



Ricerca di Sistema elettrico

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background

Plaisant A., Anardu. V, Multineddu D. (Sotacarbo)  
Anselmi M., Buttinelli M., Chiarabba C., Colasanti G. (INGV)

CARATTERIZZAZIONE DI UNA ZONA DI FAGLIA NELL'AREA DEL BACINO DEL SULCIS: SISMICITÀ DI BACKGROUND

Plaisant A, Anardu V., Multineddu D. (Sotacarbo)  
Anselmi M., Buttinelli M., Chiarabba C., Colasanti G. (INGV)  
Settembre 2016

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA  
Piano Annuale di Realizzazione 2015  
Area: B "Generazione di energia elettrica con basse emissioni di carbonio"  
Progetto: B.2 "Cattura e sequestro della CO<sub>2</sub> prodotta dall'uso di combustibili fossili"  
Obiettivo: "Produzione di energia elettrica da combustibili fossili, cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>"  
Responsabile del Progetto: F.R. Picchia ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "Produzione di energia elettrica da combustibili fossili, cattura e sequestro della CO<sub>2</sub>"  
Responsabile scientifico ENEA: Paolo Deiana  
Responsabile scientifico Sotacarbo: Enrico Maggio

## Indice

SOMMARIO.....	4
1 INTRODUZIONE AL PROGETTO.....	5
2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI.....	6
3 ALLEGATO .....	8

## Sommario

Il presente lavoro si inserisce nell'ambito dell'Accordo di Programma MSE-ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico, Piano Annuale di Realizzazione 2015, relativamente al tema di ricerca B.2 "Cattura e sequestro della CO<sub>2</sub> prodotta dall'uso di combustibili fossili" e riguarda le attività c.4 "Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis". Il progetto, ha lo scopo di caratterizzare la parte meridionale del bacino carbonifero del Sulcis, nell'area compresa tra i comuni di Carbonia, San Giovanni Suergiu, Portoscuso e la linea di costa.

A tale scopo, nell'ambito del contratto tra l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, è stato eseguito lo studio della sismicità di fondo (o di background) dell'area carbonifera del Sulcis con particolare riguardo all'area meridionale del permesso di ricerca.

Lo studio svolto viene a completamento di un precedente lavoro, eseguito sempre da INGV nella Sardegna sud-occidentale (Anselmi et al. 2015) nel periodo 2014-2015 con lo scopo di conoscere determinarne la baseline sismica del Sulcis.

## 1 Introduzione al progetto

L'area del Sulcis ospita quello che viene considerato il bacino carbonifero più grande esistente sul territorio italiano. In tale ottica, il bacino del Sulcis è stato scelto come test-site per un progetto pilota di stoccaggio geologico di anidride carbonica, il cui l'obiettivo principale è quello di immagazzinare ridotte quantità di CO<sub>2</sub>, all'interno dell'acquifero che interessa il complesso carbonatico.

Allo stato attuale si sta procedendo alla caratterizzazione geologica, strutturale e geofisica dell'area, per definire le caratteristiche del Bacino. Nel caso si riscontrassero condizioni favorevoli, si procederà successivamente a test di iniezione.

Il progetto viene diretto e coordinato dalla società SOTACARBO S.p.A. (Società di Tecnologia Avanzate Low CARBOn). La SOTACARBO S.p.A. si occupa dello sviluppo e del miglioramento di tecnologie dedicate alla cattura dell'anidride carbonica prodotta dalla gassificazione (allo scopo di produrre energia elettrica) di carbone e biomasse e al successivo stoccaggio geologico controllato.

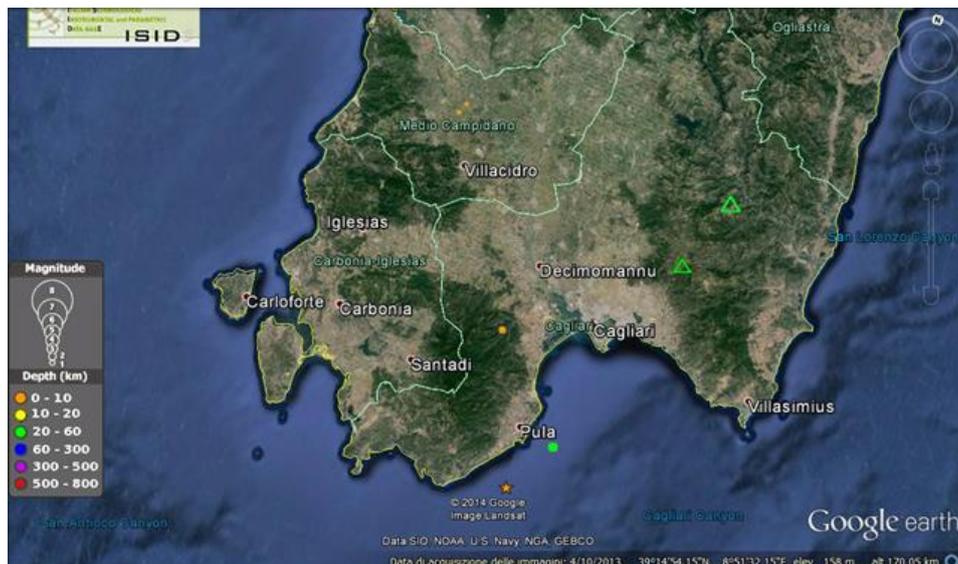
Nell'ambito del contratto con l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia è stato svolto lo studio della sismicità di fondo, con un maggior dettaglio rispetto alle annualità 2014-2015, all'interno dell'area carbonifera del Sulcis.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

L'attività svolta nell'ambito del progetto, nasce a valle di un precedente studio, eseguito sempre da INGV nella Sardegna sud-occidentale (Anselmi et al. 2015) nel periodo 2014-2015 con lo scopo di conoscere l'attività sismica dell'area e di determinarne la baseline sismica.

In questa annualità si è proceduto all'infittimento della rete sismica nella parte meridionale del permesso di ricerca, al fine di determinare la baseline sismica naturale di maggior dettaglio (rispetto a quella dello studio 2014-2015). Per la registrazione dei dati è stato eseguito un esperimento di sismica passiva orientato a registrare la sismicità eventualmente presente all'interno dell'area di studio e nelle sue immediate vicinanze. Tale baseline costituirà il riferimento per il successivo monitoraggio sismico di dettaglio dell'area, in regime 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.

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 (ML 4.1) nel golfo di Cagliari (Fig.1).

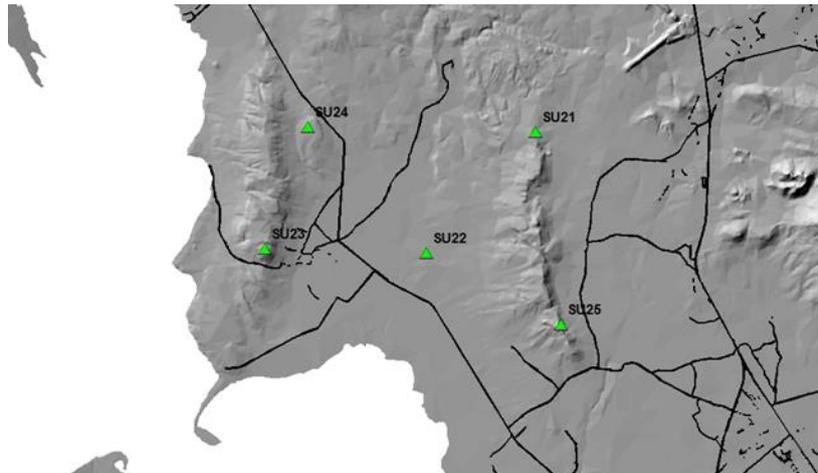


**Figura 1. Mappa della sismicità strumentale dal catalogo ISIDE dell'INGV. I pallini rappresentano gli epicentri dei terremoti, la cui dimensione è proporzionale alla Magnitudo ML ed il colore è scelto in funzione della profondità. La stellina rappresenta terremoti con ML >4.0**

Le uniche informazioni presenti sulla sismicità dell'area del Sulcis derivano dai risultati, di natura preliminare e non ancora pubblicati, relativi al precedente studio effettuato nell'area sud occidentale della Sardegna (Anselmi et al. 2015). In tale studio sono stati registrati e localizzati, con diversi gradi di qualità, 82 terremoti. Essi mostrano una distribuzione sparsa nell'area di studio con valori di magnitudo massima di ML 1.29.

L'attività ha previsto l'installazione di una rete sismica temporanea, costituita da 5 stazioni sismiche che circondano l'area di studio nella parte centro-settentrionale (Fig.2). Ciascuna stazione è costituita da strumentazione ad alta dinamica e sensibilità, con sensori a tre componenti 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 per alloggiare i sensori sismici, o platee dove installare pannelli fotovoltaici e/o sistemi di trasmissione satellitare o telefonica.



**Figura 2. Mappa delle stazioni de progetto installate nell’area del permesso minerario denominato “Monte Ulmus”. I triangoli in verde rappresentano la posizione delle stazioni temporanee.**

In questo periodo di acquisizione e registrazione in continuo le stazioni della rete sismica temporanea hanno avuto la possibilità di registrare distintamente le scosse più forti della sequenza di Amatrice (RI) nell’Italia centrale (ML 6.0), e di Norcia (PG) (ML 5.3), entrambi del 24 Agosto 2016.

Le analisi del rumore sismico a ogni singola stazione della rete temporanea mostrano, nonostante le sorgenti di rumore già conosciute (moto ondoso del mare, traffico navale, attività dei campi eolici e attività antropica), livelli di rumore accettabili per l’obiettivo di studio, sia per quanto riguarda l’intensità del rumore di fondo degli spettri alle varie frequenze sia per quanto riguarda i possibili effetti di amplificazione del segnale sismico H/V nell’intervallo di frequenze interessato.

### 3 Allegato

**Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background**



## **Rapporto tecnico delle attività di ricerca dal titolo**

**“Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background”**

**Committente: Sotacarbo S.p.A**

A cura di:

**Anselmi M., Buttinelli M. Chiarabba C.**

con la partecipazione di:

**Colasanti G.**

# **Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background**

## **Indice**

<b>Introduzione</b>	<b>Pag. 3</b>
<b>1. Inquadramento geologico-strutturale dell'area del Sulcis</b>	<b>4</b>
<b>2. Sismicità strumentale e storica</b>	<b>10</b>
<b>3. Descrizione della rete di monitoraggio installata</b>	<b>15</b>
<b>4. Dati statistici preliminari di performance della rete ed analisi spettrale del rumore di fondo per ciascun sito di stazione</b>	<b>22</b>
<b>5. Analisi dei dati</b>	<b>27</b>
<b>Conclusioni</b>	<b>29</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>30</b>

# **Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background**

## **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 con particolare riguardo all'area del permesso di ricerca denominato "Monte Ulmus" sito nel comune di San Giovanni Suergiu (CI).

Lo studio che descriveremo nel seguito nasce a valle di un precedente studio, eseguito sempre da INGV nella Sardegna sud-occidentale (Anselmi et al., 2015) nel periodo 2014-2015 con lo scopo di conoscere l'attività sismica dell'area e di determinarne la baseline sismica.

Esso verrà eseguito attraverso un esperimento di sismica passiva orientato a registrare la sismicità eventualmente presente all'interno dell'area di studio e nelle sue immediate vicinanze. La motivazione principale dello studio è quella di determinare una baseline sismica naturale di maggior dettaglio (rispetto a quella dello studio 2014-2015) all'interno del permesso di ricerca denominato "Monte Ulmus" situato all'interno del bacino del Sulcis.

Tale *baseline* costituirà il riferimento per il successivo monitoraggio sismico di dettaglio dell'area in regime 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. Inoltre 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.

## **Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background**

### **1. *Inquadramento geologico-strutturale***

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 (Figura 1.1).

Nell'area in esame sono presenti (seppur non affioranti) le seguenti unità litologiche principali (dal basso verso l'alto, Figura 1.2):

- Basamento cristallino Paleozoico;
- Formazione del Miliolitico;
- Complesso del Produttivo;
- Formazione del Cixerri;
- Complesso Vulcanico Calcalcalino Oligo – Miocenico;
- Copertura sedimentaria Quaternaria.

Dal punto di vista strutturale, l'area 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.

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background

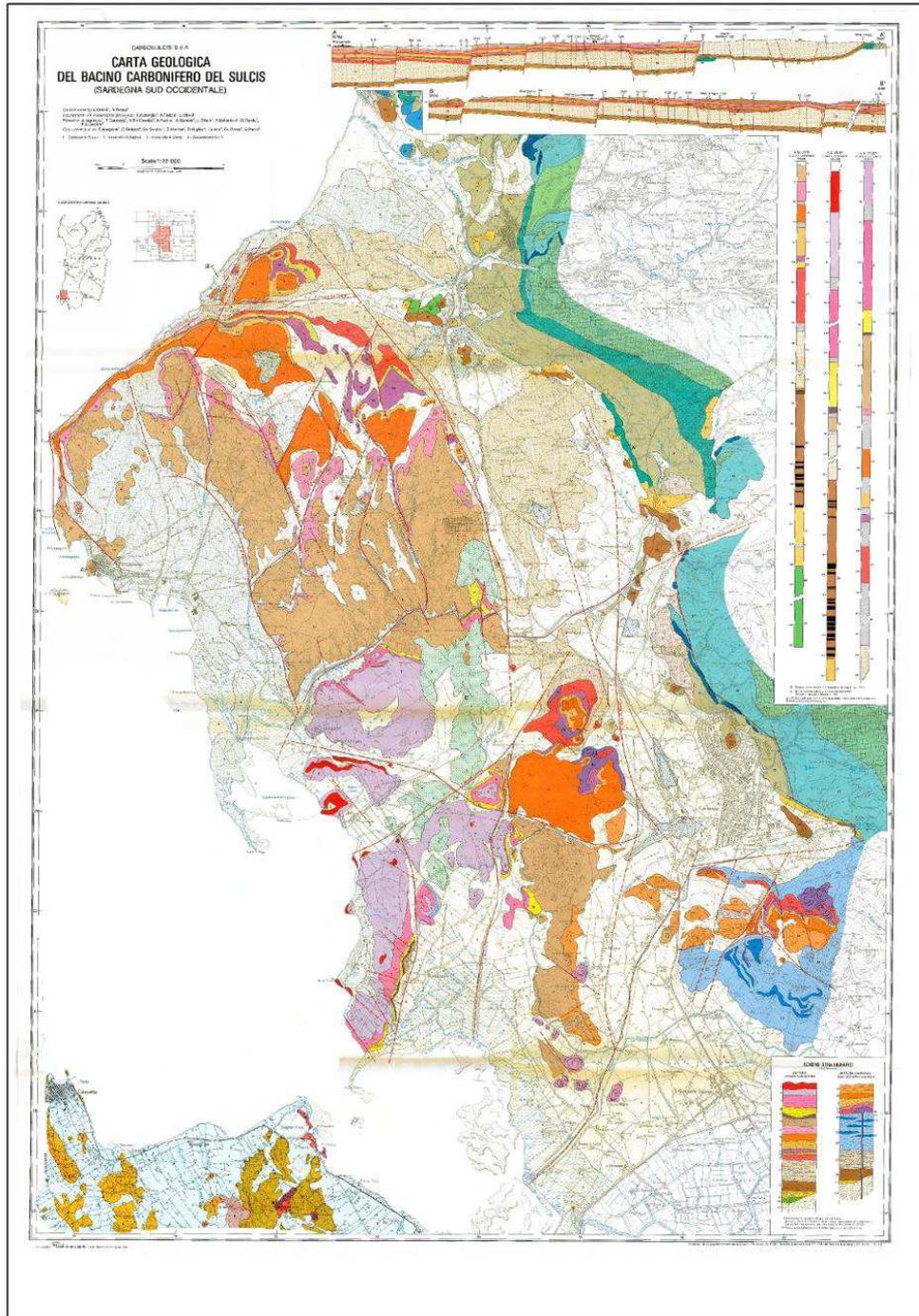


Figura 1.1 - Cartografia geologica dell'area del Bacino Carbonifero del Sulcis (Assorgia et al. 1993; Carbosulcis, 1990; Tocco et al., 2008)

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background

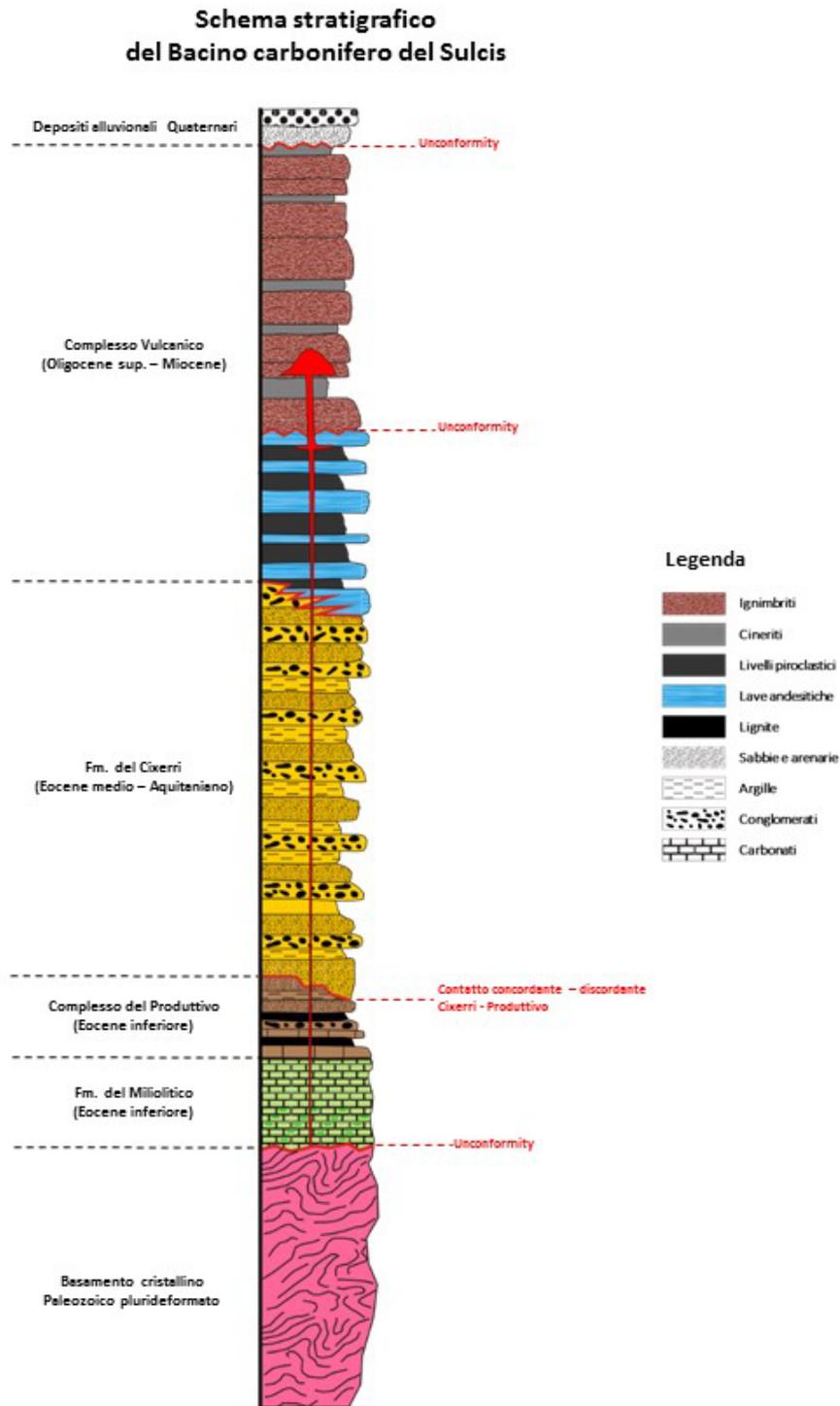


Figura 1.2 - Stratigrafia sintetica del Bacino Carbonifero del Sulcis

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

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background

- *Formazioni Paleozoiche;*
- *Formazioni Mesozoiche;*
- *Formazioni Cenozoiche sedimentarie;*
- *Vulcanismo calcalkalino tardo Eocenico-medio Miocenico della regione del Sulcis;*
- *Vulcanismo alcalino Tardo Miocenico-Quaternario;*
- *Depositi sedimentari Quaternari.*

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; Figura 1.3). Tale complesso è costituito da tre formazioni principali: la “Formazione Bithia”, i micascisti del Monte Settiballas e gli gneiss del Monte Filau.

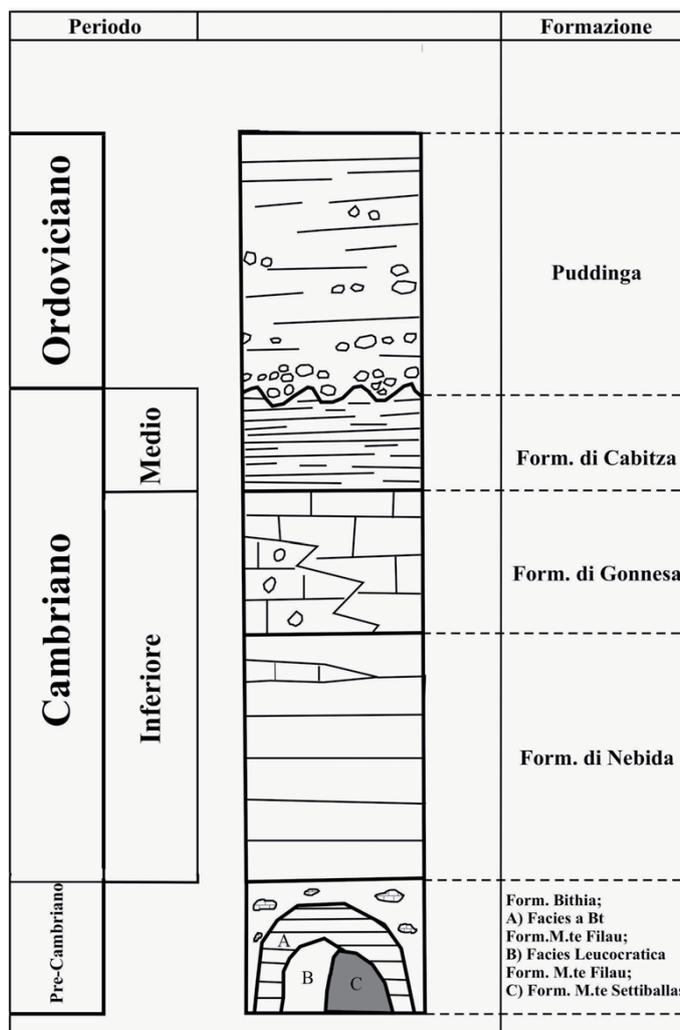


Figura 1.3 – Schema stratigrafico delle formazioni paleozoiche della regione del Sulcis (Ribecai et al., 2005).

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background

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 granitoide (Carmignani et al. 1982; Carosi et al., 1998). I Micascisti del Monte Settiballas sono rappresentati 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; Figura 1.4). Esse sono rappresentate da due unità tettoniche principali, chiamate rispettivamente “Unità Cala Su Trigu” e “Unità Guardia Sa Perda”.

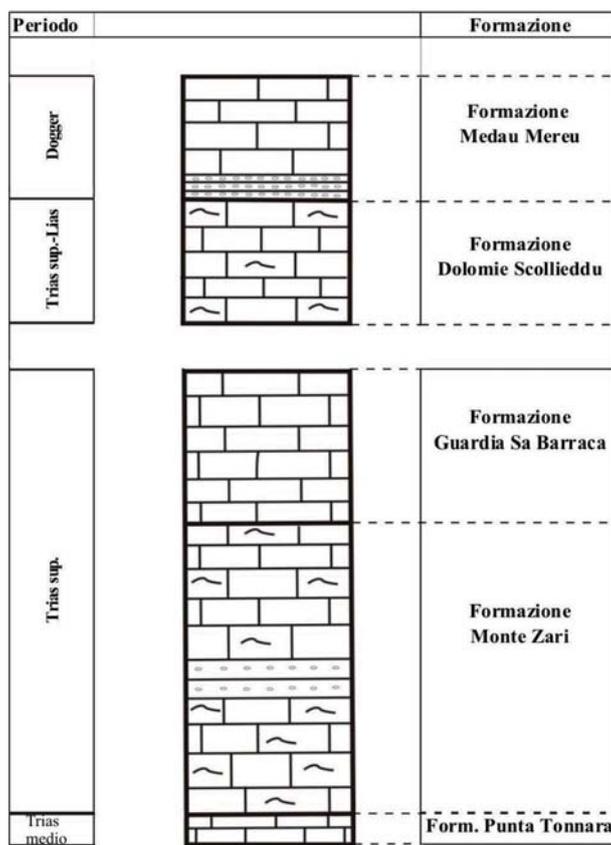


Figura 1.4 – Schema stratigrafico delle formazioni Mesozoiche della regione del Sulcis (Barca e Costamagna, 1997).

## **Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background**

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 e 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 a 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, Figura 1.5), 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 "Lignifero", 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.

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background

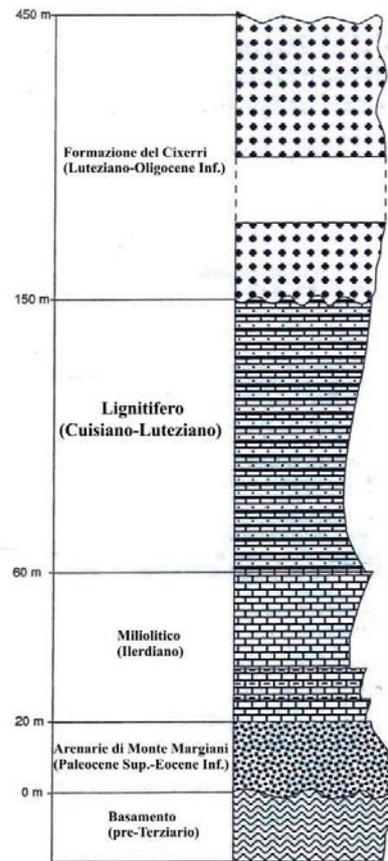


Figura 1.5 – Schema stratigrafico delle sequenze Cenozoiche sedimentarie della regione del Sulcis (Barca e Costamagna, 2000). Si rimanda al testo per la spiegazione delle formazioni geologiche.

### 2. 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 2.1 e Tabella 2.1).

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background

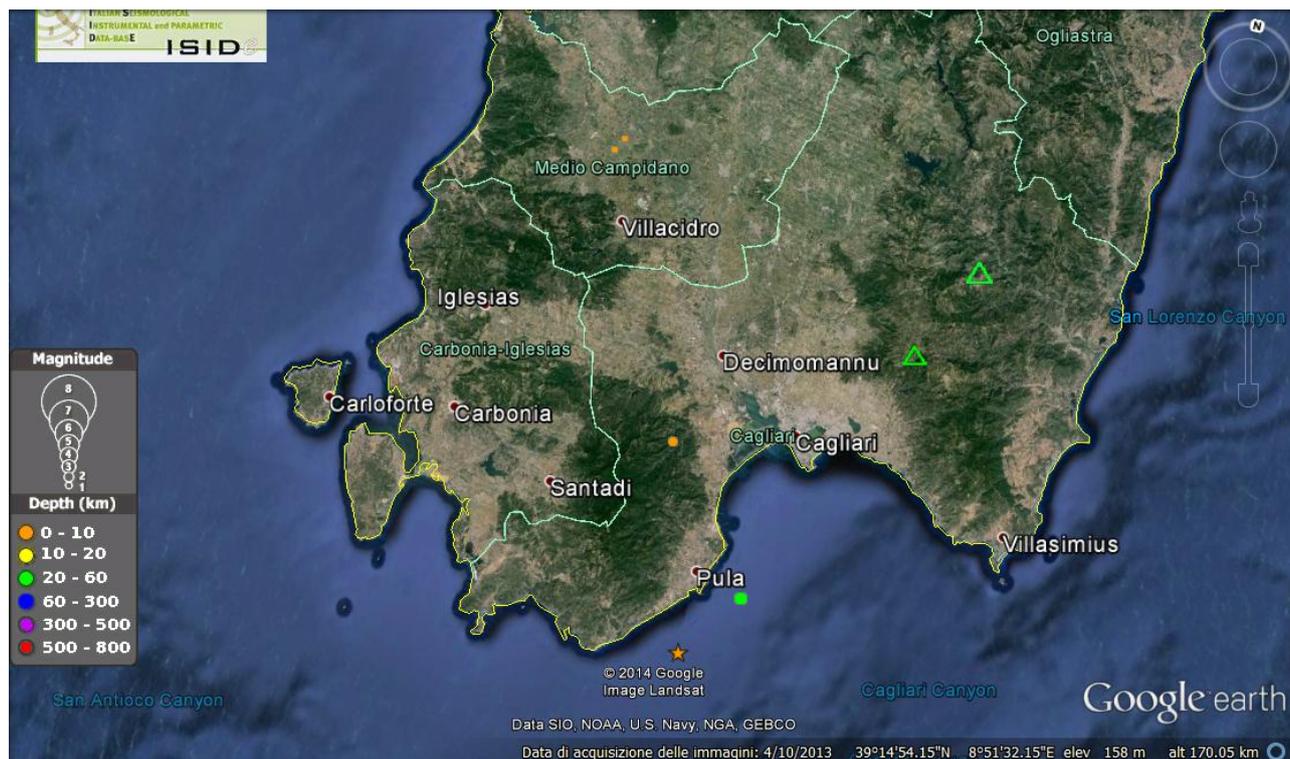


Figura 2.1 – Mappa della sismicità strumentale dal catalogo ISIDE dell’Ingv. I pallini rappresentano gli epicentri dei terremoti, la cui dimensione è proporzionale alla Magnitudo  $M_L$  ed il colore è scelto in funzione della profondità. La stellina rappresenta terremoti con  $M_L > 4.0$

Event	Latitude	Longitude	Depth (km)	Magnitude ( $M_L$ )
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 2.1- Tabella degli eventi avvenuti dall’aprile 2004 ad oggi nella parte meridionale della Sardegna.

Le uniche informazioni presenti sulla sismicità dell’area del Sulcis derivano dai risultati, di natura preliminare e non ancora pubblicati, relativi al precedente studio effettuato nell’area sud occidentale della Sardegna (Anselmi et al., 2015). In tale studio sono stati registrati e localizzati, con diversi gradi di qualità, 82 terremoti (Figura 2.2). Essi mostrano una distribuzione sparsa nell’area di studio e hanno una profondità variabile tra 2,5 e 18 km, con valori di magnitudo massima di  $M_L$  1.29.

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background

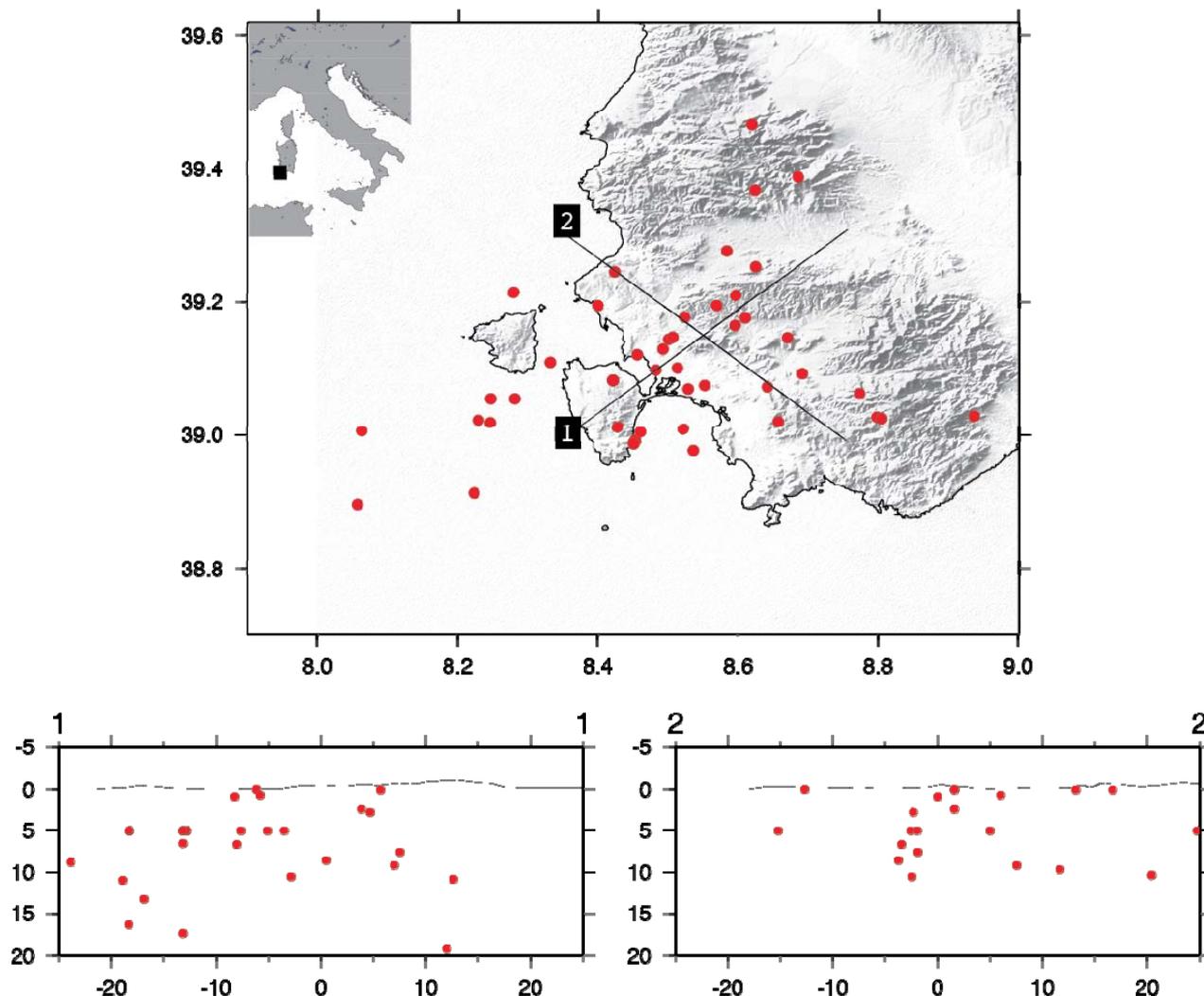


Figura 2.2. Sismicità registrata nel corso del primo esperimento di sismica passiva nella Sardegna sud occidentale. In alto la mappa con la localizzazione degli eventi (cerchi rossi) e le tracce delle sezioni verticali di sismicità che vengono mostrate in basso.

Nella Figura 2.3 viene riportato un ingrandimento della sismicità registrata nel precedente esperimento, per meglio inquadrarla all'interno della rete sismica attuale utilizzata per l'esperimento descritto in questo report tecnico. Come si può vedere l'area è stata interessata da due eventi appena a ridosso della rete, uno a sud (22 gennaio 2015) e l'altro a est (05 marzo 2015) della rete sismica attuale. Entrambi gli eventi hanno avuto una localizzazione abbastanza incerta a causa del basso numero di stazioni sismiche che li avevano registrati, per cui è possibile che essi possano essere ricaduti all'interno dell'area studiata attualmente. La loro magnitudo, sicuramente inferiore a  $0.42 M_L$  (magnitudo minima calcolata per gli eventi del precedente esperimento), non è comunque calcolabile a causa della loro instabilità dal punto di vista della localizzazione.

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background

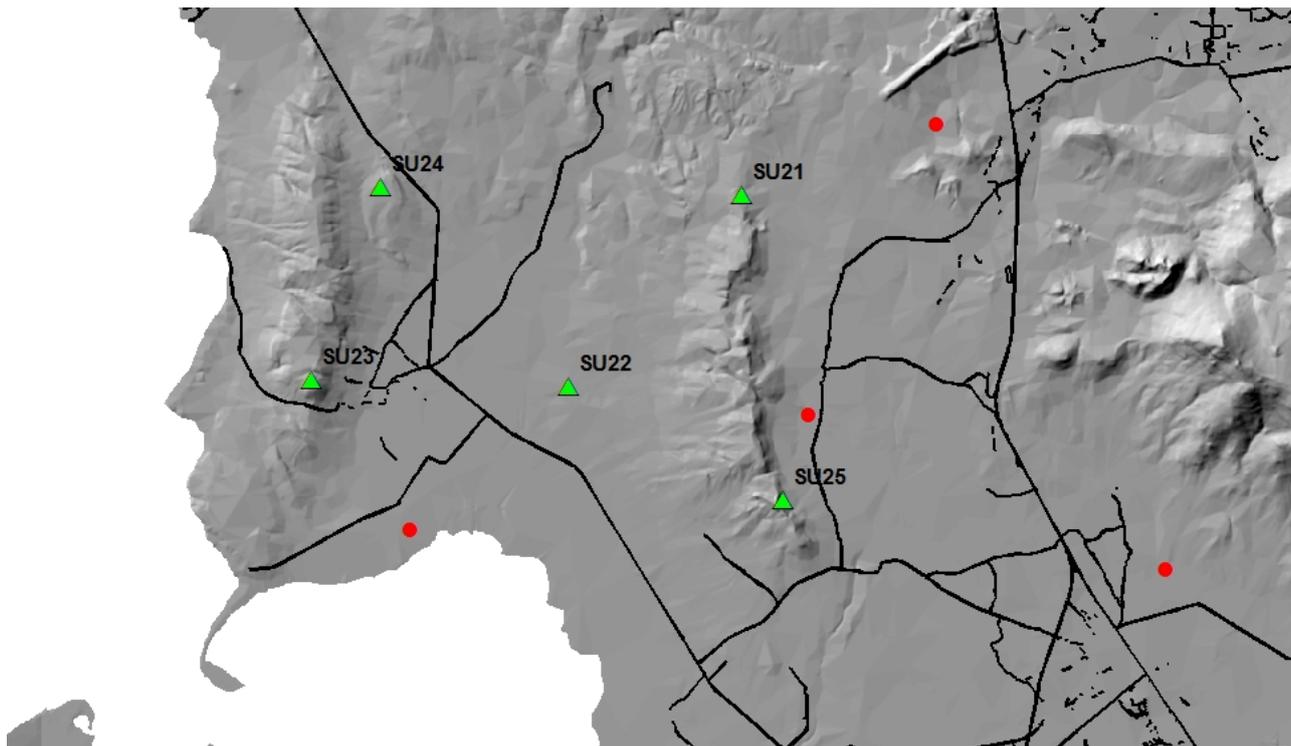


Figura 2.3 Mappa della rete sismica del progetto. Le stazioni sismiche sono rappresentate dai triangoli verdi, mentre i cerchi rossi rappresentano la sismicità registrata dal precedente progetto di baseline sismica.

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 2.4).

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 calcalalino (Finetti and Morelli, 1973). Gasparini et al. (1986) hanno calcolato il meccanismo focale che risulta di tipo strike-slip con direzione NW-SE.



## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background

<i>Year</i>	<i>Month</i>	<i>Day</i>	<i>Time hh:mm:ss</i>	<i>Lat</i>	<i>Long</i>	<i>Depth Km</i>	<i>Int.</i>	<i>Mag.</i>	<i>Ref.</i>
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 2.2 . 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.

### 3. Descrizione delle fasi della rete di monitoraggio installata

La rete sismica temporanea installata è costituita da 5 stazioni sismiche temporanee (Figura 3.1) che circondano l'area di studio nella parte centro-settentrionale. Ciascuna stazione è costituita da strumentazione ad alta dinamica e sensibilità, con sensori a tre componenti (N (Nord), E (Est-Ovest) e Z (Verticale) 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 (compact flash) 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 "SU21", è costituita da "SU"(sigla della rete Sulcis) e da "21" ovvero la prima stazione della rete del progetto "Monte Ulmus".

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background

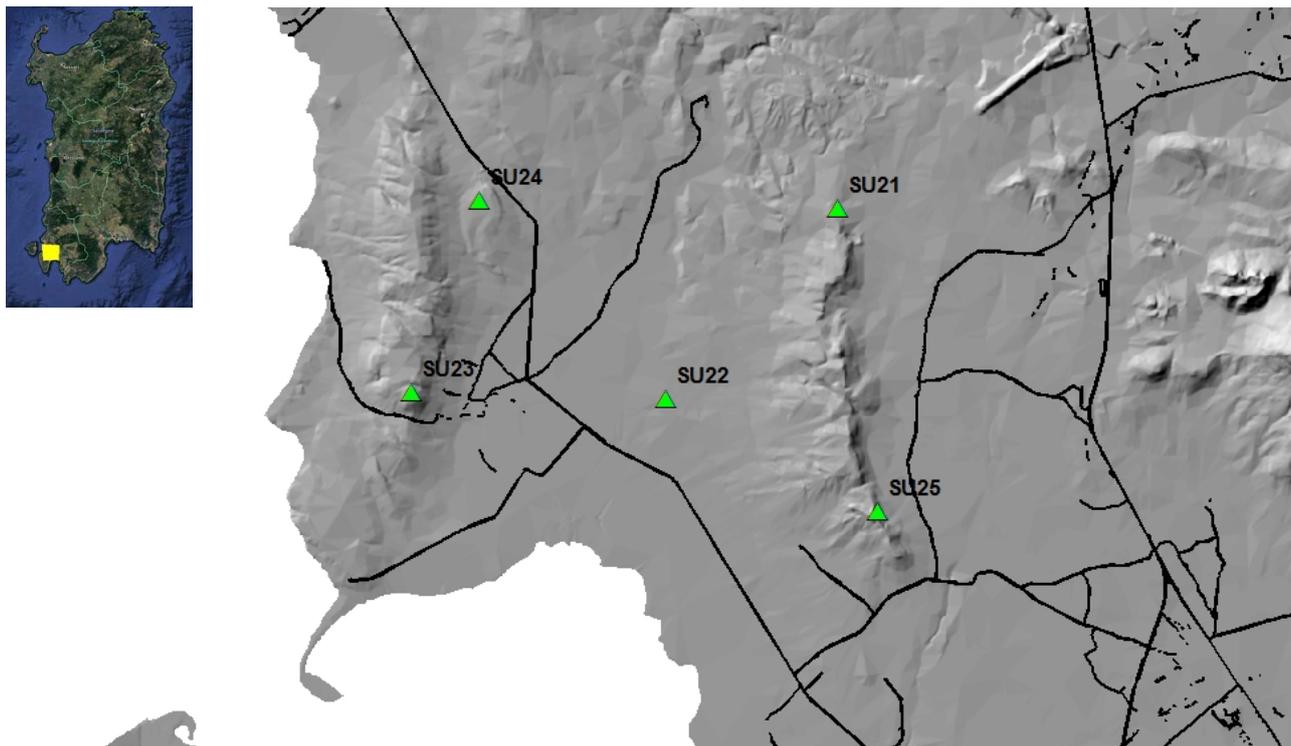


Figura 3.1 – Mappa delle stazioni de progetto installate nell'area del permesso minerario denominato “Monte Ulmus”. I triangoli in verde rappresentano la posizione delle stazioni temporanee.

\* 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  $T_0$  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  $T_0$  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 SU21**

La stazione SU21 è stata installata nel Comune di San Giovanni Suergiu (VS) in località “Is Urigus” nei pressi di una ex area di cava (Figura 3.2). La stazione è equipaggiata con un acquisitore di tipo REFTEK-130\_1 ed un sensore velocimetrico di tipo Sara SSXX 0.2 Hz (Figura 3.3).

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background



Figura 3.2- Immagine della stazione SU21 installata nei pressi di una ex-miniera nella località Is Urigus.



Figura 3.3 – Acquisitore/digitalizzatore 24 bit di tipo Reftek-130\_1 (a sinistra) e velocimetro a medio periodo di tipo Sara SSXX 0.2 Hz (a destra). Le immagini dei due oggetti non sono in scala tra loro.

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background

### *Stazione SU22*

La stazione SU22 è stata installata sempre nel comune di San Giovanni Suergiu, località Rio Maquerba, in un campo adibito a pascolo di proprietà privata (Figura 3.4). La stazione è equipaggiata con un acquirente di tipo REFTEK-130\_1 ed un sensore velocimetrico di tipo Sara SSXX 0.2 Hz ( Figura 3.3).



Figura 3.4 – Vista della stazione sismica SU22. La recinzione serve per proteggere la strumentazione dal bestiame. Il cumulo di sassi protegge il sensore dagli animali e dal vento.

### *Stazione SU23*

La stazione SU23 è stata installata nel territorio comunale San Giovanni Suergiu (CI) in località Matzaccara su una collina in prossimità di una postazione di avvistamento antincendio di proprietà del demanio marittimo (Figura 3.5). La stazione è equipaggiata con un acquirente di tipo REFTEK-130\_1 ed un sensore velocimetrico di tipo Sara SSXX 0.2 Hz ( Figura 3.3).

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background



Figura 3.5 – immagine della stazione sismica SU23.

### *Stazione SU24*

La stazione SU24 è stata installata nel territorio comunale San Giovanni Suergiu (CI) in località Loddo su una collina all'interno di un terreno di proprietà privata (Figura 3.6). La stazione è equipaggiata con un acquirente di tipo REFTEK-130\_1 ed un sensore velocimetrico di tipo Sara SSXX 0.2 Hz ( Figura 3.3)

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background



Figura 3.6 – Immagine della stazione sismica SU24

### *Stazione SU25*

La stazione SU24 è stata installata nel territorio comunale San Giovanni Suergiu (CI) in località Su Bruncu, ai piedi di una collina all'interno di un terreno di proprietà privata (Figura 3.7). La stazione è equipaggiata con un acquirente di tipo REFTEK-130\_1 ed un sensore velocimetrico a larga banda di tipo Trillium compact 120 s , come mostrato in Figura 3.8.

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background



Figura 3.7 – Immagine della stazione sismica SU25



Figura 3.8 – Acquisitore/digitalizzatore 24 bit di tipo Reftek-130\_1 (a sinistra) e velocimetro a larga banda di tipo Trillium compact 120 s (a destra). Le immagini dei due oggetti non sono in scala tra loro.

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background

<i>Stazione</i>	<i>Latitudine</i>	<i>Longitudine</i>	<i>Quota (metri s.l.m.)</i>	<i>Località</i>
<i>SU21</i>	39.145537°	8.486283°	49	Is Urigus – San Giovanni Suergiu (C.I.)
<i>SU22</i>	39.131583°	8.470500°	12	Bega trotta – San Giovanni Suergiu (C.I.)
<i>SU23</i>	39.131983°	8.446917°	64	Punto di Avvistamento di Matzaccara – San Giovanni Suergiu (C.I.)
<i>SU24</i>	39.145890°	8.453167°	29	Loc. Loddo – San Giovanni Suergiu (C.I.)
<i>SU25</i>	39.123470°	8.490250°	61	Su Bruncu – San Giovanni Suergiu (C.I.)

Tabella 3.1. Tabella dei siti di installazione delle 5 stazioni installate per il monitoraggio dell'area di Monte Ulmus.

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

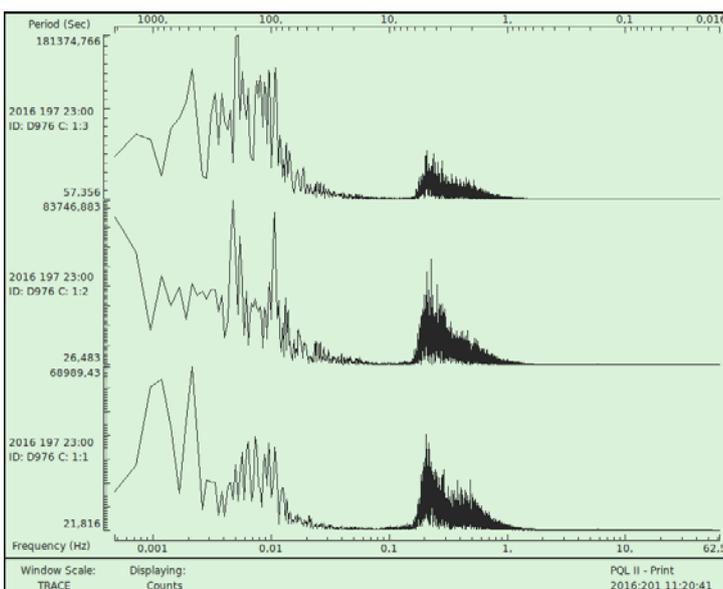
In questa prima fase dell'installazione viene mostrata, per le 5 stazioni (Figura 4.1) SU21, SU22, SU23, SU24 e SU25 un'analisi spettrale in funzione delle frequenze. Essa consiste nell'analizzare l'ampiezza dell'onda per ciascun intervallo di frequenza e viene espressa in counts in funzione dei diversi valori di frequenza, su una registrazione test di 12 ore. Tale spettro fornisce indicazioni sul contenuto in frequenza del segnale e del rumore registrati in continuo. Sebbene lo spettro sia mostrato verso il basso fino a 0,001 Hz tuttavia l'analisi del segnale in frequenza non deve scendere al di sotto di 0,02 Hz, eccetto per la stazione SU25 che è dotata di sensore broadband. La stazione SU21 mostra una maggiore potenza del segnale nell'intervallo di frequenza 0.1 -1 Hz. Diversamente le stazioni SU22, SU23, SU24 mostrano maggiore potenza in un range 0.01- 10 Hz. In particolare la stazione SU22 mostra un segnale molto potente nel range di frequenza 0.01-10 Hz. Essa, seppur con un livello di rumorosità superiore rispetto alle altre stazioni della rete, è stata scelta con il compromesso di coprire la parte centrale della rete, dove non è presente nessun sito in roccia. La stazione SU23 mostra un segnale potente nell'intervallo 0.01- 1 Hz, mentre la stazione SU24 mostra anche un segnale abbastanza potente sopra i 10 Hz probabilmente legato a rumori di natura antropica e/o industriale. La stazione SU25 infine mostra una potenza del segnale compresa tra 0.01 e 1 Hz.

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background

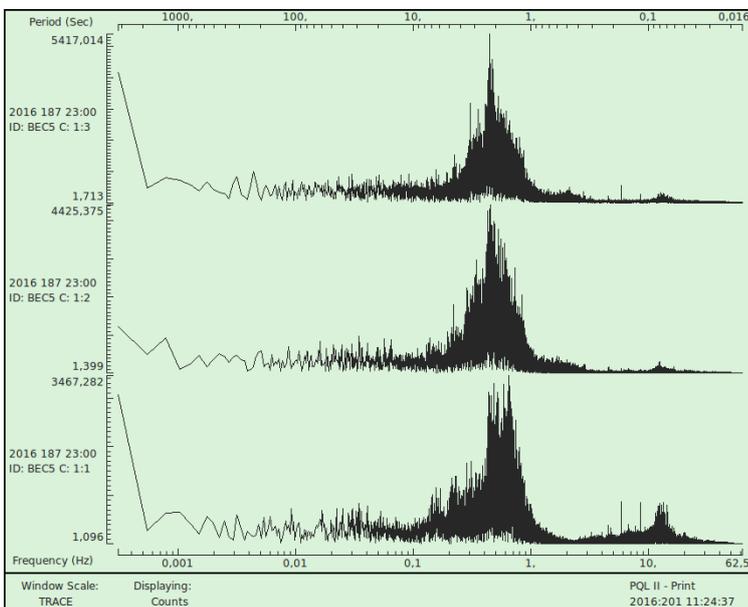
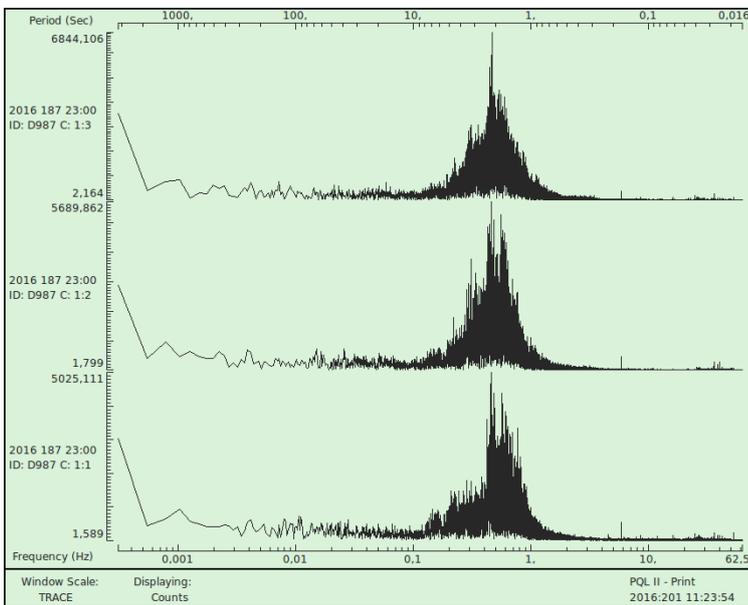
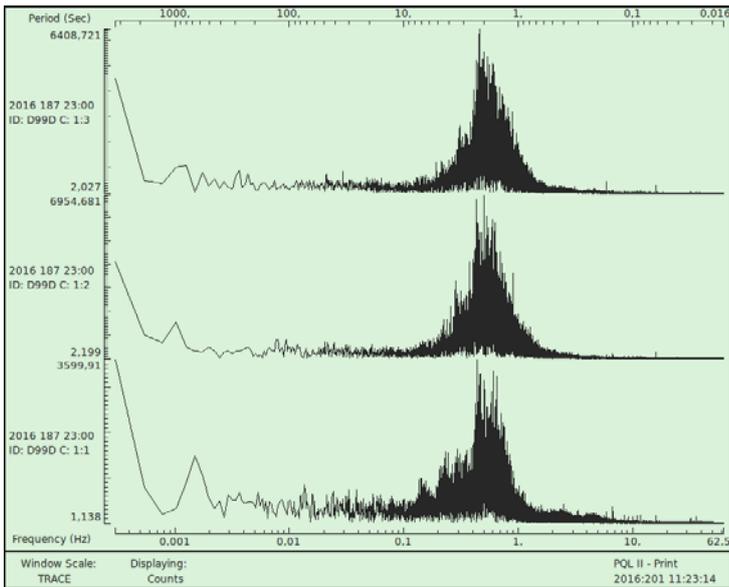
Inoltre è stato analizzato il rapporto spettrale tra le componenti orizzontali del sensore (E e N) rispetto alla componente verticale (Z). Questo tipo di analisi, seguendo il principio di Nakamura (1989) sullo studio del rapporto H/V, ci permette di studiare, per ogni valore di frequenza, l'amplificazione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

In ognuno dei siti (Figura 4.2) si può vedere come le caratteristiche risultano essere abbastanza buone nel range di frequenze interessato (1 – 25 Hz), visto che l'amplificazione non è particolarmente spiccata (H/V circa uguale ad 1). Fa tuttavia eccezione il sito di SU23 che mostra delle amplificazioni un po' anomale (H/V con valori maggiori di 4) in corrispondenza della frequenza di 2 Hz e che merita sicuramente un approfondimento.

In questa prima fase del rapporto tecnico non è stata fatta un'analisi quantitativa delle performance della rete stessa, tuttavia è possibile affermare, sia per esperienza diretta che per analogia con altri esperimenti dello stesso tipo effettuati sul territorio nazionale, che l'area compresa all'interno della rete sismica installata ha una soglia di rilevazione della magnitudo più bassa rispetto a quella già descritta nel rapporto finale del precedente esperimento (Anselmi et al., 2015). Considerando che essa aveva, nell'area interessata dall'esperimento di "Monte Ulmus", valori pari a  $0.8 M_L$  (Magnitudo Locale), c'è da aspettarsi che, in misura conservativa, la sensibilità della rete sia almeno di  $0.4-0.5 M_L$ .



# Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background



## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background

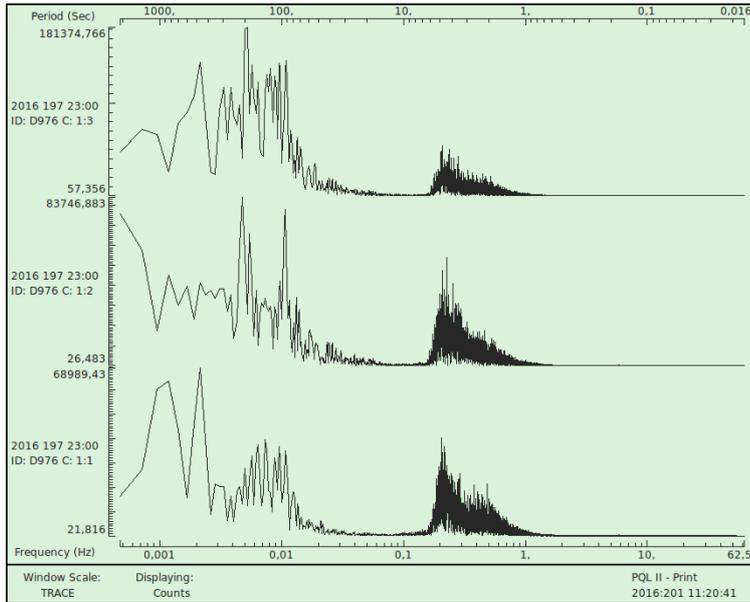


Figura 4.1- Analisi spettrale dei segnali del rumore di fondo registrato nei siti di tutte le stazioni della rete (SU21, SU22,SU23,SU24 e SU25) analizzati componente per componente. La componente verticale Z è posta in alto (1:3) mentre la componente Nord è posta in basso (1:1), mentre la E è al centro del riquadro. Il livello dell'ampiezza in funzione della frequenza è espresso in counts. Le scale dei vari spettri non sono omogenee, ma scalate a seconda del range di ampiezza massimo e minimo.

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background

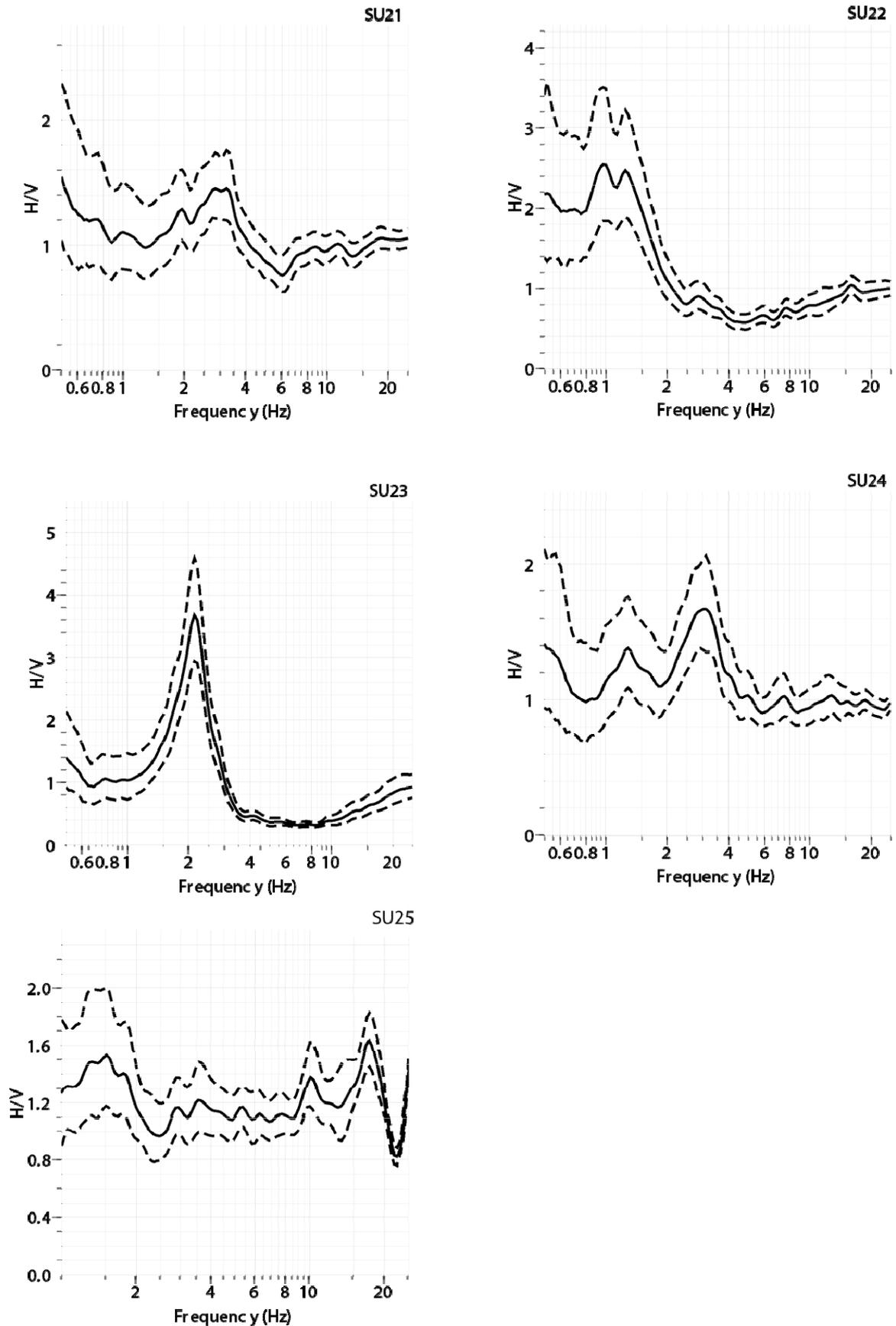


Figura 4.2- Rapporto H/V (Nakamura, 1989) tra le componenti spettrali orizzontali e verticali dei rumori di fondo registrati a ciascuna stazione della rete. Le linee tratteggiate definiscono il  $\pm 3$  sigma di errore, mentre la linea continua rappresenta il valore del rapporto H/V.

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background

### 5. Analisi dei dati

Nel corso dei primi mesi di registrazione abbiamo registrato circa 15 Gb di dati in continuo per un totale di 56 giorni di registrazione complessiva. Dalle prime analisi di routine non è stata riscontrata sismicità all'interno della rete sismica del progetto. Studi di maggior dettaglio dovranno essere effettuati per discriminare meglio eventuali piccoli terremoti dal rumore di fondo dell'area.

In questo periodo di acquisizione e registrazione in continuo le stazioni della rete sismica temporanea hanno avuto la possibilità di registrare distintamente le scosse più forti della sequenza di Amatrice (RI) nell'Italia centrale, iniziata il 24 agosto alle ore 3:34 italiane (01:34 G.M.T.), e di Norcia (PG). Nelle Figure 5.1 e 5.2 vengono mostrate rispettivamente le registrazioni del terremoto  $M_L$  6.0 di Amatrice (RI) e il  $M_L$  5.3 di Norcia (PG) entrambi del 24 Agosto 2016.

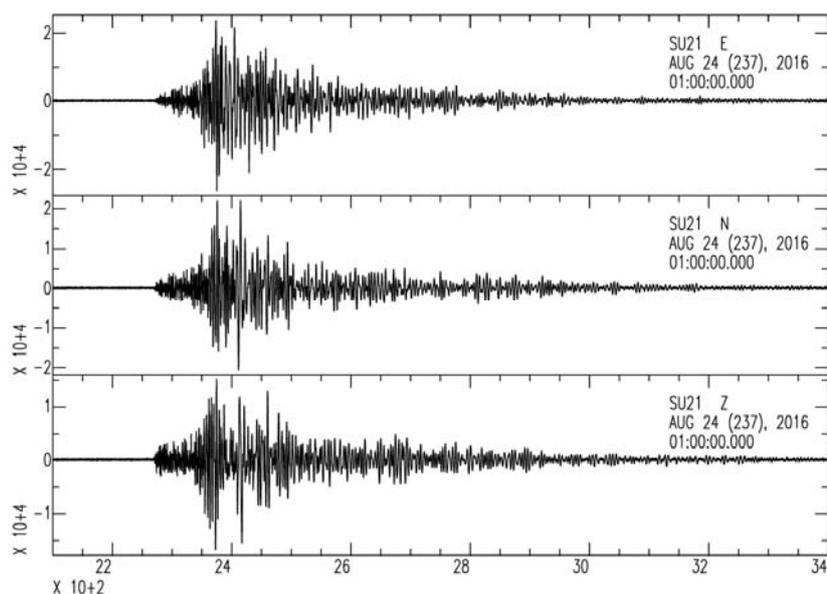


Figura 5.1 – Registrazione alla stazione SU21 del terremoto di  $M_L$  6.0 di Amatrice (RI) del giorno 24 Agosto 2016 alle ore 03:36 ore italiane (01:36 G.M.T.)

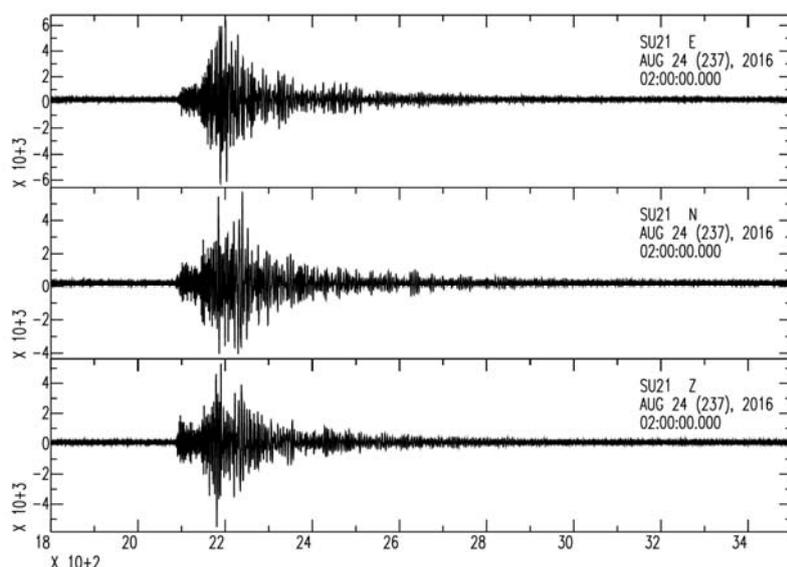


Figura 5.2 Registrazione alla stazione SU21 del terremoto di  $M_L$  5.3 di Norcia (PG) del giorno 24 Agosto 2016 alle ore 04:33 ore italiane (02:33 G.M.T.)

## Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background

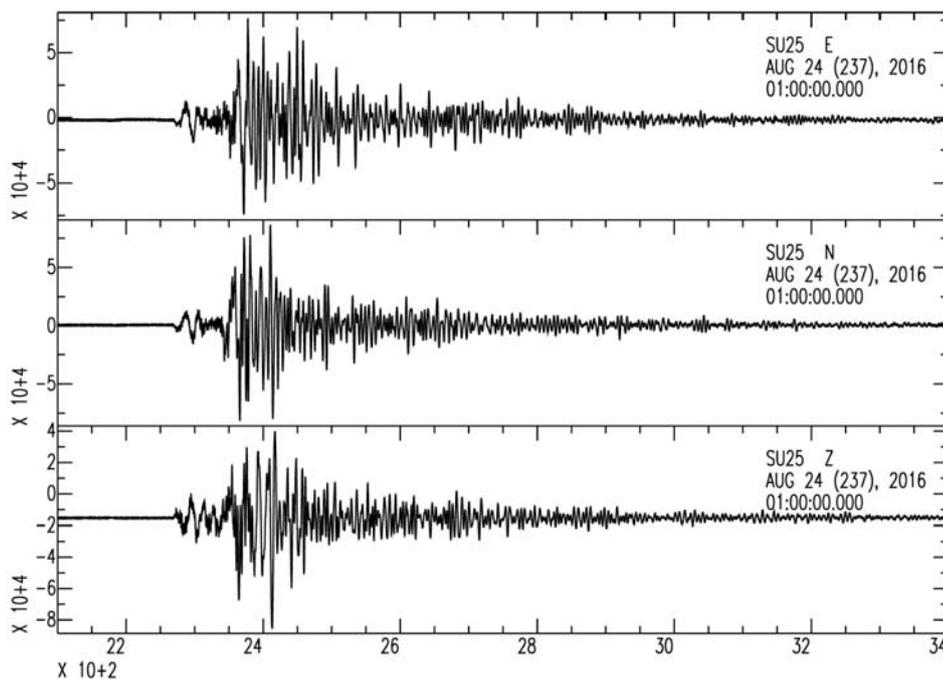


Figura 5.3 – Registrazione alla stazione SU25 del terremoto di  $M_L$  6.0 di Amatrice (RI) del giorno 24 Agosto 2016 alle ore 03:36 ore italiane (01:36 G.M.T.)

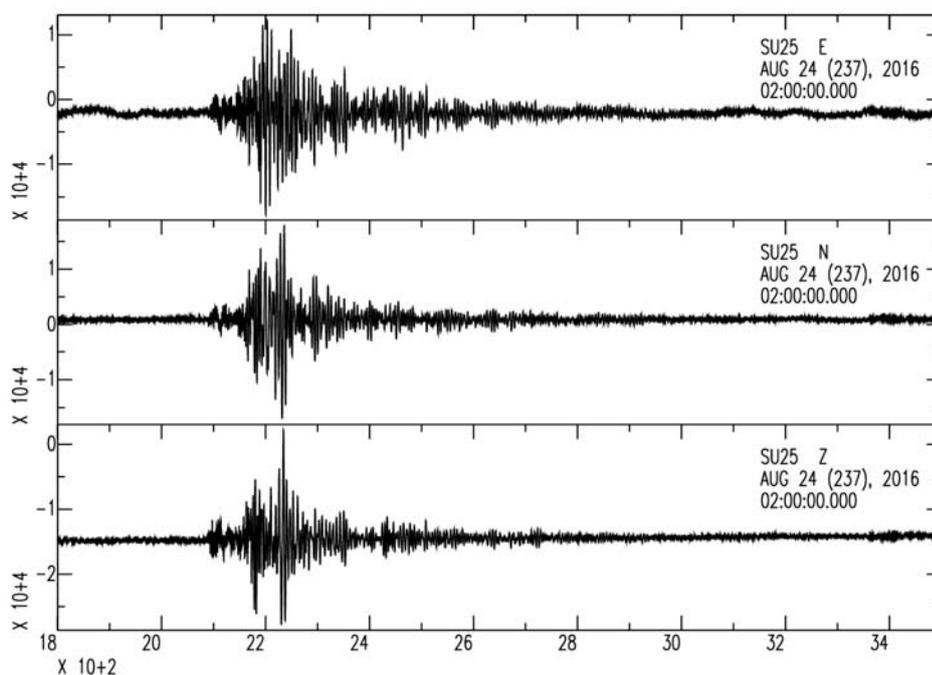


Figura 5.4 Registrazione alla stazione SU25 del terremoto di  $M_L$  5.3 di Norcia (PG) del giorno 24 Agosto 2016 alle ore 04:33 ore italiane (02:33 G.M.T.)

Nelle Figure 5.1, 5.2, 5.3 e 5.4 vengono mostrate le registrazioni dei terremoti  $M_L$  6.0 di Amatrice e  $M_L$  5.3 di Norcia del 24 Agosto 2016 rispettivamente alle stazioni SU21 e SU25. Le registrazioni vengono portate ad esempio e a confronto perché la stazione SU21 è dotata di un sensore con periodo caratteristico di 5 s., mentre la stazione SU25 è equipaggiata da un sensore di tipo broadband con periodo di 120 s.

## **Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background**

I sismogrammi riportati nelle Figure 5.1-5.4 mostrano la sensibilità di ciascuna stazione non solo riguardo alla sismicità locale ma anche verso la registrazione di terremoti regionali e telesismici. Va notato come gli ipocentri di entrambi i terremoti mostrati siano a circa 600 km di distanza dalle stazioni sismiche che li hanno registrati.

### **Conclusioni**

Da un'analisi di routine dei dati registrati dalla rete sismica temporanea non si rileva sismicità nell'area di studio durante il periodo dell'esperimento, per cui l'applicazione di tecniche maggiormente sofisticate ed un'analisi di maggior dettaglio saranno necessarie per individuare eventuale sismicità all'interno delle registrazioni in continuo.

Le analisi del rumore sismico a ogni singola stazione della rete temporanea mostrano, nonostante le sorgenti di rumore già conosciute (moto ondoso del mare, traffico navale, attività dei campi eolici e attività antropica), livelli di rumore accettabili per l'obiettivo di studio, sia per quanto riguarda l'intensità del rumore di fondo degli spettri alle varie frequenze sia per quanto riguarda i possibili effetti di amplificazione del segnale sismico H/V nell'intervallo di frequenze interessato. Unica eccezione la fa la stazione SU22 che però è stata scelta come compromesso tra qualità del segnale e posizione geometrica all'interno della rete sismica.

La sismicità strumentale pregressa registrata dall'esperimento precedente (Anselmi et al., 2015) mostra la presenza di due eventi, di magnitudo molto bassa ( $M_L < 0.42$ ) localizzati ai margini della rete sismica, sebbene la loro localizzazione sia poco accurata.

Infine la stima della sensibilità della rete sismica temporanea non è stata calcolata quantitativamente ma, basandoci sull'esperienza del precedente esperimento e di altri esperimenti svolti in altre aree italiane, può essere conservativamente stimata intorno con un valore di magnitudo minima di 0.4-0.5  $M_L$ .

## **Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background**

### **Bibliografia**

- Anselmi M., M. Buttinelli, D. Piccinini, M. Pastori, A. Plaisant, E. Maggio and C. Chiarabba (2015) - The background seismicity of the Sulcis basin coalfield (Sardinia, Italy) from a temporary passive seismic experiment –IUGG 2015 proceeding - Prague
- 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

## **Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del bacino del Sulcis: Sismicità di background**

- 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
- 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
- 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
- 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