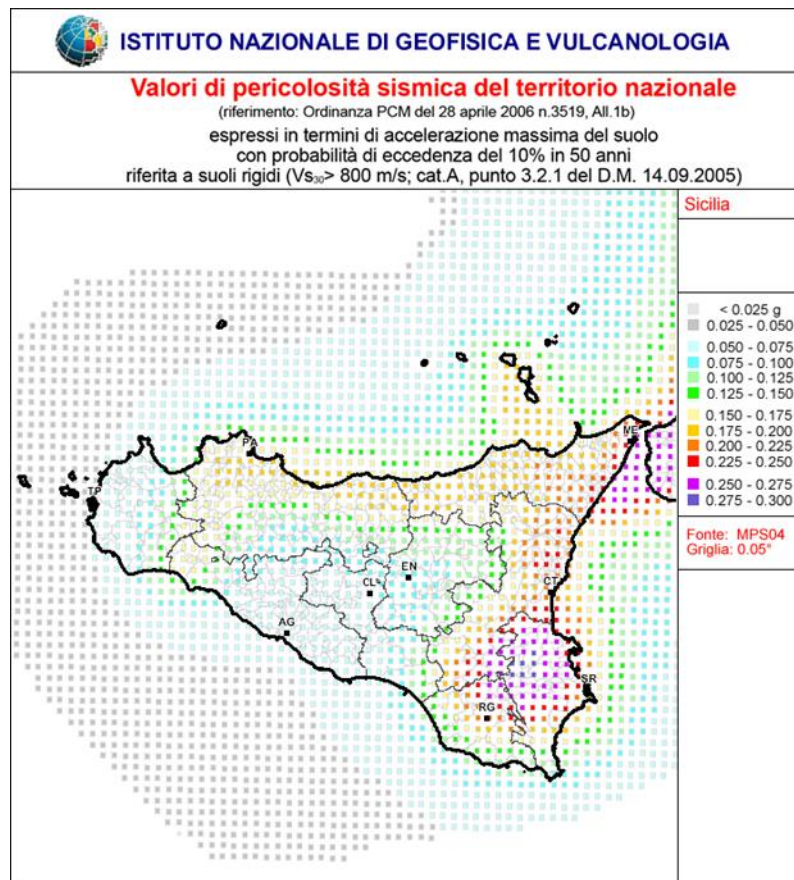


Fig. 26: valori di pericolosità sismica della Sicilia (MPS04) da fonte INGV.



4.2.3 Analisi statistiche

In Fig. 27 sono evidenziati i valori di pericolosità sismica per l'area di Ragusa e la probabilità di un evento forte in zona, estratti dal *Progetto DPC-INGV S1* presente sul sito WEB dell'INGV (Meletti e Montaldo, 2007).

Nella Fig. 27a si osserva che, spostandosi dalla costa, passando per la piana di Vittoria verso Buccheri, vi è un'area di crescente pericolosità. Ragusa si trova nella fascia con risposta massima di accelerazione prevista, riferita a suoli rigidi e pianeggianti, di 0.225g (colore arancione forte, intervallo 0.200-0.225 g), con probabilità di superamento di questo valore del 10% in 50 anni. Questa informazione indica quanto si può prevedere essere forte a Ragusa il risentimento causato da terremoti, indipendentemente che gli epicentri siano vicini o lontani.

Si vuol sottolineare che le informazioni di accelerazione previste sono calcolate per suoli rigidi (velocità delle onde S a 30 m di profondità ≥ 800 m/s) e orizzontali, ma che tali valori devono essere corretti per situazioni diverse, come ampiamente sviluppato nel Decreto Ministeriale 14/01/2008. Nel Decreto del 2008 vengono indicati i valori intervallo da attribuire nelle diverse categorie di sottosuolo e nel caso di profili topografici non orizzontali.

La Fig. 27b permette di valutare il contributo di diverse sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M. In altre parole fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario), inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso (Spallarossa e Barani 2007). Per Ragusa il contributo più alto (15%) è per un terremoto di $M=4.5 - 6.0$ ad una distanza di 0 km - 10 km: a tale distanza ritroviamo i terremoti evidenziati nel paragrafo 4.1.1.

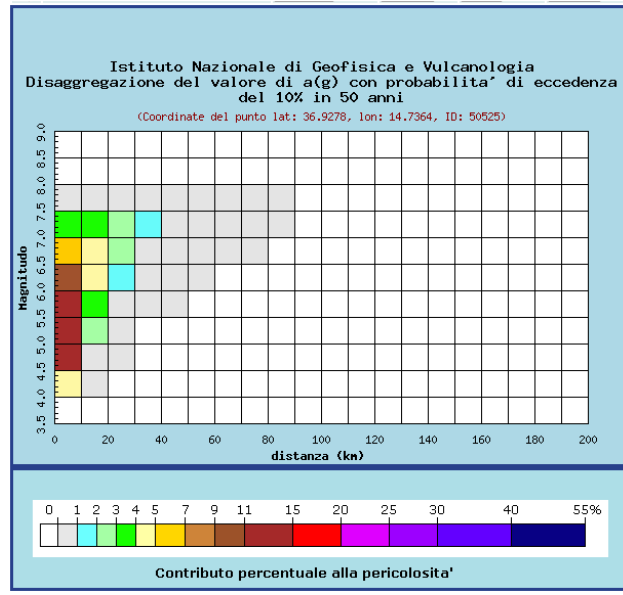
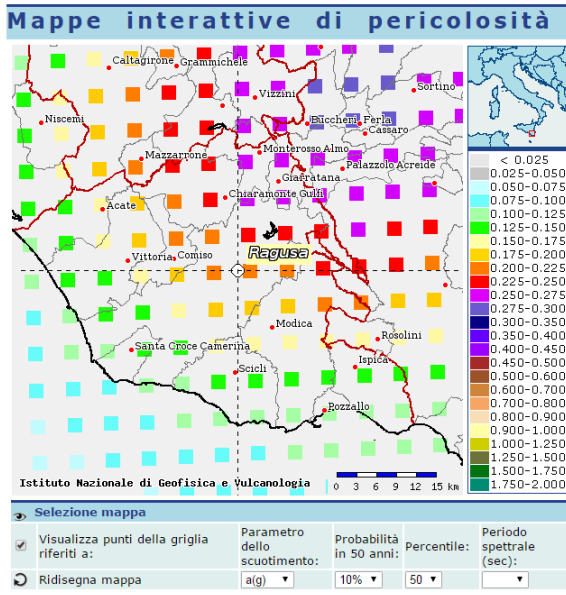


Fig. 27: a) pericolosità sismica nell'area di Gela; b) contributo percentuale alla pericolosità (da INGV: dati on line della pericolosità sismica in Italia).

Nell'ambito della zona di Ragusa, come descritto nel paragrafo 3.2, la geologia superficiale indica la presenza di un altopiano carbonatico intersecato da graben di varie dimensioni, con pareti spesso sub verticali.

Tale situazione può essere riconducibile a quella di un suolo rigido, per cui valgono i valori di accelerazione del suolo sopraindicati in zone sub-orizzontali.

I siti su orli di scarpata possono, invece, presentare segnali sismici amplificati. Il DM 14/1/2008 pone un fattore di 1.4 come valore di amplificazione massimo per tali situazioni.

Questo è il fattore da moltiplicare ai valori di accelerazione massima stimati per l'area, 0.200-0.225 g, con un risultato di 0.28-0.315 g per suoli formati da "Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi" e "Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ " (DM 14/1/2008).



5 Struttura della rete di monitoraggio sismico

5.1 Geometria

Ai fini della progettazione della rete, gli ILG individuano 2 volumi di sottosuolo circostante il giacimento: il Dominio Interno di rilevazione (**DI**) e il Dominio Esteso di rilevazione (**DE**). L'estensione di tali domini è determinata dalle caratteristiche geometriche e produttive del giacimento in esame.

La rete in oggetto dovrà controllare l'attività produttiva sul campo a olio di Ragusa, con l'eventuale, limitata, estensione verso Sud del prospect Arancio. Il giacimento è composto dai livelli carbonatici della formazione Sciacca, a una profondità originale inferiore ai 1600 m l.m. Per gli scopi della progettazione, in maniera cautelativa, si assume che la profondità massima di riferimento sia pari a 2 km.

Nel campo è **attiva** la reiniezione d'acqua, attraverso i pozzi Ragusa-8 e Ragusa-15.

Sulla base di tali dati l'estensione dei due domini, secondo le indicazioni degli ILG, è definita come:

- Dominio Interno: 5 km intorno e sotto il giacimento, fino in superficie.
- Dominio Esteso: un'ulteriore fascia di almeno 5 km intorno al DI.

All'interno dei domini sopra indicati le stazioni della rete andranno ubicate in modo da soddisfare le indicazioni geometriche date nelle ILG.

A questo proposito si sottolinea che l'idoneità della rete agli ILG sarà valutata non sulla base di parametri geometrici o strumentali, ma dei soli 4 requisiti prestazionali seguenti:

- 1) Rilevare e localizzare nel DI terremoti a partire da magnitudo locale inferiore a 1 ed incertezza di localizzazione dell'ipocentro di alcune centinaia di metri.
- 2) Nel DE migliorare di circa 1 unità la magnitudo di completezza (M_c) delle reti nazionali, con incertezza di localizzazione dell'ipocentro entro circa 1 km.
- 3) Determinare l'accelerazione e la velocità del suolo presso i punti di misura.
- 4) Integrarsi opportunamente con le reti di monitoraggio esistenti.




Sulla base di tali caratteristiche e delle indicazioni degli ILG, sono individuati i seguenti parametri significativi ai fini della progettazione (profondità da livello mare):

- $Z_r = 2$ km profondità massima del giacimento ai fini di progetto
- $D_I = 5$ km estensione del DI oltre il giacimento
- $D_E = 5$ km estensione del DE oltre il DI
- $Z_i = 7$ km profondità massima del DI
- $Z_e = 12$ km profondità massima del DE
- $D_{Si} \leq 5$ km interdistanza tra le stazioni nel DI
- $D_{Se} > 5$ km interdistanza tra le stazioni nel DE
- $M_c < 1.5$ magnitudo di completezza richiesta nel DE

La M_c è determinata sulla base delle mappe contenute nella Figura 3 di Schorlemmer et al. (2010), in cui si osserva che la M_c della Rete Sismica Nazionale per la regione Iblea è non inferiore a 2.5.

Nella Fig. 28 è riportata un'immagine da satellite su cui sono indicati il campo di Ragusa e i limiti del DI e del DE calcolati secondo i dati sopra riportati. Le dimensioni massime dell'area di monitoraggio sono 23x28 km, allungata in direzione Nord-Sud. Sono indicate anche le posizioni del nuovo pozzo da perforare Arancio-1 Dir e dei pozzi iniettori d'acqua Ragusa-8 e Ragusa-15.

Nella Fig. 29 sono individuate tramite l'indicatore giallo le possibili zone dove cercare i siti per l'installazione delle stazioni microsismiche. Al momento non sono stati effettuati sopralluoghi di campo, ma è stata solo definita la configurazione geometrica della rete. Si tratta di posizioni assolutamente indicative che nella fase di progettazione della rete andranno esaminate con sopralluoghi di dettaglio per individuare i siti più idonei sia dal punto di vista logistico (accessibilità, patrimoniale ...) che operativo (rumore di fondo, segnale telefonico, illuminazione solare). In aggiunta, l'area d'interesse presenta centri abitati di grosse dimensioni (Ragusa, Modica, Comiso) ed è soggetta a attività agricola. Quindi, sarà

 eni S.p.A. Exploration	RAPPORTO TECNICO		
	"STUDIO GEOLOGICO E SISMOLOGICO CAMPO DI RAGUSA"		
	DOC. N. GEOM-2016034-MS-RT-01	REV. 00	PAG. 46 DI 64

opportuno individuare siti che permettano l'installazione in modo adeguatamente riparato dal rumore ambientale, soprattutto dei sensori.

La rete proposta risulta formata da **8 stazioni**, 4 nel DI e 4 nel DE con una copertura azimutale pressochè completa intorno al campo. A questo proposito bisogna considerare che buona parte del settore SE, sia nel DI che nel DE, risulta occupata dal vasto abitato di Modica e dei centri vicini. Quindi, risulterà difficile individuare in questa zona siti adeguati, cioè a basso rumore ambientale, per l'installazione di una stazione microsismica. Discorso analogo vale per l'area in corrispondenza del campo, quasi completamente occupata dall'abitato di Ragusa. Si cercherà di individuare un sito adatto, indicato in Fig. 29 con il nome RAIC, nella parte meridionale del campo che è l'unica con meno insediamenti abitativi. Tale postazione, se installata, sarà molto utile perché in prossimità del nuovo pozzo Arancio-1 Dir e dei 2 pozzi iniettori. Essa servirà per ridurre la distanza tra le stazioni nel DI, oltre che da presidio direttamente sopra il giacimento. Per il resto, le indicazioni che derivano dallo studio della sismicità pregressa indicano una distribuzione abbastanza omogenea dei sismi sull'area d'interesse, e quindi le restanti ubicazioni saranno distribuite intorno al campo lungo le varie direzioni.

Nella Fig. 29 è indicata con il triangolo azzurro la stazione sismica HMDC, facente parte della Rete Sismica Nazionale gestita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e attualmente attiva. Essa è appena all'interno del DI e dista dall'area centrale del giacimento circa 7.5 km e circa 11.5 km dal pozzo Arancio-1 Dir. Tale stazione fornisce un controllo aggiuntivo e indipendente della zona del giacimento. La geometria della rete Eni tiene conto della presenza di tale stazione, i cui dati, qualora disponibili, saranno utilizzati insieme a quelli della rete Eni per un'analisi integrata dei fenomeni sismici.

Il numero di stazioni ipotizzato, su un'area così ristretta, consentirà di avere ridondanza, utile per garantire il corretto svolgimento del monitoraggio anche in presenza di malfunzionamenti di alcune stazioni.

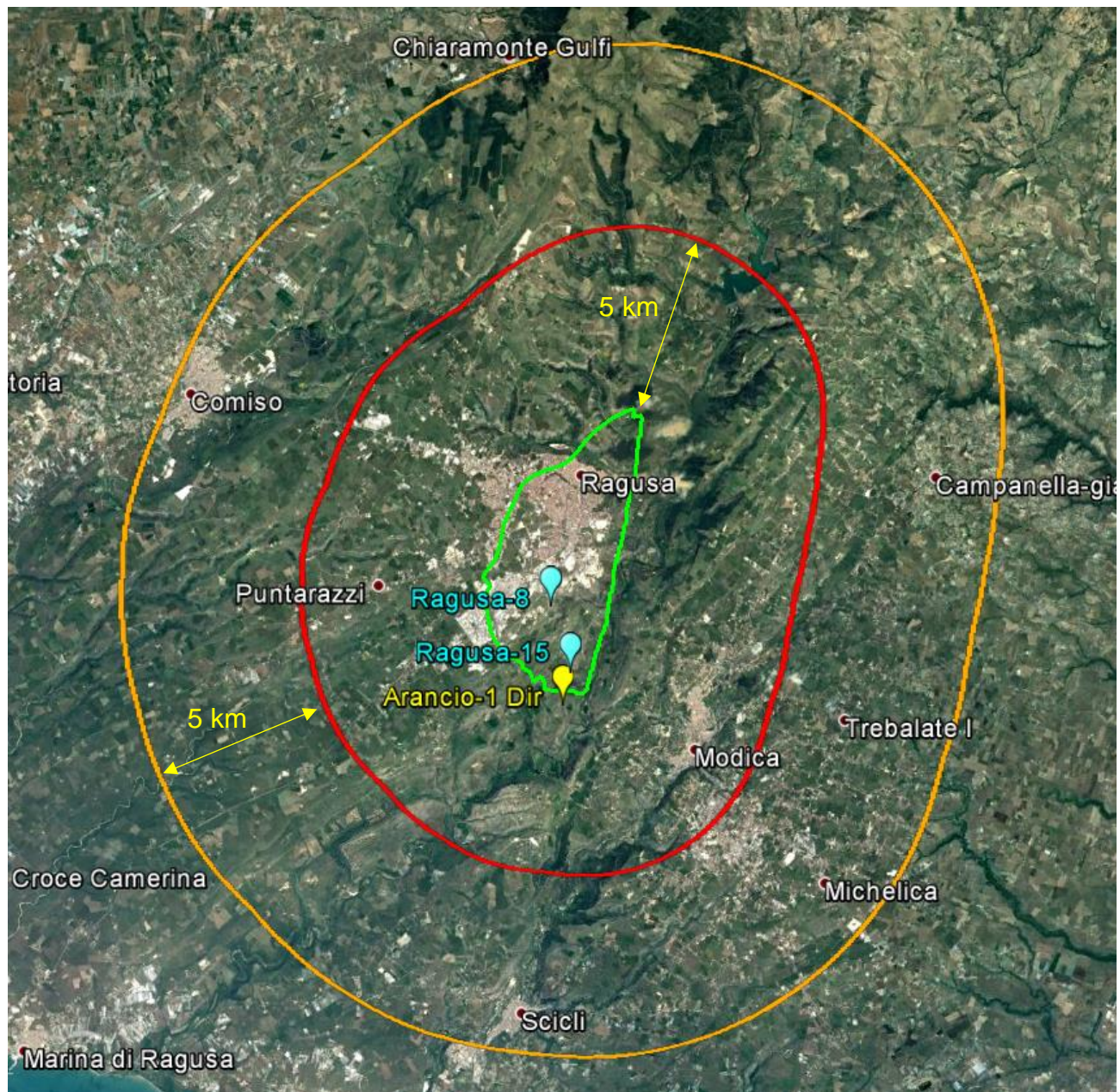


Fig. 28: immagine da satellite del campo di Ragusa (verde) con indicata la posizione del pozzo Arancio-1 Dir e dei 2 pozzi iniettori (azzurro) Ragusa-8 e Ragusa-15. In rosso è indicato il limite del DI e in arancio il limite del DE.

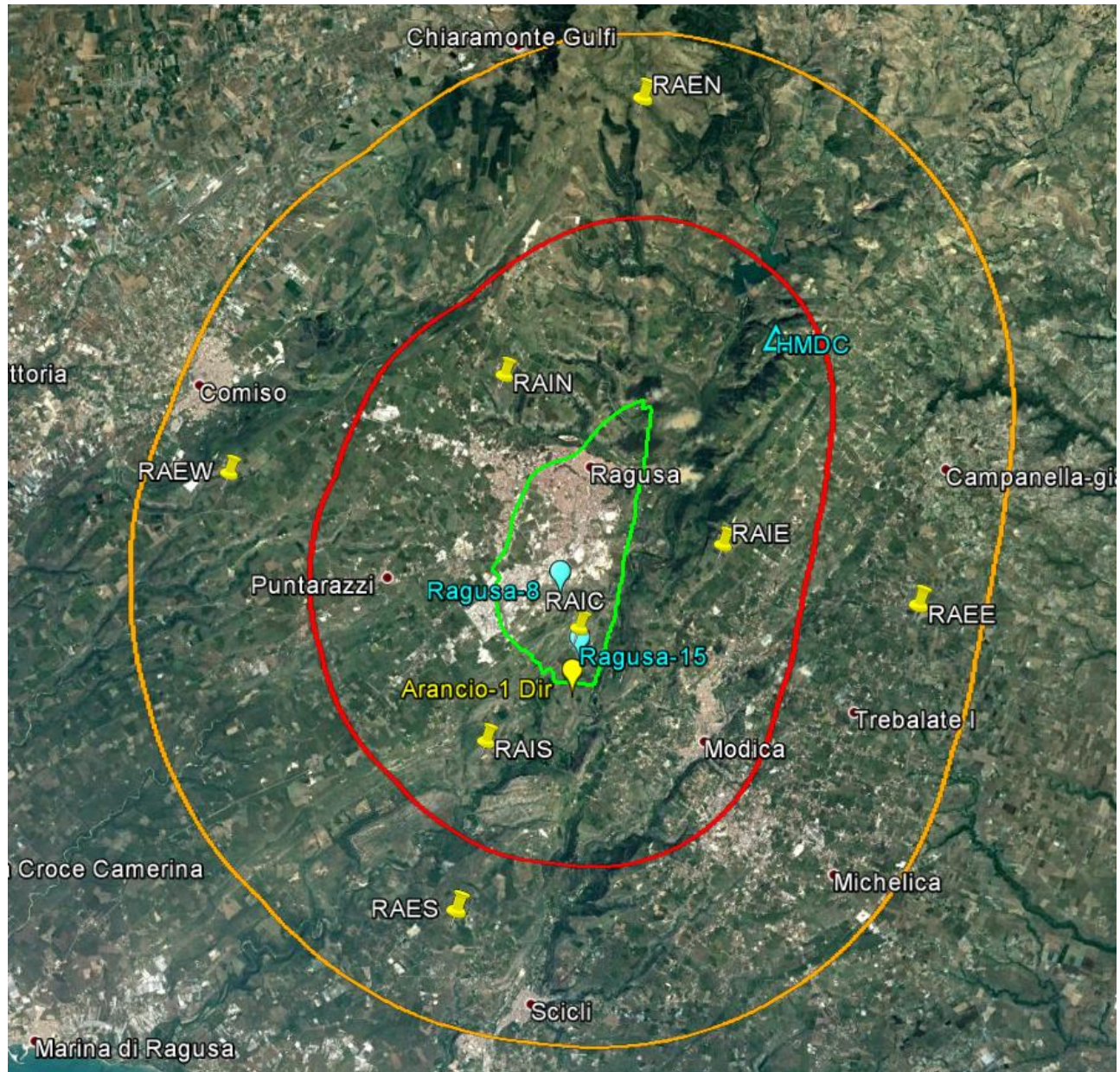


Fig. 29: come Fig. 28 con indicata la posizione delle possibili zone (giallo) dove ubicare le stazioni microsismiche. Il triangolo azzurro indica l'ubicazione della stazione INGV.



Al fine di quantificare la rete proposta, nella Tabella 2 sono riportate le distanze indicative tra tutte le possibili zone d'ubicazione, la stazione INGV e i pozzi Arancio-1 Dir, Ragusa-8 e Ragusa-15, mentre nella Tabella 3 sono indicate le distanze solo tra quelle adiacenti.

Si possono fare le seguenti considerazioni:

- 1) La distanza massima tra due ubicazioni sarà di circa 23 km (RAES-RAEN).
- 2) La distanza minima tra due ubicazioni sarà di circa 4 km (RAIC-RAIS).
- 3) L'interdistanza nel DI sarà inferiore a circa 7 km, a causa della presenza dell'abitato di Ragusa nella parte centrale.
- 4) L'interdistanza nel DE sarà inferiore a circa 15 km.
- 5) La distanza massima di una stazione dal pozzo Arancio-1 Dir sarà di circa 11 km, con la stazione INGV a circa 11 km.
- 6) Entro 5 km circa dal pozzo ci saranno 2 ubicazioni.
- 7) La distanza massima di una stazione dal pozzo iniettore Ragusa-8 sarà di circa 13 km, con la stazione INGV a circa 10 km. Entro 5 km circa dal pozzo ci saranno 2 ubicazioni.
- 8) La distanza massima di una stazione dal pozzo iniettore Ragusa-15 sarà di circa 11 km, con la stazione INGV a circa 11 km. Entro 5 km circa dal pozzo ci saranno 3 ubicazioni, di cui una entro 1 km.



eni S.p.A.
Exploration

RAPPORTO TECNICO

“STUDIO GEOLOGICO E SISMOLOGICO CAMPO DI RAGUSA“

DOC. N.
GEOM-2016034-MS-RT-01

REV.
00

PAG. 50 DI 64

Stazione	RAEE	RAEN	RAES	RAEW	RAIC	RAIE	RAIN	RAIS	HMDC	ARANCIO-1D	RAGUSA-8	RAGUSA-15
RAEE		16	15	19.5	9.5	5.5	13	12.5	8.5	9.5	9.5	9.5
RAEN	16		23	15.5	14.5	12.5	8.5	18	7	16	13.5	15
RAES	15	23		13.5	8.5	12.5	15	5	18.5	7	9.5	8
RAEW	19.5	15.5	13.5		10.5	14	8	10	16	11	10	11
RAIC	9.5	14.5	8.5	10.5		4.5	7	4	10	1.5	1.5	0.5
RAIE	5.5	12.5	12.5	14	4.5		7.5	8.5	6.5	5.5	4.5	5
RAIN	13	8.5	15	8	7	7.5		10	8	8.5	6	9
RAIS	12.5	18	5	10	4	8.5	10		14	3	5	3.5
HMDC	8.5	7	18.5	16	10	6.5	8	14		11.5	9.5	10.5
ARANCIO-1D	9.5	16	7	11	1.5	5.5	8.5	3	11.5		2.5	1
RAGUSA-8	9.5	13.5	9.5	10	1.5	4.5	6	5	9.5	2.5		2
RAGUSA-15	9.5	15	8	11	0.5	5	9	3.5	10.5	1	2	

Tabella 2: distanze in km tra le possibili ubicazioni delle stazioni microsismiche di Ragusa. E' riportata anche la stazione INGV. Sono indicate anche le distanze dal nuovo pozzo Arancio-1 Dir e dai pozzi iniettori Ragusa-8 e Ragusa-15.



eni S.p.A.
Exploration

RAPPORTO TECNICO

“STUDIO GEOLOGICO E SISMOLOGICO CAMPO DI
RAGUSA“


DOC. N.
GEOM-2016034-MS-RT-01

REV.
00

PAG. 51 DI 64

Stazione	RAEE	RAEN	RAES	RAEW	RAIC	RAIE	RAIN	RAIS	HMDC	ARANCIO-1D	RAGUSA-8	RAGUSA-15
RAEE						5.5						
RAEN							8.5		7			
RAES								5				
RAEW							8				10	
RAIC						4.5	7	4			1.5	0.5
RAIE	5.5				4.5		7.5		6.5		4.5	
RAIN		8.5		8	7	7.5			8		6	
RAIS			5		4					3		
HMDC		7				6.5	8				9.5	
ARANCIO-1D								3				
RAGUSA-8				10	1.5	4.5	6		9.5			
RAGUSA-15					0.5							

Tabella 3: come Tabella 2, ma solo tra le ubicazioni adiacenti.

 eni S.p.A. Exploration	RAPPORTO TECNICO “STUDIO GEOLOGICO E SISMOLOGICO CAMPO DI RAGUSA“		
	DOC. N. GEOM-2016034-MS-RT-01	REV. 00	PAG. 52 DI 64

5.2 Strumentazione

Seguendo le indicazioni degli ILG, le stazioni saranno equipaggiate nel seguente modo:

- Accelerometri a 3 componenti su tutte le stazioni.
- Sismometri a 3 componenti a Corto Periodo con periodo naturale ≥ 1 s su 7 stazioni.
- Sismometro a 3 componenti a Larga Banda con periodo naturale ≥ 20 s su una delle stazioni nel DI. Preferibilmente, la stazione RAIC, centrale nella rete, ma dipenderà dalle condizioni sismiche e logistiche.
- Sensori installati in superficie. Eventuali installazioni in pozzi superficiali saranno valutate dopo aver svolto le misure di rumore, durante la progettazione di dettaglio.
- Acquisitore a 6 canali con conversione analogico-digitale a 24 bit.
- Frequenza di campionamento ≥ 200 Hz per i sismometri, ≥ 100 Hz per gli accelerometri.
- Banda utile di segnale:
 - sismometri corto periodo almeno 1-80 Hz;
 - sismometri larga banda almeno 0.05-80 Hz;
 - accelerometri almeno 0-40 Hz.
- Registrazione in continua H24.
- Trasmissione dati H24 al sistema centrale di controllo tramite connessioni ad alta velocità, tipo segnale UMTS.
- Salvataggio in locale di almeno 2 mesi di dati grezzi su memoria non volatile, recuperabili a posteriori nel caso di prolungata assenza del collegamento con la stazione centrale.
- Sincronizzazione temporale dei dati tramite segnale GPS.



Per quanto riguarda l'alimentazione, sarà in tensione continua a 12 V tramite linea elettrica. Il consumo massimo previsto dalla stazione completamente funzionante non sarà superiore a 5 W. Saranno utilizzate batterie tampone per garantire il funzionamento per alcuni giorni anche in assenza di alimentazione esterna.

I sensori saranno installati in un pozzetto superficiale in cemento, con dimensioni indicative 1.5x1.5x1.5 m, all'interno del quale si trova un plinto di cemento di dimensioni 60x60 cm circa su cui essi saranno appoggiati.

La restante strumentazione sarà contenuta all'interno di armadietti stagni, con classe di protezione almeno IP55, tipo quelli usati per i quadri elettrici. Questi armadietti potranno essere installati all'aperto o riparati presso garage o scantinati, a seconda delle disponibilità logistiche e di proprietari esterni. Nelle Fig. 30 - Fig. 33 sono mostrate alcune tipologie di installazione delle stazioni già in funzione sulle reti Eni.

Sempre in relazione alla strumentazione, si tenga presente che la stazione INGV è a larga banda, con sismometro di periodo 40 s.



Fig. 30: esempio di stazione microsismica completamente autonoma in zone remote.



Fig. 31: esempio di alloggiamento della strumentazione nell'armadietto e del sensore all'interno del pozzetto.



Fig. 32: armadietto con la strumentazione installato all'interno di deposito per attrezzi agricoli.



Fig. 33: armadietto con la strumentazione installato sul retro di un garage e pozzetto del sensore.



Le stazioni remote trasmetteranno tutti i dati grezzi in modo continuo e in near-real time (con ritardi complessivi dell'ordine del minuto) alla stazione centrale di controllo, ubicata presso gli uffici Eni di San Donato Milanese dove opera il gruppo microsismico di Eni. Qui i dati saranno sottoposti a controllo di qualità ed elaborazione.

Nel caso in cui i dati grezzi debbano essere distribuiti a terze parti, sarà permesso l'accesso alle stazioni remote tramite connessioni protette e autorizzate. In questo modo le terze parti potranno scaricare direttamente i dati grezzi dalle stazioni remote, senza alcun intervento di Eni e senza dover accedere al server centrale di Eni.

Se necessario, sarà comunque garantito anche lo scarico dei dati dal server centrale di controllo della rete microsismica.

Sulla stazione centrale funzionerà un software di elaborazione automatica per l'elaborazione continua dei dati raw in modo autonomo, utilizzando i parametri e le opzioni selezionate dall'utente. Lo scopo è di rilevare l'esistenza di possibili eventi microsismici, localizzarli e calcolare la magnitudo. In seguito, i risultati saranno comunque rivisti da un sismologo per la validazione finale, utilizzando il software di elaborazione interattiva.

Seguendo l'approccio standard utilizzato per tutte le reti Eni, i risultati dell'attività saranno diffusi ufficialmente tramite bollettini emessi con cadenza mensile. Tali bollettini conterranno tutte le informazioni riguardanti sia il funzionamento delle stazioni sia i sismi rilevati, corredate da mappe e analisi statistiche.



6 Stima tempi di realizzazione della rete microsismica

I tempi per la realizzazione della rete si possono stimare in **18 mesi** dall'avvio del progetto e si ripartiscono nelle fasi principali di Progettazione e Installazione, come indicato in Tabella 4. Nella tabella sono riportate anche le principali attività che saranno svolte durante le due fasi.

E' stata aggiunta anche la successiva fase di Avviamento della rete, che normalmente dura circa 6 mesi. Si sottolinea che durante l'Avviamento, la rete è pienamente operativa ma sarà necessario calibrare il monitoraggio sulla realtà sismica specifica dell'area per ottenere risultati ottimali. Si effettuerà la taratura degli strumenti di registrazione con la definizione dei migliori parametri di acquisizione. Inoltre, devono essere definite le procedure di elaborazione, con la determinazione/verifica del modello di velocità e l'individuazione di un'adeguata legge di magnitudo. Queste informazioni dipendono dalla complessità geologica e sismica dell'area.



ATTIVITA'	MESI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Progettazione		■	■	■	■	■	■																		
<i>Individuazione siti</i>																									
<i>Misure di rumore</i>																									
<i>Scelta strumentazione</i>																									
<i>Progettazione opere civili</i>																									
<i>Definizione costi</i>																									
<i>Definizione tempi</i>																									
Installazione								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
<i>Stipula contratti affitto</i>																									
<i>Realizzazione opere civili</i>																									
<i>Acquisto strumenti</i>																									
<i>Installazione strumenti</i>																									
Avviamento																					■	■	■	■	■
<i>Taratura parametri di acquisizione</i>																									
<i>Definizione procedure di elaborazione</i>																									

Tabella 4: distribuzione temporale delle varie fasi di realizzazione della rete microsismica di Ragusa.



eni S.p.A.
Exploration

RAPPORTO TECNICO

“STUDIO GEOLOGICO E SISMOLOGICO CAMPO DI
RAGUSA“

DOC. N.
GEOM-2016034-MS-RT-01

REV.
00

PAG. 59 DI 64



7 Bibliografia

7.1 Bibliografia della parte geologica

Barreca, G. et al. (2013) – *Geodetic, geological and geophysical evidence of active tectonics in south western Sicily and off-shore*. In: Rend. Online Soc. Geol. It., vol.29, pp. 5-8.

Bello M. et al. (2000) – *Structural model of Eastern Sicily*. - in Mem. Soc.Geol.It., 55, pp 61-70.

Bianca, M. et al. (1999) – *Quaternary normal faulting in southeastern Sicily (Italy): a seismic source for the 1693 large earthquake*. in: Geophys. J. Int. , n. 139, pp 370-394.

Bonforte et al (2015) – *Geological and geodetic constrains on the active deformation along the northern margin of the Hyblean Plateau (SE Sicily)*. in: Tectonophysics n. 640-641, pp 80-89.

Carbone, S. et al. (1982) – *Elementi per una prima valutazione dei caratteri sismotettonici dell'avampese ibleo (Sicilia sud orientale)*. in: Mem. Soc. geol. It. n. 24, pp 507-520.

Carta Geologica d'Italia, Scala 1:100.000 – F° 272 e relative Note Illustrative

Catalano, R., Franchino, A., Merlini, S., Sulli, A. (2000) – *A crustal section from the Eastern Algerian basin to the Ionian Ocean (Central Mediterranean)*. In: Mem. Soc. Geol. It., 55, 71-85.

Catalano et al. (2008) – *Active faultings and seismicity along the Siculo-Calabrian Rift Zone (Southern Italy)*. in: Tectonophysics n. 453, pp177-192.

Catalano, R. et al. (2011) – *Walking along a crustal profile across the Sicily fold and thrust belt*. (AAPG International Conference & Exhibition – Milan 2011). in: ISPRA –Periodici Tecnici – Geological Field Trips 5(2.3)2013.

(http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/periodici-tecnici/geological-field-trips/documenti-gft/GFT2013_5_2_3.pdf)

Catalano et al. (2012) – *Geological and geodetic deformations rates along the active northern margin of the Hyblean Palteau (SE Sicily): new constrains for assessing the seismogenic potential of the region*. In: GNGTS Abstracts 2012.



Cristofolini, R., et al. (1982) – *Processi dinamici profondi e superficiali nell’Arco Calabro e nell’Appennino meridionale sulla base di dati geologici, sismologici e vulcanologici*. in: Mem. Soc. Geol. It. n. 24, pp 497-505.

Finetti I. Ed (2005) - *CROP PROJECT – Deep Seismic Exploration of the Central Mediterranean and Italy*. in Atlases in Geoscience, 1, Elsevier.

Finetti I. et alii 1996 - *Il sistema Appennino Meridionale - Arco Calabro - Sicilia nel Mediterraneo - Centrale: Studio Geologico e Geofisico*. In: Boll. SGI 115 (1996) fasc. 3, 529-559, 12 ff.

Ghisetti, F., Vezzani, L. (1980) – *The structural features of the Iblean Plateau and the Mount Judica area (Southeastern Sicily): a microtectonic contribution to the deformational history of the Calabrian Arc*. in: Boll. Soc. Geol. It., n. 99, pp 57-102.

Giorgianni, A., (2011) – *Evoluzione tettonica Plio-Quaternaria della Sicilia Nord occidentale: implicazioni sismo tettoniche nel margine tirrenico meridionale*. Tesi di Dottorato di Ricerca. Università degli Studi di Camerino.

Ghielmi, M., Gatti, V., Storer, P., Carubelli, P. (2009) – *Sicilia. Evoluzione geologica dell’off-shore del Bacino di Gela (Avanfossa Iblea) tra il Messiniano superiore ed il Pleistocene*. Eni Div E&P, rapporto interno.

Grasso, M., La Manna, F. (1993) – *Lineamenti stratigrafici e strutturali del fronte della Falda di Gela affiorante a NW del Plateau Ibleo (Sicilia Sud-orientale)*. in: Geologica Romana, 29, 55-72.

Grasso, M. et al. (2000) – *Pliocene-Pleistocene tectonics on the western margin of the Hyblean Plateau and the Vittoria Plain (SE Sicily)*. In: Mem. Soc.Geol.It. n. 55, pp 35-44.

Ingemi, D. (2011) – *La faglia Ibleo-Maltese e il grande potenziale sismico della Sicilia sud-orientale*. in: www.meteoweb.eu/2011

ISPRA – Università degli Studi di Catania – INGV (2014) – *Carta Geologica della Sicilia*. Ed. Selca

Lentini, F., Carbone, S., (2014) – *Geologia della Sicilia. II-II dominio d’avampaese*. in: Memorie Descrittive della Carta Geologica d’Italia, vol. XCV, Ed. Servizio Geologico d’Italia - ISPRA

Macchiavelli, C. et al. (2013) – *Oligo Quaternary kinematic evolution of the Sicilian-Maghrebian Chain*. In: Rend. SGI, vol.29.



Meletti, C., Valensise, G. Ed. (2004) INGV. Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica – Zonazione sismo genetica ZS9. App. 2 al Rapporto conclusivo. -

Monaco, C., Tortorici, L., 2000. *Active faulting in the Calabrian Arc and Eastern Sicily*. In: J. Geodyn., 29, 407-424

Morelli, C., (2000) – *The themes of crustal research in Italy and the role of DSS-WA seismic*. In: Boll. Soc. Geol. It. 119, 141-148.

Romagnoli, G. et al. (2008) – *Tettonica estensionale quaternaria del Plateau Ibleo*. in: Rend. Online SGI, Note Brevi, www.socgeol.it, pp.148-152.

Tassi, F. et al. (2012) *Origin of light hydrocarbons in gases from mud volcanoes and CH₄-rich emissions*. in: Chemical Geology, 294-295, 113-126.

Siti consultati

<http://studioprecursorisismici.blogspot.it>

<http://www.siripro.it/dipgeopa.asp>

<http://www.socgeol.it>

7.2 Bibliografia della parte sismologica

Arcidiacono S. (1904). *Il terremoto di Niscemi del 13 Luglio 1903* – Boll. Soc. Sism. Ital., 10, 159-167

Azzaro R. Barbano M.S. (2000). *Analysis of seismicity of Southeastern Sicily: proposal of a tectonic interpretation*. in: Ann. Geofis., 43 (1). 171-188

Azzaro, R., M.S. Barbano, R. Rigano e B. Antichi., 2000. *Contributo alla revisione delle zone sismogenetiche della Sicilia*, in: F. Galadini, C. Meletti & A. Rebez (Ed.), *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica*, CNR- GNDT, Roma, 397 pp., 31-38.

Barbano M.S., Azzaro R., Birritta P., Castelli V., Lo Giudice E. and Moroni A., 1996. *Stato delle conoscenze sui terremoti siciliani dall'anno 1000 al 1880: schede sintetiche*. GNDT, Rapporto interno, Catania, 287 pp.

Barbano M.S. , Cosentino M., Lombardo G., Patanè G. (1980). *Isoseismal maps of Calabria and Sicily earthquakes (Southern Italy)*. In : CNR, Prog. Fin. Geodinamica, Pubbl. 341, Catania.



Boschi, E., E. Guidoboni, G. Ferrari, D. Mariotti, G. Valensise and P. Gasperini (2000). *Catalogue of Strong Italian Earthquakes, 461 b.C to 1997*. In: Ann. Geofis., 43, 609-868, with database on CD-ROM.

Bousquet, J. C, G. Lanzafame, and C. Paquin,(1988). *Tectonic stresses and volcanism: in-situ stress measurements and neotectonic investigations in the Etna area (Italy)*, in:Tectonophysics, 149, 219-231.

Catalano, S., S. Torrisi and C. Ferlito (2004) *The relationship between Late Quaternary deformation and volcanism of Mt. Etna (eastern Sicily): new evidence from the sedimentary substratum in the Catania region*. In: J. Volcanol. Geoth. Res., 132, 311-334.

DISS Working Group, 2010. *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss>, © INGV 2010 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - All rights reserved; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.1.1.

EniMed, 2015. *Arancio 1 Dir - Programma geologico e di perforazione*.

Gruppo di Lavoro CPTI, 2004. *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04)*. INGV Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>

Guidoboni, E., G. Ferrari, D. Mariotti, A. Comastri, G. Tarabusi and G. Valensise, 2007. *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*. INGV-SGA. Available from <http://storing.ingv.it/cfti4med/>.

Meletti C., Montaldo V., 2007. *Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di ag. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D2*, <http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>

Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, 2016. *Procedimento di valutazione di impatto ambientale ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. relativa al progetto di “perforazione del pozzo esplorativo ‘Arancio 1 dir’ e messa in produzione in caso di mineralizzazione” nell’ambito della concessione di coltivazione di idrocarburi liquidi e gassosi denominata “Ragusa”, localizzato nel Comune di ragusa – Proponente società Eni Mediterranea Idrocarburi S.p.A. – Richiesta di integrazioni, Prot. 16139 del 17/06/2016 - DVA*.

Ministero dello Sviluppo Economico, 2014. *Indirizzi e Linee Guida per il monitoraggio della sismicità, delle deformazioni del suolo e delle pressioni di poro nell’ambito delle attività antropiche*, 24 Novembre 2014.



Musumeci, C., D. Patanè, L. Scarfì and S. Gresta, 2005. *Stress directions and shear-wave anisotropy: observations from local earthquakes in Southeastern Sicily, Italy*. in Bull. Seismol. Soc. Am., 95, 1359-1374.

Rovida A., R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi Ed, 2011. *CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>, DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI11.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>

Schorlemmer, D., Mele F., Marzocchi, W., 2010. *A completeness analysis of the National Seismic Network of Italy*, J. Geophys. Res., 115, B04308.

Spallarossa D., Barani S., 2007. *Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R-ε*. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D14, <http://esse1.mi.ingv.it/d14.html>

7.3 Bibliografia dei documenti amministrativi

Ordinanza PCM n. 3274 del 20 marzo 2003. *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*.

Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006 dalla G.U. n.108 del 11/05/06. *Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*:

Deliberazione Regione Sicilia del 19/12/ 2003 n. 408. *Regione Sicilia - Individuazione, formazione ed aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche ed adempimenti connessi al recepimento ed attuazione dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 Marzo 2003, n. 3274*.

Decreto ministeriale (infrastrutture) 14 gennaio 2008. *Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*.