



Ricerca di Sistema elettrico

Analisi geofisiche e caratterizzazione baseline dell'area del bacino del Sulcis

A. Plaisant, D. Multineddu, R. Cara

ANALISI GEOFISICHE E CARATTERIZZAZIONE BASELINE DELL'AREA DEL BACINO DEL SULCIS

A. Plaisant, D. Multineddu, R. Cara (SOTACARBO)

Settembre 2014

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2013

Area: Produzione di energia elettrica e protezione dell'ambiente

Progetto B.2: Cattura e sequestro della CO₂ prodotta dall'utilizzo dei combustibili fossili

Obiettivo: Parte B1 - c - Monitoraggio e storage della CO₂

Task: c.3 - Analisi geofisiche e caratterizzazione baseline dell'area del bacino del Sulcis

Responsabile del Progetto: ing. Stefano Giammartini, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Studi sull'utilizzo pulito di combustibili fossili, cattura e sequestro della CO₂*"

Responsabile scientifico ENEA: ing. Paolo Deiana

Responsabile scientifico SOTACARBO: ing. Enrico Maggio

Indice

SOMMARIO.....	4
ALLEGATO 1	5

Sommario

Il presente lavoro si inserisce nell'ambito dell'Accordo di Programma MSE-ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico, Piano Annuale di Realizzazione 2013, relativamente al tema di ricerca B.2 "Cattura e sequestro della CO₂ prodotta dall'utilizzo di combustibili fossili" e riguarda le attività c.3 "Analisi geofisiche e caratterizzazione baseline dell'area del bacino del Sulcis".

Il documento in allegato descrive lo studio della sismicità di fondo (o di *background*) dell'area carbonifera del Sulcis, per la definizione della *baseline* della sismicità naturale dell'area. Lo studio descrive inoltre le operazioni di campagna relative all'installazione della strumentazione per la rete sismica temporanea e la ricostruzione della sismicità storica e strumentale dell'area.

Allegato 1

Via di Vigna Murata, 505
00143 ROMA - Italia
Tel.: (39)-06-518601
Telefax: (39)-06-5041181
email: info@ingv.it



**Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia**

1

Rapporto tecnico delle attività di ricerca dal titolo

*“Studio del livello di sismicità naturale nell’area del Sulcis attraverso
l’acquisizione di dati sismologici di alta qualità”*

Committente: Sotacarbo S.p.A

A cura di:

Anselmi M., Buttinelli M. Chiarabba C.

con la partecipazione di:

Piccinini D., Improta L., Colasanti G., Moretti M.

Indice

Introduzione	Pag. 3
1. Inquadramento geologico e strutturale della Sardegna	3
2. Inquadramento geologico-strutturale dell'area del Sulcis	5
3. Il carbone del Sulcis	10
4. Sismicità strumentale e storica	12
5. Descrizione della rete di monitoraggio installata	16
6. Dati statistici preliminari di performance della rete ed analisi spettrale del rumore di fondo per ciascun sito di stazione	21
Bibliografia	24

Introduzione

Nell'ambito del contratto tra l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e Sotacarbo S.p.A. è previsto lo studio della sismicità di fondo (o di *background*) dell'area carbonifera del Sulcis, per la definizione della *baseline* della sismicità naturale dell'area. Lo studio verrà eseguito attraverso un'esperimento di sismica passiva orientato a registrare la microsismicità eventualmente presente nella regione di studio. L'analisi e l'elaborazione dei dati acquisiti da questa campagna fornirà la *baseline* della sismicità di fondo naturale nella zona di studio.

Tale *baseline* costituirà il principale riferimento per il successivo monitoraggio sismico di dettaglio dell'area del progetto di fattibilità, in particolare nell'area del potenziale sito di stoccaggio e costituirà uno strumento per la discriminazione tra la sismicità naturale e quella eventualmente dovuta a cause antropiche/industriali, oltre a fornire indicazioni sulla presenza di eventuali faglie attive e contribuire alla loro caratterizzazione.

In questo report verranno descritte, oltre ad una introduzione dell'assetto geologico e geologico-strutturale dell'area, anche la sismicità storica e strumentale dell'area. Oltretutto verranno descritte le operazioni di campagna relative all'installazione della strumentazione per la rete sismica temporanea e le prime elaborazioni, stime e valutazioni riguardo alle performance della rete stessa.

1. Inquadramento geologico e strutturale della Sardegna

L'isola della Sardegna è stata interessata da 3 principali fasi tettoniche che l'hanno interessata dal Paleozoico al recente.

All'inizio della sua storia geologica, la microplacca Sardo-Corsa (conosciuta anche come blocco Sardo-Corso) era in continuità fisica con il margine continentale dell'Europa Meridionale in corrispondenza delle odierne regioni della Provenza e della Catalogna (Cherchi et al., 2008, Dieni et al., 2008).

Il primo importante evento tettonico che ha interessato il blocco è stata l'orogenesi Ercinica, prodotta dalla collisione della Gondwana con la Laurasia (Tait et al., 1997). L'orogenesi Ercinica si è sviluppata tra il Tournaisiano ed il Westfaliano superiore (Carbonifero inferiore-medio), con una tettonica polifasica (Carmignani et al., 1978), accompagnata da metamorfismo regionale di intensità crescente da SO (sequenze metasedimentarie) a NE (facies anfibolitica di media pressione). Successivamente, durante il Mesozoico (Trias superiore–Cretacico superiore), la Sardegna, situata ancora ai margini della Tetide ed interposta tra la placca Europea e la Placca Africana, ha subito un periodo di continue trasgressioni e regressioni marine che hanno condotto alla messa in posto di successioni sedimentarie sia di mare profondo che continentali (Maffione et al., 2008, Zanettin et al., 2008).

Il secondo importante evento orogenetico che ha interessato la Sardegna è stata l'orogenesi Alpina (Jolivet e Faccenna, 2000; Gattacceca, 2001; Rosenbaum et al., 2002; Lacombe e Jolivet, 2005; Lustrino et al., 2009; Fig. 1.1), derivante dalla collisione tra il margine continentale nord-Africano e il margine continentale Europeo in età compresa tra il Cenozoico ed il Langhiano.

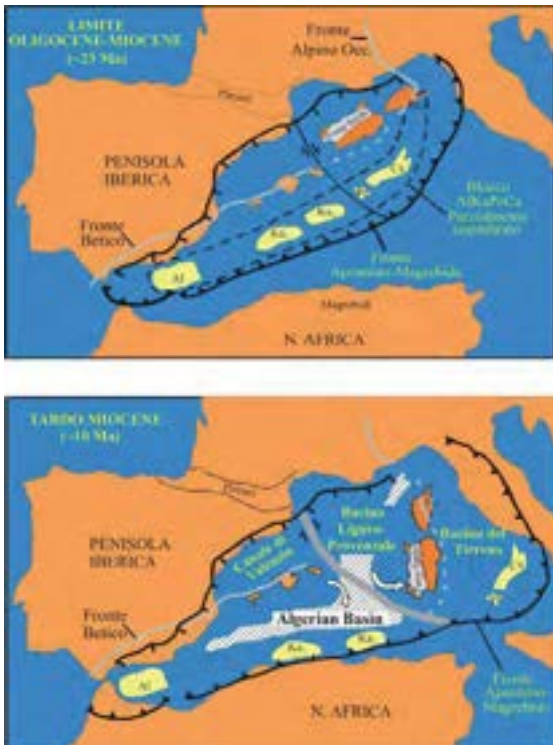


Figura 1.1 - Evoluzione geodinamica del settore del Mediterraneo occidentale dall'Oligocene al Tardo Miocene. Figura modificata da Lustrino et al. (2009). Al, blocco Alboro; Ka1, grandi Cabilie; Ka2, piccole Cabilie; Pe, Peloritani; Ca, Calabria; Ne, unità Nebbio della Corsica nord-orientale.

Nel Paleozoico, più precisamente nel Varisco, la Sardegna è stata interessata da una fase di tettonica compressiva (ciclo orogenico Ercinico), che ha contribuito alla formazione dei litotipi metamorfici che costituiscono il basamento Paleozoico sardo (Carmignani et al., 1982; Carosi et al., 1998; Frassi, 2006). Tale basamento ed è composto da rocce appartenenti al periodo Carbonifero (Tournaisiano-Westfaliano superiore), che affiorano principalmente nella parte meridionale e sud-occidentale dell'Isola, e da rocce di età Cambro-Carbonifera, affioranti nelle zone centrali e settentrionali.

I prodotti del basamento sardo possono essere distinti in tre complessi tettono-metamorfici principali (Carmignani et al., 1978,1982, 1994; Cortesogno et al., 1998; Carosi et al., 2005; Frassi, 2006):

- a) una zona anchimetamorfica esterna, affiorante nella parte sud-occidentale dell'Isola (Sulcis-Iglesiente) e caratterizzata da faglie e sovrascorrimenti. Essa è rappresentata da una successione sedimentaria di età compresa tra il Cambriano inferiore ed il Carbonifero Inferiore, che parte con una potente serie epicontinentale del Cambriano inferiore e medio costituita da arenarie e lenti di calcari, sormontate da dolomie e calcari cui sono associati calcari nodulari ed argilliti. L'Ordoviciano, affiorante in discordanza sulle formazioni del Cambriano, è costituito da breccie poligeniche e da arenarie, cui fanno seguito siltiti nella parte sommitale della sequenza. La successione prosegue con i calcari Devoniani e si chiude con una potente serie detritica del Carbonifero inferiore;
- b) una zona a falde, affiorante nelle aree centrali e centro-orientali dell'isola, caratterizzata da una pila di unità tettoniche con vergenza SW, rappresentata da litotipi equilibrati sotto condizioni di pressione e temperatura tipiche della facies degli scisti verdi;
- c) una zona assiale (interna), affiorante nelle aree centro-settentrionali, ulteriormente divisa in un complesso metapelitico, costituito da rocce metamorfiche di medio-alto grado (micasciti, paragneiss, anfiboliti a granato e rare eclogiti), e in rocce metamorfiche di alto grado (migmatiti).

Nel Permiano si è verificata la messa in posto di prodotti continentali in spessori più o meno considerevoli, costituiti da porfidi quarziferi e porfiriti. Il passaggio alle formazioni continentali del Trias è visibile esclusivamente nella regione della Nurra (Sardegna settentrionale) dove le stesse formazioni giacciono in continuità sulle formazioni Erciniche e tardo Erciniche.

2. Inquadramento geologico-strutturale dell'area del Sulcis

Il Bacino Carbonifero del Sulcis occupa un'area della Sardegna Sud-Occidentale che si sviluppa con andamento pressoché meridiano fra l'insenatura di Fontanamare a Nord ed il Golfo di Palmas a Sud; verso Est il limite del Bacino è dato dagli affioramenti Paleozoici, mentre ad Ovest è costituito dalla linea di costa (Fig. 2.1).

Nell'area del Sulcis sono presenti (seppur non affioranti) le seguenti unità litologiche principali (dal basso verso l'alto, Fig. 2.2):

- basamento paleozoico scistoso in trasgressione;
- puddinga basale di 1.5÷2 metri fortemente cementata con ciottoli di calcare mesozoico, quarzo, scisto;
- calcari a miliolidi con potenza da 4 a 25 m;
- formazione carbonifera (formata da alternanze di Calcari, Calcari marnosi e Marne, Argille, Scisti e Carbone) con potenze complessive da 15 a 140 m;
- arenarie intercalate ad argille, talora inferiormente tendenti a resti vegetali, dette "Arenarie Produttive", e superiormente senza fossili dette "Arenarie Sterili";
- alternanze di Conglomerati e Argille con potenze di 25÷30 m;
- vulcaniti del Complesso Trachitico.

Dal punto di vista strutturale, l'area del Sulcis risulta interessata da una serie di fratture a carattere regionale con direzione prevalente NO-SE, NE-SO e subordinatamente E-O (Valera, 1966; Diana G.F., 1985) ricollegabili agli eventi tettonici che hanno interessato la Sardegna meridionale a partire dal Miocene e fino al Quaternario.

Tali linee strutturali, possono rappresentare delle zone di debolezza che potrebbero dare luogo a fenomeni di infiltrazione, risalita e/o migrazione di fluidi.

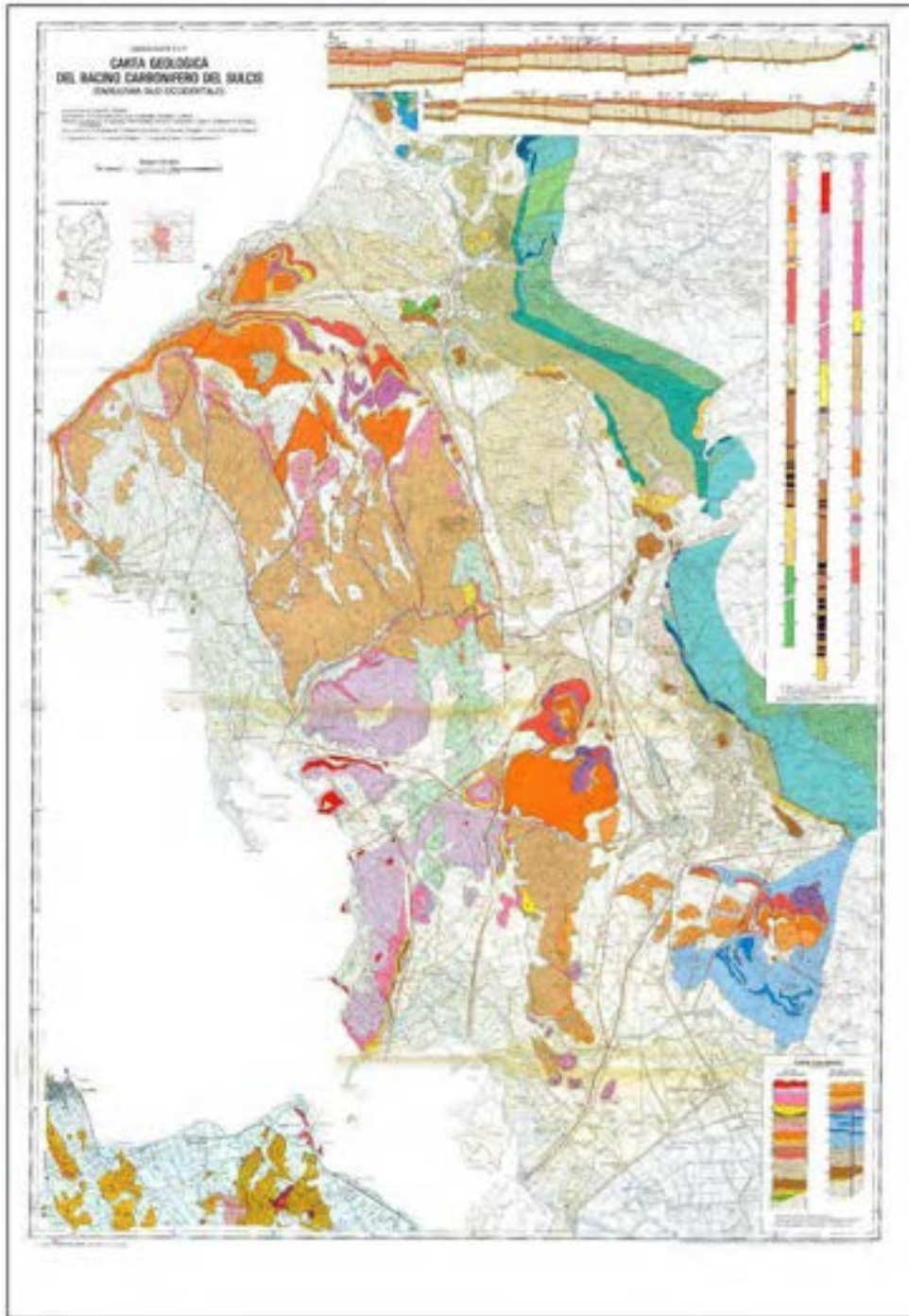


Fig. 2.1 cartografia geologica dell'area del Bacino Carbonifero del Sulcis (Assorgia et al., 1993; Carbosulcis, 1990; Tocco et al., 2008)

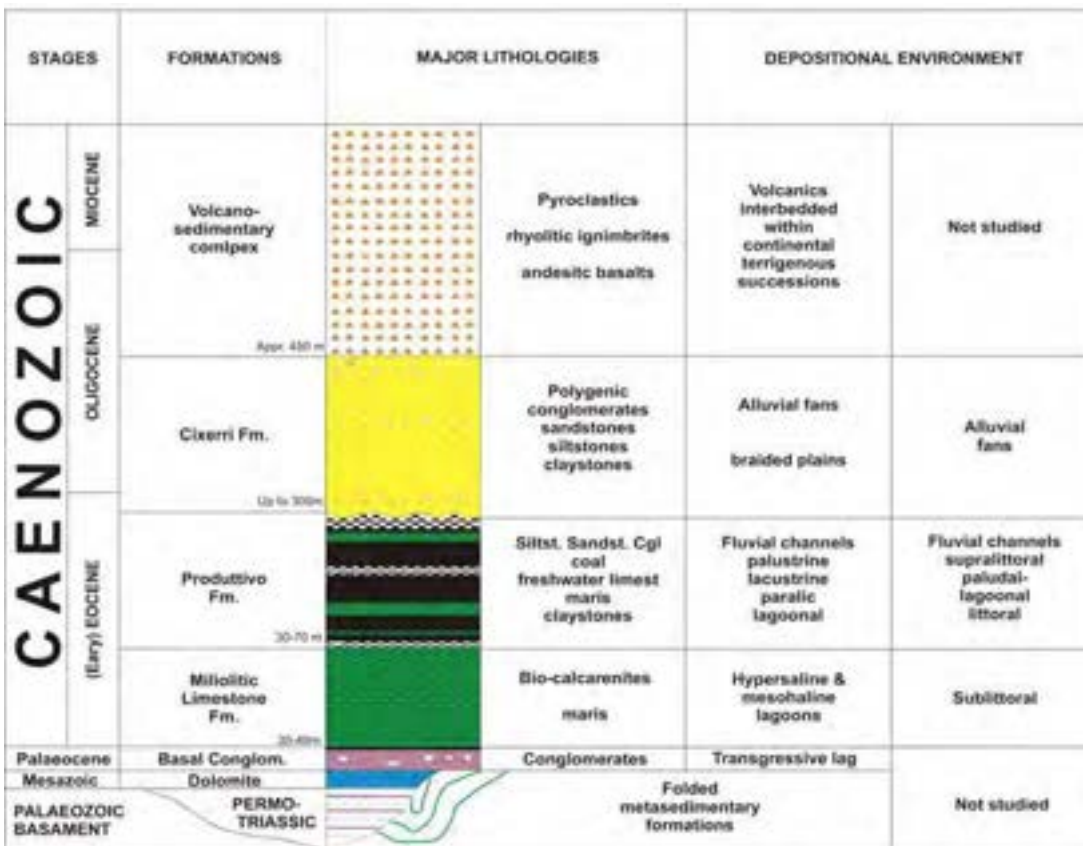


Fig. 2.2 - Stratigrafia sintetica del Bacino Carbonifero del Sulcis (da Carbosulcis, 1990)

Grazie alla presenza di importanti giacimenti minerali nella parte continentale della regione (miniere di carbone e manganese) è stato possibile ricostruire, a partire dal Paleozoico, la sequenza stratigrafica completa dell'area (da Del Vecchio, 1992; Morra et al., 1994; Lecca et al.,1997; Carosi et al., 1998; Barca e Costamagna, 1997; 2000):

- Formazioni Paleozoiche;
- Formazioni Mesozoiche;
- Formazioni Cenozoiche sedimentarie;
- Vulcanismo calcalkalino tardo Eocenico-medio Miocenico della regione del Sulcis;
- Vulcanismo alcalino Tardo Miocenico-Quaternario dell'Isola del Toro.

Le Formazioni Paleozoiche sono costituite da metamorfiti di bassissimo grado, spesso fossilifere, di età compresa fra il pre-Cambriano ed il Siluriano (Carmignani et al., 1982; 1994; Carosi et al., 1998; Ribecai et al., 2005; Fig. 1.2). Tale complesso è costituito da tre formazioni principali: la "Formazione Bithia", i micascisti del Monte Settiballas e gli gneiss del Monte Filau.

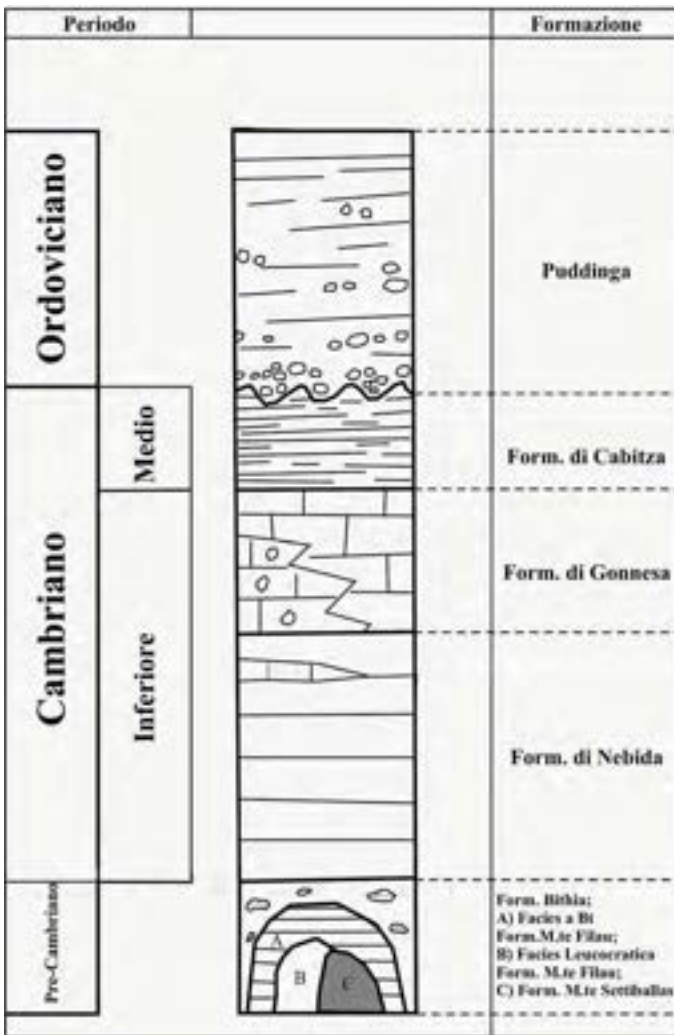


Figura 1.2 – Schema stratigrafico delle formazioni paleozoiche della regione del Sulcis (Ribecai et al., 2005).

Questi prodotti rappresentano le rocce di ambiente più profondo tra quelle affioranti nelle regioni del Sulcis e dell'Iglesiente. La “Formazione Bithia” è costituita da metasedimenti di età sconosciuta, stratigraficamente poste a letto delle sequenze metasedimentarie dell'Iglesiente (più precisamente, a letto della “Formazione di Nebida”, di età Cambriana; Carmignani et al., 1982; Carosi et al., 1998). Gli gneiss del Monte Filau derivano da un granitoide Ordoviciano intruso nei micascisti del Monte Settiballas e vengono suddivisi in due facies: una leucocratica, affiorante parzialmente nel nucleo, nelle zone bordiere e nei dicchi, ed una a biotite, affiorante nel resto del corpo granitico (Carmignani et al., 1982; Carosi et al., 1998). I Micascisti del Monte Settiballas sono rappresentate da depositi lentiformi interni agli gneiss, interpretati come facenti parte del basamento Precambriano (Carmignani et al., 1982; Carosi et al., 1998).

Le sequenze Mesozoiche della regione del Sulcis affiorano esclusivamente nelle aree di Porto Pino e sull'Isola di S. Antioco (Barca e Costamagna, 1997; Fig. 1.3). Esse sono rappresentate da due unità tettoniche principali, chiamate rispettivamente “Unità Cala Su Trigu” e “Unità Guardia Sa Perda”.

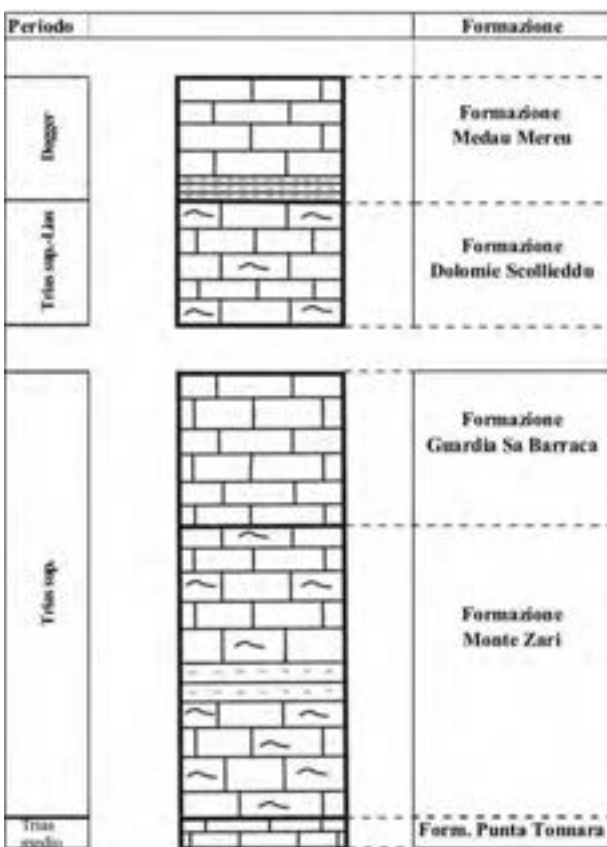


Figura 1.3 – Schema stratigrafico delle formazioni Mesozoiche della regione del Sulcis (Barca e Costamagna, 1997).

La sequenza Mesozoica dell'Unità "Cala Su Trigu" (Triassico superiore-Dogger inferiore) è costituita, dal basso verso l'alto, da due formazioni: a) Formazione delle "dolomie Scollieddu" (Barca e Costamagna, 1997), dolomie stratificate grigio-nere-rosate ricche in fossili (coralli, bivalvi, brachiopodi e gasteropodi) per uno spessore complessivo pari a circa 100 m. b) Formazione "Medau Mereu" (Dogger inferiore; Barca e Costamagna, 1997), costituita da calcari e marne ricche in fossili con spessori stimati intorno ai 100-120 m. La sequenza Mesozoica dell'Unità Guardia Sa Perda (300-350 m di spessore, età compresa tra il Trias medio ed il Trias superiore; Barca e Costamagna, 1997) consiste di tre formazioni principali: a) Formazione "Punta Tonnara", calcari laminati grigio-bluastri, localmente evaporatici, dello spessore di circa 20 m; b) Formazione "Monte Zari", dolomie nere-biancastre con livelli di marne policrome dello spessore di circa 120 m; c) Formazione di "Guardia Sa Barraca", costituita da una successione calcarea del Liassico medio-inferiore e da calcari ad ooliti e bioclasti del Liassico superiore, dallo spessore complessivo di circa 120 m.

I sedimenti Cenozoici, di età compresa tra il Paleocene e l'Oligocene, affiorano esclusivamente lungo il graben di Giba e nella Fossa del Cixerri. La base è rappresentata dai depositi dell'Unità di Monte Margiani (Barca e Costamagna, 1997; 2000, Fig. 1.4), caratterizzata da arenarie e conglomerati poligenici di età compresa tra il Paleocene sup. e l'Eocene inferiore.

Al di sopra dell'Unità di Monte Margiani poggiano, in maniera trasgressiva e discordante, le litologie appartenenti alla "Serie Lignitifera" (Barca e Costamagna, 2000), tradizionalmente suddivisa in due unità litostratigrafiche:

a) Il "Miliolitico", di età Ilerdiana, costituito da calcari localmente ricchi di micro e macrofossili (Barca e Costamagna, 2000);

b) Il “Lignitifero”, di età compresa tra il Cuisiano ed il Luteziano, costituito da alternanze ben stratificate di calcari marnosi, marne, marne arenacee, arenarie, conglomerati poligenici e strati di lignite (Barca e Costamagna, 2000).

Al di sopra della “Serie Lignitifera” poggiano in discordanza le litologie appartenenti alla “Formazione del Cixerri”, di età compresa tra il Luteziano e l’Oligocene inferiore (Barca e Costamagna, 1997). Questa formazione è costituita da conglomerati poligenici, arenarie e siltiti rossastre e rappresenta l’ultima formazione sedimentaria del Cenozoico in Sardegna.

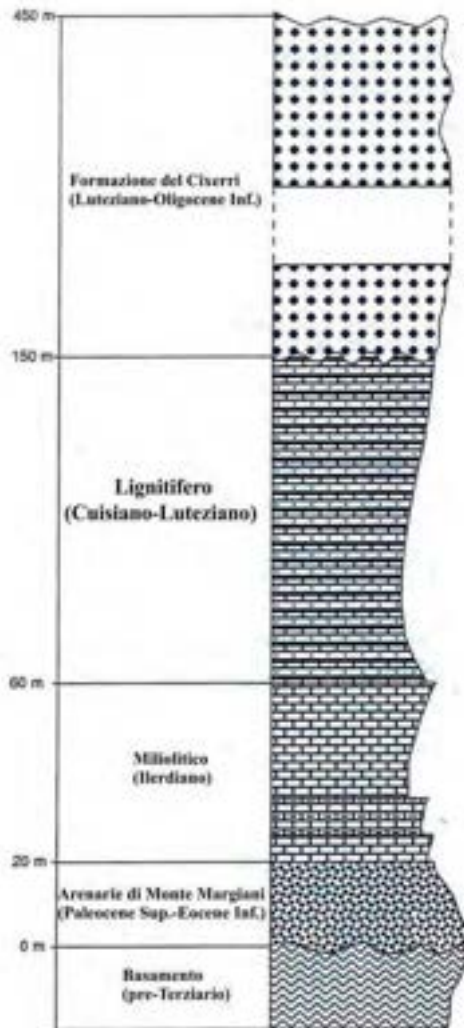


Figura 1.4 – Schema stratigrafico delle sequenze Cenozoiche sedimentarie della regione del Sulcis (Barca e Costamagna, 2000). Si rimanda al testo per la spiegazione delle formazioni geologiche.

3. Il carbone del Sulcis

I corpo minerario storicamente sfruttato nell’area del Sulci è ospitato in una sequenza sedimentaria (Paleocene sup.-Oligocene) trasgressiva su terreni mesozoici, e chiusa al tetto da una sequenza vulcanica riolitico-ignimbratica (Miocene). Mostra una potenza da 40 a 100 m ed è costituito da livelli di carbone raggruppabili in diversi intervalli, intercalati in una successione arenaceo-argilloso-marnosa e calcarea (Paleocene sup.-Eocene inf.) (Fig. 2.2).

Il deposito carbonifero mostra una generale giacitura con immersione verso S-SO (con una pendenza media del 10% e profondità crescenti verso il mare di Portovesme a partire da un minimo

di 250 m dalla superficie), affiorando in modo discontinuo nel settore N-E del bacino e approfondendosi verso SO; in prossimità della costa, nei pressi di Portovesme, è stato incontrato dai sondaggi ad oltre 700m sotto il livello del mare (Fig. 3.1).



Fig. 3.1 - Ricostruzione schematica della giacitura del giacimento carbonifero del Sulcis (Cavinato, 1964)

Il corpo minerario risulta interessato da una serie di fratture a carattere regionale con direzione prevalente NW-SE, NE-SW, e subordinatamente E-W. Per effetto di questi sistemi di fratture il giacimento risulta strutturato in blocchi a diversa quota, con generale approfondimento verso W. Il modello genetico, comunemente accettato, prevede la formazione del deposito sulcitano attraverso le seguenti fasi (Carbosulcis, 1990):

dopo una fase continentale in clima arido, caratterizzata dall'accumulo di sedimenti clastici (Permo-Trias) si ha l'ingressione del mare mesozoico con deposizione di orizzonti carbonatici. Segue una fase di continentalità; nel Paleocene sup. si ha un'ingressione marina su un paesaggio tettonizzato ed inciso dall'erosione, costituito dal basamento paleozoico pre-ercinico e da quelli carbonatici triassico-giurassici; l'invasione marina paleocenica, caratterizzata inizialmente da condizioni ottimali di salinità e ossigenazione, tende a formare golfi ed insenature protette che, con l'instaurarsi del regime regressivo a partire dall'Ilerdiano sup., finiscono per assumere condizioni euxiniche ed ipoaline, trasformandosi poi in paludi e lagune; per una rottura di equilibrio, dalle foreste costiere presenti nelle zone bordiere o nelle aree già emerse giungono su questi ambienti detriti vegetali (soprattutto foglie, rami, spore, pollini) che danno luogo a spessi depositi di sostanza organica, che si vanno ad accumulare nel bacino subsidente; con il procedere della fase erosiva legata ad una tettonica attiva, arrivano dal continente gli apporti dapprima colloidali e microdetritici (argilliti più o meno carboniose, talora siltose) ed infine francamente detritici (arenarie e microconglomerati), che tendono a colmare le lagune e le depressioni morfologiche

che si vanno formando; la subsidenza sempre attiva favorisce l'ingressione di lingue marine entro le zone sempre più depresse che si vanno popolando di microfaune a Miliolidae. Questi livelli si interdigitano più volte entro depositi continentali ricchi in sostanza vegetale; nelle aree costiere si instaurano le condizioni più diverse, dipendenti dalla maggiore o minore apertura verso il mare e dall'arrivo o meno di colloidali insieme a nuove soluzioni ioniche; dove la vicinanza al mare aperto è più prossima e l'arrivo di detriti minore o nullo, si hanno acque limpide nelle quali riprendono sviluppo le popolazioni oligotipiche. Dove invece si hanno lagune chiuse, isolate dal mare da lingue sabbiose e con apporti esclusivamente continentali di tipo misto, ionico e colloidale, si hanno sedimenti carbonatico-argillosi, ovviamente, secondo il prevalere dell'uno o dell'altra componente sono più o meno marnosi con tendenza verso l'alto al prevalere della frazione carbonatica; per una successiva rottura di equilibrio si ripetono le stesse condizioni

paleogeografiche ed il ciclo, chiusosi con calcari debolmente marnosi, riprende con sostanze vegetali accompagnate e seguite da detriti finissimi e colloidali; e con l'esaurimento di tre cicli più o meno completi del tipo descritto si chiude, nel Sulcis, il periodo caratterizzato dalla successione litorale-paralica e ne inizia uno decisamente continentale, che dà luogo alla potente Formazione del Cixerri che costituisce la copertura del corpo minerario.

4. Sismicità strumentale e storica

Il settore sud-occidentale della Sardegna è caratterizzato da una bassa sismicità strumentale. Negli ultimi 20 anni sono stati registrati pochi eventi sismici di piccola magnitudo nel graben del Campidano ed un evento di magnitudo moderata (M_L 4.1) nel golfo di Cagliari. La copertura della rete sismica nazionale, che include due sole stazioni permanenti (Cagliari- Monte Serpeddi (CGL) e Villasalto (VSL)) nel cagliaritano, rispecchia la bassa sismicità dell'area (Figura 4.1 e Tabella 4.1). Pertanto, nessuna informazione sulla sismicità di fondo è disponibile. L'installazione della rete sismica, prevista all'interno di questo contratto, è finalizzata a colmare questa lacuna informativa (Figura 4.2).

12

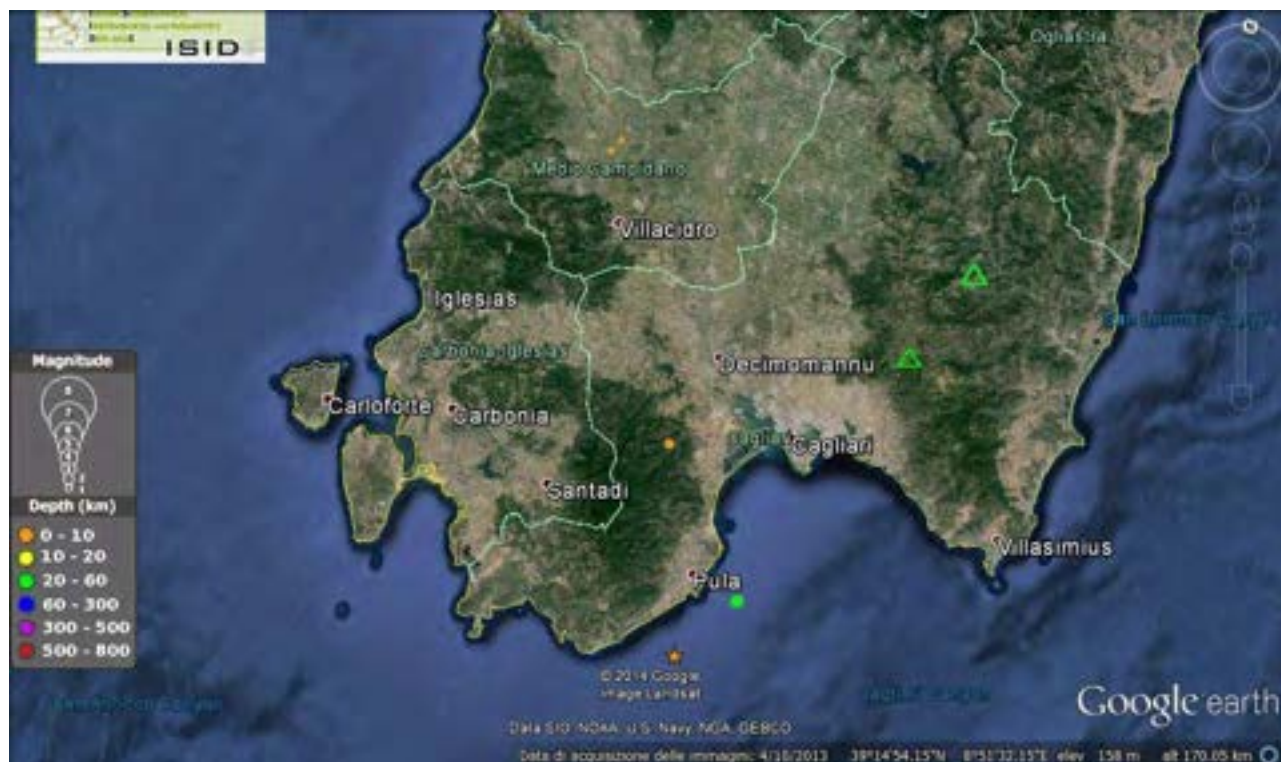


Figura 4.1 – Mappa della sismicità strumentale dal catalogo ISIDE dell'Ingv. I pallini rappresentano gli epicentri dei terremoti, la cui dimensione è proporzionale alla Magnitudo M_L ed il colore è scelto in funzione della profondità. La stellina rappresenta terremoti con $M_L > 4.0$.

Evento YYY-MM-DD HH:MM:SS	Latitudine	Longitudine	Profondità (km)	Magnitudo (M_L)
2007-10-02 08:51:53.290	39.575	8.714	10.0	1.4
2007-04-23 09:47:06.670	39.557	8.701	10.0	1.4
2006-07-13 02:06:29.440	39.181	8.912	10.0	2.7
2006-03-24 10:43:47.670	38.898	9.0	8.6	4.1
2006-03-22 22:45:20.090	38.989	9.088	23.3	3.4

Tabella 4.1- Tabella degli eventi avvenuti dall'aprile 2004 ad oggi nella parte meridionale della Sardegna.

Per quanto riguarda la sismicità storica la parte meridionale della Sardegna, l'evento più antico menzionato nel catalogo storico si è verificato nell'area di Cagliari nel 1610 (Boschi et al., 1997, figura 4.3).

Il suo epicentro potrebbe essere in relazione con le faglie estensionali che bordano il Golfo di Cagliari (e.g. Capoterra Fault). La sismicità localizzata nel settore nord-occidentale della provincia di Cagliari sembra essere invece legato al sistema di faglie del Graben del Campidano. Tali strutture sembrano essersi riattivate negli eventi del 1835 e del 1855, chiaramente avvertiti dalla popolazione nella città di Cagliari, anche se la mappa delle isolinee sismiche non fornisce una chiara indicazione riguardo la posizione effettiva delle sorgenti sismiche.

Nel settore sud-occidentale un'altra sorgente sismica viene delineata tra le isole di Sant'Antioco e San Pietro, con gli eventi del 1771 (Boschi et al. 1997), a cui va aggiunto un altro evento di bassa energia verificatosi nell'isola di Sant'Antioco nel 1923 (Ingrao, 1928). Infine a 50 km dalla costa, a sud di Cagliari, un evento di $M_l=5.2$ è avvenuto nell'agosto del 1977. L'evento è stato localizzato nei pressi del Monte Quirino, un rilievo marino calcareo (Finetti and Morelli, 1973). Gasparini et al. (1986) hanno calcolato il meccanismo focale che risulta di tipo strike-slip con direzione NW-SE.



Figura 4.2 – Mappa delle stazioni di progetto installate nell'area nord del Sulcis-Iglesiente. I triangoli in rosso rappresentano la posizione delle stazioni temporanee. I triangoli in verde rappresentano invece le stazioni della RSN (Rete Sismica Nazionale) gestita da INGV

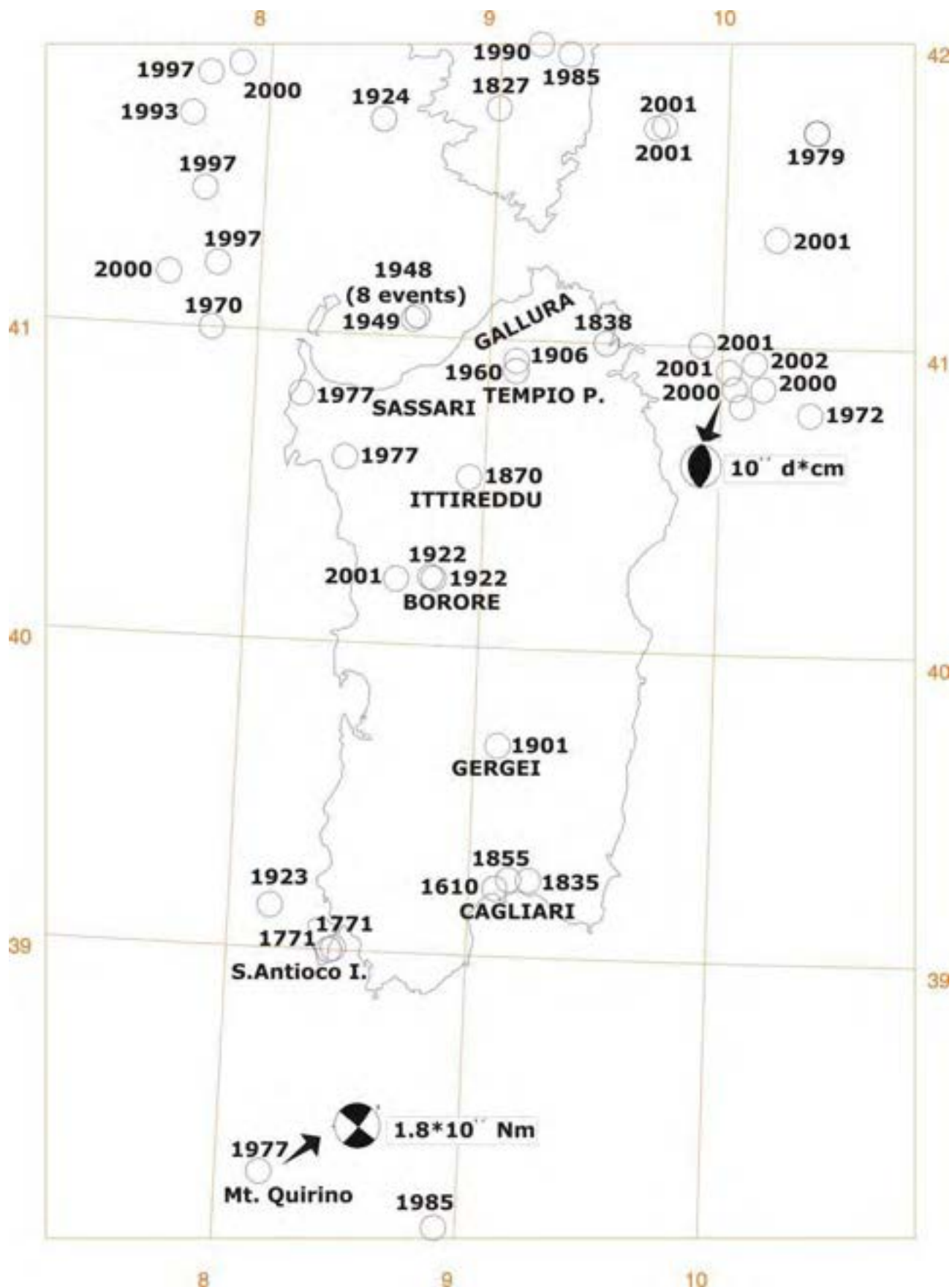


Figura 4.3 .Sismicità, meccanismi focali (insieme con i valori di tensore momento) e principali terremoti storici della Sardegna (estratti dal Catalogo Storico INGV, Boschi et al., 1997). Gli eventi avvenuti nell'area sud-occidentale sono elencati nella tabella 2.

Year	Month	Day	Time hh:mm:ss	Lat	Long	Depth Km	Int.	Mag.	Ref.
1610	06	04	nd	39.22	9.11	nd	IV-V	3.3	nd
1771	08	17	13:30	39.00	8.43	nd	IV	3.0	nd
1771	08	17	18:30	39.00	8.43	nd	V	3.5	nd
1835	03	06	nd	39.25	9.25	nd	III	2.5	nd
1855	06	11	nd	39.25	9.167	nd	nd	nd	nd
1923	11	24	18:48	39.15	8.25	nd	II	2.2	nd
1977	08	28	09:45:14.5	38.21	8.21	10	nd	5.2 ML	RMP
1985	08	12	01:23:29.2	38.16	8.98	10	nd	nd	nd

Tabella 4.2 . La tabella ha i seguenti valori: Depth, profondità calcolata; Int., intensità macrosismica in gradi MCS; Mag., magnitudo valutata o calcolata; Ref., Magnitudo bibliografica (vedere la bibliografia del catalogo INGV, Boschi et al., 1997). ML è la magnitudo locale calcolata alle stazioni indicate (e.g., RMP: Roma Monte Porzio). nd: parametro non determinato

5. Descrizione della rete di monitoraggio installata e caratteristiche dei dati

La rete sismica installata è al momento costituita da 3 stazioni sismiche temporanee (Fig.5.1), poste nella parte settentrionale dell'area di studio. Ciascuna stazione è costituita da strumentazione ad alta dinamica e sensibilità, con sensori a tre componenti (2 componenti orizzontali Nord (N) ed E (Est-Ovest) e la componente verticale Z) che definiscono il moto del suolo nelle tre dimensioni.

Il carattere temporaneo delle stazioni sismiche, rispetto a quelle permanenti, è dato dal fatto che non vengono create, per l'installazione, opere infrastrutturali permanenti quali, ad esempio, pozzetti in cemento armato per alloggiare i sensori sismici, o platee dove installare pannelli fotovoltaici e/o sistemi di trasmissione satellitare o telefonica.

Ciascuna stazione temporanea è autoalimentata da batterie tampone ricaricate attraverso un pannello fotovoltaico di circa 2 mq di superficie. La registrazione dei dati avviene in continuo* su supporti removibili posti all'interno dell'acquisitore, senza trasmissione dati ad un centro di raccolta.

Di seguito vengono descritte le stazioni sismiche installate, ciascuna con la propria sigla di riferimento. La sigla di ciascuna stazione è definita in maniera univoca secondo un protocollo europeo di condivisione e scambio dati dettato dal consorzio Orfeus-EIDA (<http://www.orfeus-eu.org/eida/eida.html>); essa è descritta da 4 caratteri alfanumerici, di cui i primi due sono comuni per la rete e gli altri due rappresentano la numerazione di ciascuna stazione all'interno della rete stessa. Nella fattispecie, a titolo di esempio, la sigla della stazione "SU01", è costituita da "SU" (sigla della rete Sulcis) e da "01" ovvero la prima stazione della rete sulcis.



Figura 5.1 – Mappa delle stazioni de progetto installate nell'area nord del Sulcis-Iglesiente. I triangoli in rosso rappresentano la posizione delle stazioni temporanee. I triangoli in verde rappresentano invece le stazioni della RSN (Rete Sismica Nazionale) gestita da INGV

* Il dato in continuo ha la caratteristica di poter essere utilizzato per diversi scopi, che possono andare dallo studio della sismicità locale, regionale, studi di carattere geodinamico utilizzando i telesismi (i terremoti che avvengono a non meno di 2000 km di distanza dalla stazione di registrazione) oppure per studiare gli effetti e le caratteristiche di risposta sismica di un sito utilizzando il rumore sismico di fondo o le onde sismiche di un terremoto.

Fino a qualche anno fa, quando ancora lo storage dei dati costituiva un problema serio di spazio visti gli elevati costi e le limitate capacità dei dischi di storage, le reti sismiche non registravano i dati in continuo ma venivano fatte funzionare in modalità “trigger”. Tale modalità prevedeva che i dati registrati da tutte le stazioni della rete venissero analizzati con delle routine automatiche allo scopo di trovare delle coincidenze, ovvero dei possibili segnali caratteristici di un terremoto, ad un minimo di stazioni. Quando queste coincidenze venivano trovate al tempo T0 scattava una procedura automatica che definiva un “possibile terremoto” ed il sistema registrava le forme d’onda, per una finestra temporale che andava da qualche decina di secondi prima del T0 fino a qualche minuto dopo, a seconda delle scelte fatte dal gestore della rete, per tutte le stazioni della rete ed archiviava quella registrazione come un possibile evento.

Oggi questo tipo di reti a trigger non viene quasi mai più utilizzato per reti sismiche moderne poiché la gestione del dato in continuo risulta più comoda e permette di registrare un dato più completo e quindi più sfruttabile.

Stazione SU01

La stazione SU01 è stata installata nel Comune di Gonnosfanadiga (VS) in località “Parco Perd’ de Pibera” un’area naturalistico-ricreativa ricavata dalla riconversione di una vecchia miniera di Manganese (Figura 5.3). La stazione è equipaggiata con un acquirente di tipo REFTEK-130_1 ed un sensore velocimetrico di tipo –Nanometrics-Trillium 120 s (sensore a banda larga, Figura 5.2).



Figura 5.2 – Acquisitore/digitalizzatore 24 bit di tipo Reftek-130_1 (in alto) e velocimetro a banda larga di tipo Nanometrics- Trillium 120 s (in basso). Le immagini dei due oggetti non sono in scala tra loro.



Figura 5.3- Immagine della stazione SU01 installata all'interno di una grotta della ex-miniera all'interno del parco Perd' de Pibera.

Stazione SU02

La stazione SU02 è stata installata nella località di Nebida, frazione di Iglesias (CI).su un altipiano di proprietà privata (Figura 5.4). La stazione è equipaggiata con un acquirettore di tipo REFTEK-130_1 ed un sensore velocimetrico di tipo Lennartz 3D-5s (Figura 5.5)



Figura 5.4 – Vista della stazione sismica SU02. La recinzione serve per proteggere la strumentazione dal bestiame. Il cumulo di sassi protegge il sensore dagli animali e dal vento.



Figura 5.5 digitalizzatore 24 bit di tipo Reftek-130_1 (a sinistra) e velocimetro di tipo Lennartz 3D-5s (a destra). Le immagini dei due oggetti non sono in scala tra loro.

Stazione SU03

La stazione SU03 è stata installata nel territorio comunale di Gonnese (CI) in località Vico G.Rossa su una collina all'interno di un terreno di proprietà privata (Figura 5.6). La stazione è equipaggiata con un acquirente di tipo REFTEK-130_1 ed un sensore velocimetrico di tipo Lennartz 3D-5s (Figura 5.5)



Figura 5.6 – Vista della stazione sismica SU03.

6. Dati statistici preliminari di performance della rete ed analisi spettrale del rumore di fondo per ciascun sito di stazione

In questa prima fase dell'installazione non è stato possibile descrivere quantitativamente le performance della rete, visto il breve periodo trascorso tra l'installazione delle tre stazioni e la redazione di questo rapporto tecnico. Tuttavia dalle tre stazioni installate sono già disponibili diverse decine di Gbyte di dati sismici registrati in continuo.

Al momento è possibile affermare, sia per esperienza diretta che per analogia con altri esperimenti dello stesso tipo effettuati sul territorio nazionale, che l'area compresa tra Gonnese, a Sud, e l'area di Gonnosfanadica, a Nord, ha una soglia di detezione della magnitudo paragonabile con la media nazionale, ovvero compresa tra 1.5 e 2.0 M_L (Magnitudo Locale).

Nei prossimi report, compatibilmente con la registrazione di una adeguata microsismicità nell'area, saremo in grado di fornire una stima della magnitudo di completezza (M_c) della rete, ovvero della magnitudo minima al di sopra della quale qualsiasi terremoto con $M \geq M_c$ viene registrato dalla rete.

Di seguito viene mostrata, per le due stazioni SU01 (Figura 6.1) e SU02 (Figura 6.2), un'analisi spettrale del segnale di tipo P.S.D. (Power Spectral Density); essa consiste nell'analizzare la potenza dell'onda per ciascuna frequenza o per ciascun intervallo di frequenza. Essa viene espressa in dB (decibel) in funzione dei diversi valori di frequenza. Da questa analisi si nota come per l'intervallo di frequenze di nostro interesse (0.5-10 Hz) il valore di PSD sia abbastanza contenuto e quindi si abbia un rumore di fondo accettabile.

Inoltre è stato analizzato il rapporto spettrale tra le due componenti orizzontali del sensore (E-W e NS) rispetto alla componente verticale (Z). Questo tipo di analisi, seguendo il principio di Nakamura (1989) sullo studio del rapporto H/V, ci permette di studiare, per ogni valore di frequenza, l'amplificazione (o risonanza) del segnale sismico generata dalle caratteristiche geologiche locali del sito.

In entrambi i siti si può vedere che le caratteristiche risultano essere abbastanza buone nel range di frequenze interessato (0.5 – 20 Hz). Tuttavia il sito di SU02 mostra delle amplificazioni un po' anomale, con valori maggiori di 4, tra le frequenze di 2-4.5 Hz.

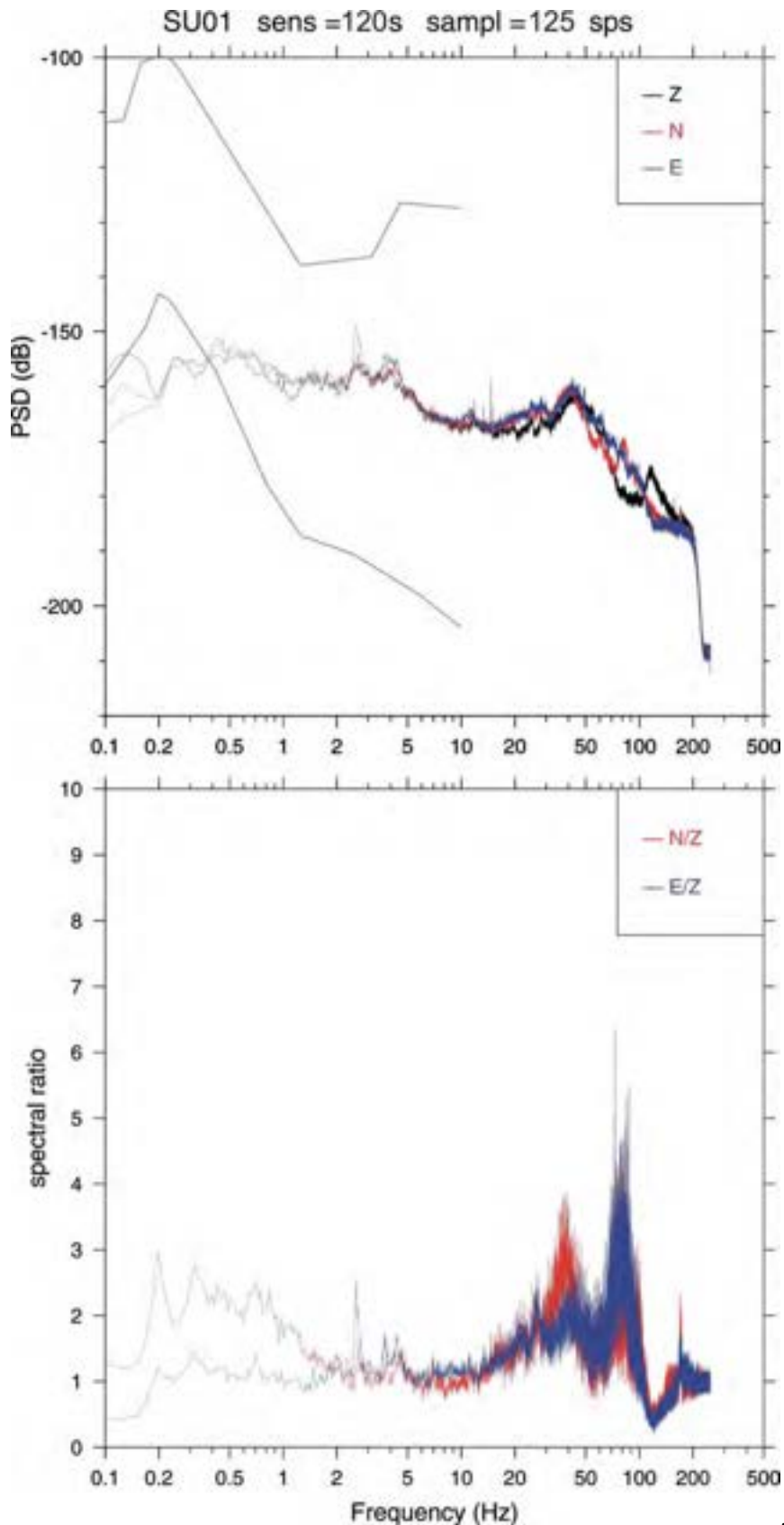


Figura 6.1- Analisi spettrale PSD (power spectral density) dei segnali di rumore di fondo registrati nel sito della stazione SU01. In alto l'analisi del livello PSD viene espresso in dB in funzione della frequenza; le due linee viola, in corrispondenza dei valori PSD di -110 e -160 dB, rappresentano gli intervalli indicati da Peterson (1993) entro i quali gli spettri reali dovrebbero mantenersi. La linea viola centrale rappresenta invece lo spettro di segnale caratteristico del sito italiano con il più basso livello di rumore di fondo, adottato come standard per il confronto. In basso i rapporti spettrali tra ciascuna delle componenti orizzontali (E ed N) e la componente verticale (Z).

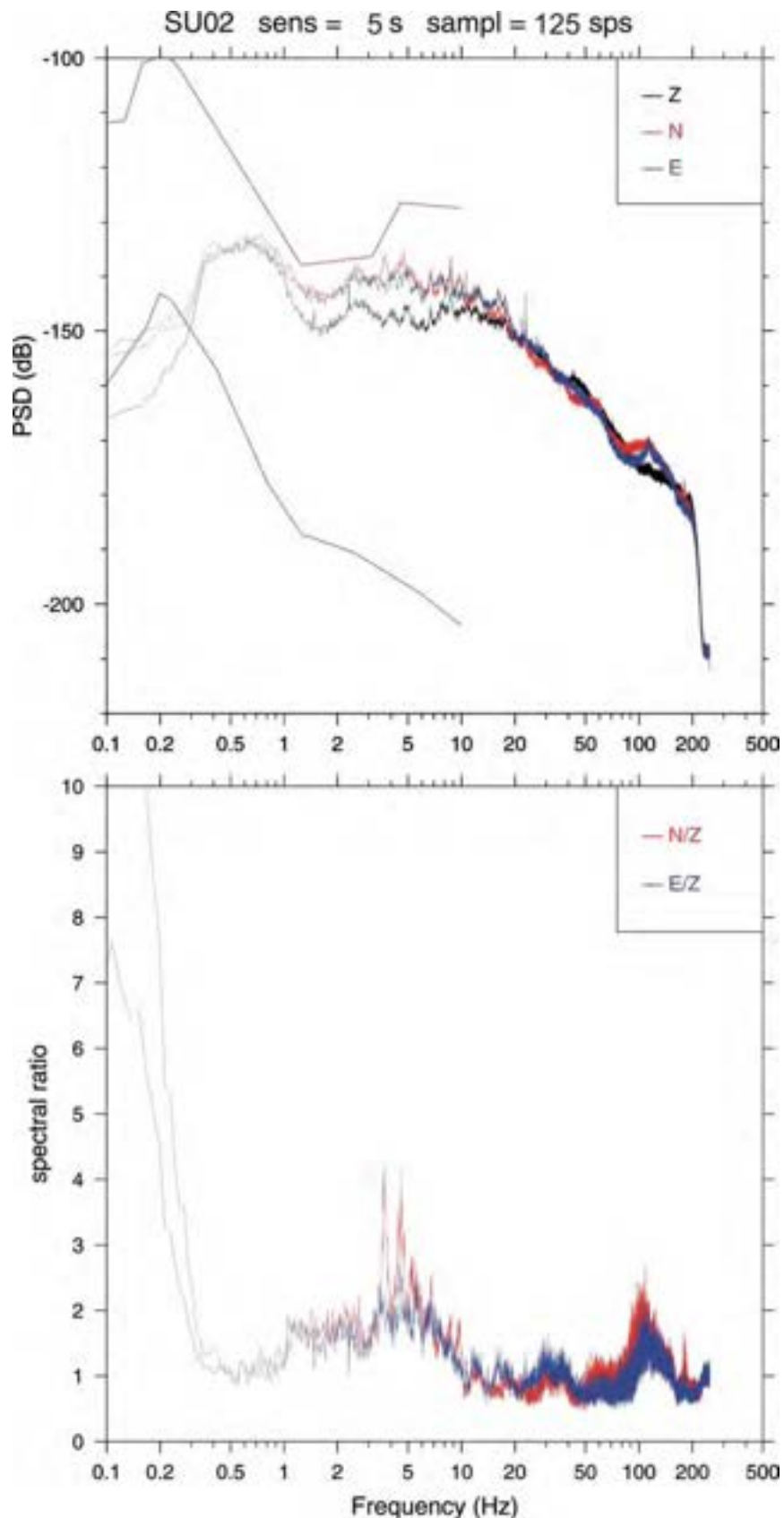


Figura 6.2- Analisi spettrale PSD (power spectral density) dei segnali di rumore di fondo registrati nel sito della stazione SU02. In alto l'analisi del livello PSD viene espresso in dB in funzione della frequenza; le due linee viola, in corrispondenza dei valori PSD di -110 e -160 dB, rappresentano gli intervalli indicati da Peterson (1993) entro i quali gli spettri reali dovrebbero mantenersi. La linea viola centrale rappresenta invece lo spettro di segnale caratteristico del sito italiano con il più basso livello di rumore di fondo, adottato come standard per il confronto. In basso i rapporti spettrali tra ciascuna delle componenti orizzontali (E ed N) e la componente verticale (Z).

Bibliografia

- Barca S., Costamagna L.G. (1997) – Compressive “Alpine” tectonics in Western Sardinia (Italy): geodynamic consequences – *Académie des sciences, Paris*, 325, 791-797
- Barca S., Costamagna L.G. (2000) – Il bacino Paleogenico del Sulcis-Iglesiente (Sardegna SW): nuovi dati stratigrafico-strutturali per un modello geodinamico nell’ambito dell’orogenesi pirenaica – *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 119, 495-515
- Boschi, E., Guidoboni, E., Ferrari, G., Valensise, G., Gasperini, P., 1997. Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990. Pubbl. ING-SGA, ING Rome, Italy.
- Carmignani L., Carosi R., Di Pisa A., Gattiglio M., Musumeci G., Oggiano G., Pertusati P. (1994) – The hercynian chain in Sardinia (Italy) – *Geodinamica Acta*, 5, 217-233
- Carmignani L., Cocozza T., Ghezzi C., Pertusati P., Ricci C.A. (1982) – I Lineamenti del Basamento Sardo in Guida alla geologia del Paleozoico Sardo – *Società Geologica Italiana (Roma)*, 11-23
- Carmignani L., Cocozza T., Minzoni N., Pertusati P. (1978) – The Hercynian Orogenic Revolution in Sardinia – *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 129, 485–493
- Carmignani L., Cocozza T., Minzoni N., Pertusati P. (1978) – The Hercynian Orogenic Revolution in Sardinia – *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 129, 485–493
- Carmignani L., Oggiano G., Funedda A., Conti P., Pasci S. & Barca S. (2012) – Carta Geologica della Sardegna. Scala 1:250.000, LAC, Firenze.
- Carosi R., Frassi C., Iacopini D., Montomoli C. (2005) – Post collisional transpressive tectonics in northern Sardinia (Italy) – *Journal of Virtual Explorer*, 19, 1-18
- Carosi R., Perillo M., Pertusati P.C. (1998) – Structural evolution of the Southern Sulcis metamorphic complex (SW Sardinia) – *Académie des sciences, Paris*, 326, 505-512
- Cherchi A., Mancin N., Montadert L., Murru M., Putzu M.T., Schiavinotto F., Verrubbi V. (2008) – The stratigraphic response to the Oligo-Miocene extension in the western Mediterranean from observations on the Sardinia graben system (Italy) – *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 179, 267-287
- Del Vecchio L. (1992) – Significato del “Vulcanismo calcoalcalino recente” (18-15 Ma) della Sardegna Sud Occidentale – Tesi di dottorato IV ciclo Università degli Studi di Napoli
- Dieni I., Massari F., Medus J. (2008) – Age, depositional environment and stratigraphic value of the Cuccuru 'e Flores Conglomerate: insight into the Palaeogene to Early Miocene geodynamic evolution of Sardinia – *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 179, 51-72
- Frassi C. (2006) – Analisi di un settore della zona assiale della catena Varisica Sarda: le zone di taglio Badesi-Li Paulis e loro implicazioni a scala regionale - *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Serie A*, 111, 1-6
- Gattacceca J. (2001) – Cinématique du Bassin Ligo-Provençal entre 30 et 12 Ma. Implications géodynamiques – Thèse de doctorat, 293 pp., École des Mines de Paris, Paris
- Jolivet L., Faccenna C. (2000) – Mediterranean extension and the Africa-Eurasia collision – *Tectonics*, 9, 1095-1106
- Lacombe O., Jolivet L. (2005) – Structural and kinematic relationships between Corsica and the Pyrenees-Provence domain at the time of the Pyrenean orogeny – *Tectonics*, 24, TC1003, doi:10.1029/2004TC001673
- Lecca L., Lonis R., Luxoro S., Melis E., Secchi F., Brotzu P. (1997) – Oligo-Miocene volcanic sequences and rifting stages in Sardinia: a review – *Periodico di Mineralogia*, 66, 7-61
- Lustrino M., Morra V., Fedele L., Franciosi L., (2009) – Beginning of the Appennine subduction system in central western Mediterranean: constraints from Cenozoic “orogenic” magmatic activity of Sardinia, Italy – *Tectonics*, 28, doi:10.1029/2008TC002419

- Maffione M., Speranza F., Faccenna C., Cascella A., Vignaroli G., Sagnotti L. (2008) – A synchronous Alpine and Corsica-Sardinia rotation – *Journal of Geophysical Research*, 113, doi: 10.1029/2007JB005214
- Mazzella A. - Studio preliminare per la valutazione della prefattibilità di un progetto di CO2-ECBM all'interno del Bacino Carbonifero del Sulcis (Sardegna, SW). Tesi di dottorato (2012)
- Morra V., Secchi F.A., Assorgia A. (1994) – Petrogenetic significance of peralkaline rocks from Cenozoic calc-alkaline volcanism from SW Sardinia, Italy – *Chemical Geology*, 118, 109-142
- Peterson, J. (1993). Observation and modeling of seismic background noise, U.S. Geol. Surv. Tech. Rept.,93-322, 1-95, 1993.
- Ribecai C., Bagnoli G., Mazzarini F., Musumeci G. (2005) – Paleontological evidence for Late Cambrian in the Arburese area, SW Sardinia – In: Steemans P., Javaux E. (eds.), Pre-Cambrian to Paleozoic Palaeopalynology and Palaeobotany. Carnets de Géologie/Notebooks on Geology, Brest, Memoir 2005/02, Abstract 08
- Ronga F. - Petrogenesi delle vulcaniti del Sulcis (Sardegna Sud-occidentale), 2012 <http://archivia.unict.it/handle/10761/985?mode=full>
- Rosenbaum G., Lister G.S., Duboz G. (2002) – Reconstruction of the tectonic evolution of the western Mediterranean since the Oligocene – *Journal of Virtual Explorer*, 8, 107-126
- Tait J.A., Bachtadse V., Franke W., Soffel H.C. (1997) – Geodynamic evolution of the European Variscan Fold belt: paleomagnetic and geological constraints – *Geologische Rundschau*, 86, 585-598
- Zanettin M., Massari F., Dieni I. (2008) – Thermochronological evidence for Mesozoic–Tertiary tectonic evolution in the eastern Sardinia – *Terra Nova*, 20, 469-474