



# IMPIANTO AGRO-VOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE DENOMINATO "UNALI" DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI SASSARI (SS)

**OPERA DI PUBBLICA UTILITA'**  
**VALUTAZIONE IMPATTO AMBIENTALE ai sensi del D.Lgs 3 aprile 2006, n.152 ALL. II**

CUSTOMER  
Committente

## BAIONA SUN<sup>2</sup>

ADDRESS  
Indirizzo

20124 MILANO - VIA G.B. PIRELLI, 27  
T. +390292875126

DESIGNERS TEAM  
Gruppo di progettazione

SUPERVISION  
Coordinamento

## FAVERO ENGINEERING

VIA GIOVANNI BATTISTA PIRELLI, 27  
20124 MILANO (MI)  
T. +390292875126

Ing. FRANCESCO FAVERO

CONSULTANTS  
Consulenti

**AMBIENTALE:** Dott.ssa MARZIA FIORONI

Via C.Battisti, 44 23100 Sondrio (SO) - +39 0342 050347 - mfiaroni@alp-en.it

**GEOLOGIA, GEOTECNICA E IDRAULICA:** Dott. Geol. FAUSTO PANI

Via Castelli, 2 09122 Cagliari (CA) - +39 070 272011 - fausto.pani@gmail.com

**AGRONOMIA:** Dott. Agr. GIUSEPPE PUGGIONI

Via Don Minzoni, 3 07047 Thiesi (SS) - +39 348 6621842 - puggioni@gmail.com

**ARCHEOLOGIA:** Dr. FABRIZIO DELUSSU

Via Depretis, 7 08022 Dorgali (NU) - + 39 3475012131 - archeologofabriziodelussu@gmail.com

**ACUSTICA:** Ing. CARLO FODDIS

Via Rossini, 81 09044 Quartucciu (CA) - + 39 070 2348760 - cf@fadssystem.net

**FAUNA:** Dr. Nat. MAURIZIO MEDDA

Via Tiepolo, 16 09121 Cagliari (CA) - +39 393 8236806 - meddamaurizio@libero.it

**FLORA:** Agr. Dott. Nat. FABIO SCHIRRU

+39 347 4998552 - fabio.schirru@pecagrotecnici.it

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	CHECKED	APPROVED
00	Ottobre 2023	PRIMA EMISSIONE	Dott. Geol. F. Pani	Dott. Geol. F. Pani	Dott. Geol. F. Pani
01					
02					
03					
04					

DRAWING - Elaborato

TITLE  
Titolo

## Relazione Sismica

DRAWING DETAILS - Dettagli di disegno

GENERAL SCALE  
Scala generale

DETAIL SCALE  
Scala particolari

-

-

ARCHIVE - Archivio

FILE

DTG\_073

PLOT STYLE

FAVERO ENGINEERING.ctb

CODING - Codifica

PROJECT LEVEL  
Fase progettuale

# DEFINITIVO

CATEGORY  
Categoria

# DTG

PROGRESSIVE  
Progressivo

# 0 7 3

REVISION  
Revisione

# 00

## INDICE

1	INTRODUZIONE .....	3
2	RIFERIMENTI PER LA PROGETTAZIONE .....	3
2.1	LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	3
2.2	CONTENUTI DEL LAVORO .....	6
2.2.1	BASI DATI UTILIZZATE E SISTEMA INFORMATIVO .....	6
2.2.1.1	FONTI CARTOGRAFICHE TOPOGRAFICHE .....	6
2.2.1.2	FONTI MORFODIGITALI .....	6
2.2.1.3	FONTI CARTOGRAFICHE TEMATICHE .....	6
2.2.1.4	BASI ICONOGRAFICHE.....	6
2.2.1.5	BASI DI DATI GEOGRAFICI UTILIZZATE O CONSULTATE.....	7
2.2.1.6	PIANI DI AMBITO REGIONALE O NAZIONALE .....	7
2.2.1.7	STUDI GENERALI E DI SETTORE.....	8
3	MODELLO GEOLOGICO LOCALE.....	9
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DI BASE.....	10
4.1	LA VULNERABILITÀ SISMICA .....	11
4.2	PERICOLOSITÀ SISMICA.....	12
4.3	DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE .....	14
4.4	CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA .....	14
4.5	PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO.....	15

## INDICE DELLE FIGURE

Inquadramento generale dell'area di progetto con l'area in celeste	3
La geologia dell'area di dettaglio	9
Mappa della pericolosità sismica in Italia - Accelerazione orizzontale di picco con T = 475 anni	10
Mappa della pericolosità sismica in Italia - Intensità macrosismica con T = 475 anni	10
Mappa – La pericolosità sismica sul settore di progetto dal sito dell'INGV per PGA	12
Mappa – La pericolosità sismica sul settore di progetto dal sito dell'INGV per SA	13

Allegato: Rapporto indagine geofisica

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione geofisica di base si inserisce nell'ambito della Progettazione Definitiva dell'Impianto Agro-Voltaico per la produzione di Energia da Fonte Solare della Potenza di 20 Mw denominato Unali ed ubicato in comune di Sassari in località Baiona.



Inquadramento generale dell'area di progetto con l'area in verde

Allo scopo della realizzazione del progetto, le aree di intervento devono essere sottoposte a un'analisi geologica, geotecnica e sismica di base.

Ciò implica una parallela analisi dei pericoli naturali collegati ad acqua, e fenomeni franosi ed una rappresentazione dei risultati sulla cartografia disponibile più aggiornata (DBGT2022).

## 2 RIFERIMENTI PER LA PROGETTAZIONE

Le opere previste si sviluppano interamente nel territorio della Regione Sardegna e la normativa a cui si è fatto riferimento tiene conto di quanto previsto a livello nazionale.

### 2.1 LA NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente documento è redatto secondo quanto richiesto dalla normativa vigente ed in particolare, è conforme a quanto richiesto da:

- dal punto H del D.M. 11.3.1988 “Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno e delle terre e delle opere di fondazione”;
- dal DM 17-01-2018 NTC2018;
- dagli Eurocodici EC7 ed EC8.

In particolare, il D.M. 17.01.2018 entrato in vigore a partire dal 01-07-2018 stabilisce le Norme Tecniche per le Costruzioni o meglio le norme per la progettazione ed il dimensionamento delle strutture.

Tale documento, come anche precisato dalla successiva Circolare Applicativa del 21.01.2019, con tutti gli ovvi risvolti sulle fasi preliminari della progettazione, è quindi riferito alla fase esecutiva della progettazione.

Per quanto riguarda la sfera attinente la professionalità del geologo vengono richiesti all’interno della progettazione 3 documenti:

- relazione geologica
- relazione geotecnica
- relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base.

La relazione geologica deve contenere le indagini, la caratterizzazione e modellazione geologica del sito in riferimento all’opera ed analizzare la pericolosità geologica del sito in assenza ed in presenza delle opere. La valenza di questo documento è fondamentale non solo per la progettazione esecutiva dell’opera ma per stabilire in fase di progettazione architettonica o preliminare se l’opera si “può fare” e quali saranno le problematiche relative alla stabilità dei terreni ed all’assetto idrogeologico dell’intorno.

La relazione geotecnica riguarda le indagini, la caratterizzazione e modellazione geotecnica del solo “volume significativo” e deve valutare l’interazione opera/terreno ai fini del dimensionamento.

La relazione sulla modellazione sismica deve valutare la pericolosità sismica di base del sito, tale documento riveste importanza per la valutazione della “pericolosità” e quindi va inserito non solo nel livello di progettazione definitivo ma già fin dal livello di progettazione preliminare. Dato che tale documento specie per la trattazione degli effetti di sito assume un carattere prettamente “geologico”, lo stesso può essere redatto in forma indipendente o essere inserito nella relazione geologica.

In particolare la normativa generale presa a riferimento è costituita da:

- Decreto Ministeriale 17.01.2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”.  
Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 7/ C.S.LL.PP., 21.01.2019,  
Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- Progettazione geotecnica – Parte II : Progettazione assistita con prove in sito
- Decreto Ministeriale 2306.2022. “Criteri Ambientali Minimi”

Criteri ambientali minimi (CAM) per l’affidamento del servizio di progettazione di interventi edilizi, per l’affidamento dei lavori per interventi edilizi e per l’affidamento congiunto di

progettazione e lavori per interventi edilizi. G.U. SERIE GENERALE Anno 163° n° 183  
06/08/2022

- Leggi regionali in materia di pianificazione e di Vincolo Idrogeologico
- Piano di Assetto Idrogeologico (NTA agg. agosto 2023)
- Piano delle Fasce Fluviali
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni
- Ordinanze Autorità di Bacino nazionale, regionale o interregionale
- Piani Territoriali di coordinamento
- Piano Urbanistico di Sassari e relativi Regolamento edilizio e Norme Tecniche di Attuazione
- D.M. 11.03.1988 (pur obsoleto)

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità e dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione

## **2.2 CONTENUTI DEL LAVORO**

Lo studio è finalizzato al conseguimento delle autorizzazioni necessarie alla messa in opera ed è composto da una relazione geologica, tavole grafiche al 1:10.000.

I documenti prodotti sono frutto di materiali con precisione geometrica propria della scala 1:1.000 ed ove non possibile a scala maggiore, al 1:5.000.

Le carte illustrative sono prodotte alla scala 1:10.000, ma i loro contenuti sono propri almeno della scala 1:5.000 per il territorio e 1:2.000 per le aree di dettaglio.

### **2.2.1 BASI DATI UTILIZZATE E SISTEMA INFORMATIVO**

La base di dati utilizzata nel corso del presente lavoro è costituita da materiali di provenienza ufficiale e da materiali originali appositamente prodotti per lo stesso. Le basi informative, utilizzate nel Sistema Informativo della Geostudi, originariamente variamente georiferite, utilizzate in RDN2008 / UTM zone 32N con EPSG:7791, sono state:

#### **2.2.1.1 FONTI CARTOGRAFICHE TOPOGRAFICHE**

- Carta 1:50.000 La Marmora 1834-1839 (raster) (informatizzazione Geostudi)
- Carta 1:25.000 IGM 1888-1940
- Carta 1:25.000 USAF - IGM 1888-1943
- Carta 1:10.000, 1:4.000 e 1:2.000 EIRA 1953 (raster) (fonte R.A.S.)
- Carta 1:25.000 IGM 1950-1968
- Carta 1:25.000 IGM 1987-1994
- Carta 1:10.000 e 1:5.000 CASMEZ 1974 e AGENMEZ 1984 (raster) (fonte R.A.S.)
- Carta 1:10.000 CTR 1996 - 2000 (vettoriale) (fonte R.A.S.)
- Carta 1:10.000 CTR 2004 GEODB\_MP 10k (vettoriale) (fonte R.A.S.)
- Carta 1:10.000 CTR 2022 DBGT10k (vettoriale) (fonte R.A.S.)

#### **2.2.1.2 FONTI MORFODIGITALI**

- DTM a passo 10 m (fonte R.A.S. CNR)
- DTM e DSM a passo 1 m (fonte R.A.S. e CNR)

#### **2.2.1.3 FONTI CARTOGRAFICHE TEMATICHE**

- Carta della vegetazione forestale 1:25.000 (fonte R.A.S.)
- Carta dell'uso attuale del suolo 1:25.000 US2506 (fonte R.A.S.)
- Dati climatologici (termo, pluvio e anemo) dal 1921, localmente 2021 (fonte R.A.S. e ISTAT)
- Carta 1:10.000 aree L. R. 31/89, S.I.C./Z.S.C., Z.P.S., OPPF, IBA, (fonte R.A.S. 2023)
- Carta 1:10.000 aree D.Lgs. 42/04 e PPR (fonte R.A.S.)
- Carta 1:25.000 Geologica (fonte R.A.S., rielaborazione Geostudi)
- Carta 1:25.000 Idrogeologica (fonte R.A.S., rielaborazione Geostudi)
- Carta delle Acclività da DTM 10 m (fonte R.A.S. elaborazione Geostudi)
- Carta delle Esposizioni da DTM 10 m (fonte R.A.S. elaborazione Geostudi)
- Carta delle Fasce Altimetriche da DTM 10 m (fonte R.A.S. elaborazione Geostudi)

#### **2.2.1.4 BASI ICONOGRAFICHE**

- Immagini satellitari a varie date dal 1974 al 2022 (fonti varie elaborazione Geostudi)
- Ortofotocarta (ris. 1 m) 1953 EIRA (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 1 m) 1954 IGM (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 0.5 m) 1960 CBO (fonte elaborazione Geostudi.)
- Ortofotocarta (ris. 0.5 m) 1962 Cagliari (fonte elaborazione Geostudi.)
- Ortofotocarta (ris. 0.5 m) 1968 IGM (fonte R.A.S.)

- Ortofotocarta (ris. 0,5 m) 1977 ERSAT (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 0,5 m) 1987/1994 Centri Urbani (fonte ISPRA)
- Ortofotocarta (ris. 1 m) 1998 AIMA (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 1 m) 2000 Ferretti (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 1 m) 2003 AGEA (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 1 m) 2004 Nistri (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 0,7 m) 2005 IKONOS (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 0,5 m) 2006 Ferretti (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 0,5 m) 2012 (fonte BING)
- Ortofotocarta (ris. 0,5 m) 2013 (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 0,2 m) 2013 Centri Urbani (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 0,2 m) 2016 (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 0,2 m) 2019 (fonte R.A.S.)
- Ortofotocarta (ris. 0,2 m) 2022 coste (fonte Compucart)
- Aerofoto Voli vari raddrizzate b/n a 50 cm, 1m o 2 m rettificate (1943, 1954, 1960, 1965, 1968, 1973, 1987 e 1992, 1995, 1996 e 1998) (fonti varie elaborazione Geostudi)
- Immagini da Google (dal 2002 al 2023)

### **2.2.1.5 BASI DI DATI GEOGRAFICI UTILIZZATE O CONSULTATE**

- Catasto Grotte (fonte R.A.S.)
- Catasto Grotte (<https://www.catastospeleologicoregionale.sardegna.it/>)
- Censimento delle aree minerarie (fonte R.A.S.)
- Catasto Pozzi (CASMEZ Prog n° 25 (Ricerche Idriche Sotterranee in Sardegna - Ia e IIa Fase -informatizzazione Geostudi più dati originali Geostudi))
- Catasto opere di riforestazione dell'Isp. Rip. , ex .AFDRS e dei Rimboschimenti produttivi (fonte R.A.S.)
- Catasto Generale degli Scarichi nei Corpi Idrici (Fonte CEDOC R.A.S. – Pro.Ge.Mi.Sa.)
- Sistema Informativo Territoriale Aree Industriali (SITAI) (Fonte Osservatorio Industriale R.A.S.)
- Sistema Informativo Risorse Idriche Sotterranee (SIRIS) (fonte R.A.S. – Pro.Ge.Mi.Sa.) (2001)
- Piano di Risanamento delle aree minerarie Dismesse (PDR)
- Piano di Valorizzazione dei Compendi Minerari del Sulcis-Iglesiente-Guspinese
- Modulo regionale del sistema informativo nazionale ambiente (SINA-SIRA)
- Sistema informativo ambientale dell'area ad alto rischio del Sulcis-Iglesiente (SINA Q1-2)
- Sistema informativo compendi immobiliari dell'IGEA (SICI)
- Sistema informativo territoriale per la gestione delle Attività Estrattive (SITAE)
- Sistema Informativo Catastrofi Idrogeologiche (SICI)

### **2.2.1.6 PIANI DI AMBITO REGIONALE O NAZIONALE**

- Nuovo Piano Regolatore Generale degli Acquedotti (fonte R.A.S.)
- Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (basi originali Geostudi e fonte R.A.S.) (2005)
- Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico aggiornamenti ( fonte R.A.S.) **(2023)**
- Piano Stralcio delle Fasce Fluviali ( fonte R.A.S.) (2013)
- Piano Gestione Rischio Alluvioni (fonte R.A.S.) **(2023)**
- Piano Regionale dell'Attività Estrattiva (fonte R.A.S.) (2007)
- Piano dello Smaltimento Reflui (fonte R.A.S.)
- Piano della Tutela delle Acque (fonte R.A.S.) (2006) (sostituito PGDI)
- Piano delle Risorse Idriche Multisetoriali (fonte R.A.S.)
- Piano (Stralcio Direttore di Bacino Reg.le) per l'Utilizzo delle Risorse Idriche (fonte R.A.S.)
- Piano Paesaggistico Regionale: Ambito Costiero (fonte R.A.S.) (05/09/2006)
- Piano Forestale Regionale Ambientale (fonte R.A.S.) (2006)
- Piano di Risanamento della Qualità dell'Aria (fonte R.A.S.)

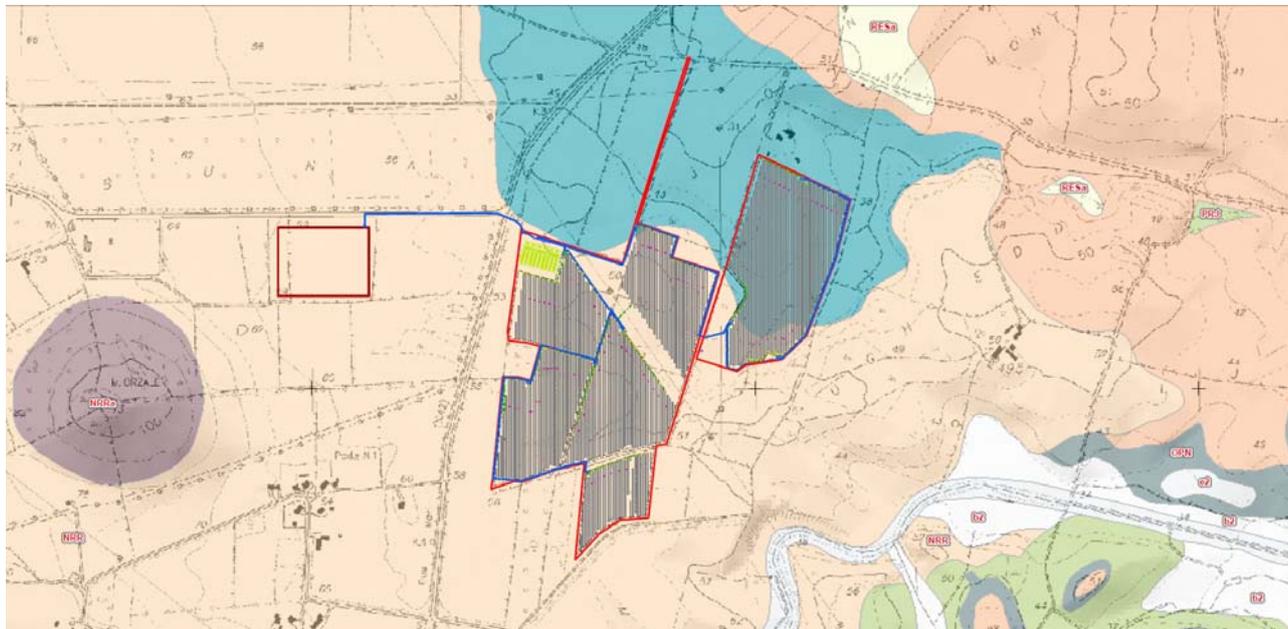
- Piano Regionale Risanamento Acque (PRRA) (fonte R.A.S.) (1998)
- Piano di Bonifica dei Siti Contaminati (fonte R.A.S. - Pro.Ge.Mi.Sa.) (2003)
- Piano di Sviluppo Rurale (fonte R.A.S.) (2004)
- Piano di Gestione di Distretto Idrografico (fonte R.A.S.) (**3° ciclo 2022**)

#### **2.2.1.7 STUDI GENERALI E DI SETTORE**

- Studio sull'Irrigabilità dei Suoli della Sardegna (Fonte E.A.F. – R.A.S.) (1987)
- Studio SISS (1979-80) e nuovo SISS (1996) (Fonte R.A.S. – C.R.P. - UNICA)
- Progetto IFRAS (fonte R.A.S.)
- Progetto V.A.P.I. (C.N.R. – UNICA)
- Progetto S.C.A.I. (C.N.R. - UNICA)
- Progetto I.F.F.I. (ISPRA – R.A.S.)
- Progetto A.V.I. (Protezione Civile Nazionale - C.N.R. G.N.D.C.I.)
- Studio sulla sensibilità dei suoli alla desertificazione
- Studio sulla salinizzazione dei suoli costieri
- Indagine sull'effettivo utilizzo delle aree irrigue nelle diverse aree di intervento a Integrazione del piano stralcio di bacino regionale per l'utilizzo delle risorse idriche - CRAS (2006)
- Aspetti economici dell'agricoltura irrigua in Sardegna - Inea (2009)

### 3 MODELLO GEOLOGICO LOCALE

Il modello geologico dell'area di progetto ricade in un'area caratterizzata dalla presenza di un substrato roccioso calcareo-dolomitico o calcareo-siltitico (NRR e KEU) a poca profondità, talora sub-affiorante.



La geologia dell'area di dettaglio

In superficie, i terreni calcarei e sabbiosi sono mascherati da una coltre eluvio-colluviale di modesto spessore, costituita da detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti.

Di seguito viene descritto più in dettaglio il modello geologico del tracciato riferito principalmente alle opere d'arte maggiori.

Il modello geologico risulta piuttosto semplice e vede, per le profondità di riferimento, i suoli poggianti sui calcari calcari oolitici, oncolitici e bioclastici, marne e calcari marnosi; calcari grigio-bluastri con lenti di selce della formazione della Nurra (NRR), e nell'area orientale le marne grigio-giallognole con subordinati calcari marnosi talvolta intercalate da sottili strati di argille varicolori ricche in gesso.

Tali formazioni risultano mediamente compatte a tratti sciolte con trovanti litoidi per tutta la profondità possibilmente riscontrabile delle opere di fondazione dell'impianto.

La falda è stata riscontrata ad alcuni m dal piano campagna per circa tutto il settore investigato.

## 4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DI BASE

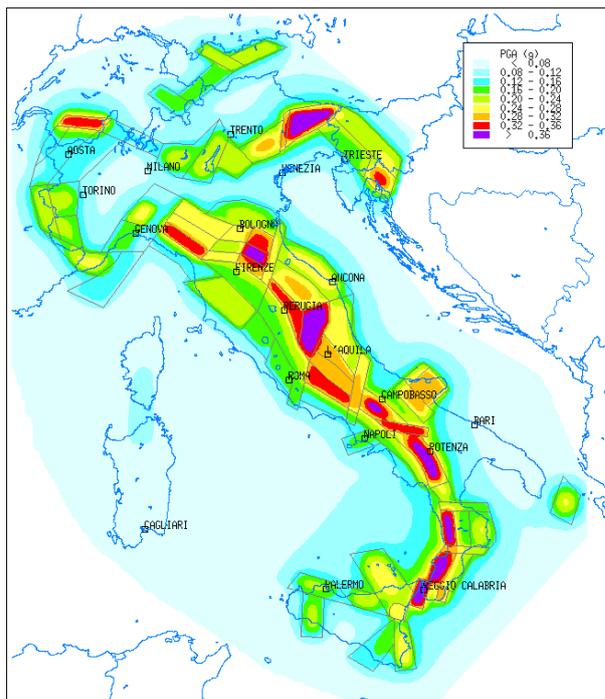
Alla scala dei tempi umani le uniche manifestazioni tangibili di questi grandiosi processi geologici sono costituite dalle eruzioni vulcaniche e dai terremoti.

Riferendoci agli ultimi 1000 anni, dei si conserva una discreta memoria storica, circa 1300 terremoti distruttivi o comunque responsabili di gravi danni (intensità epicentrale  $\geq$  VIII grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg) hanno colpito la regione centro-mediterranea. Di questi, più di 500 hanno colpito il territorio italiano.

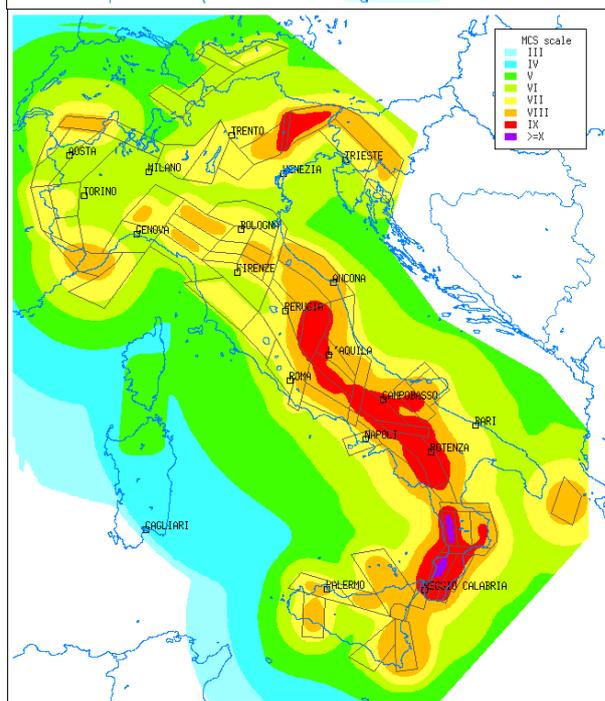
I due indicatori di pericolosità usualmente per la definizione di sismicità rappresentano due aspetti diversi dello stesso fenomeno.

L'accelerazione orizzontale di picco illustra l'aspetto più propriamente fisico: si tratta di una grandezza di interesse ingegneristico che viene utilizzata nella progettazione in quanto definisce le caratteristiche costruttive richieste agli edifici in zona sismica. L'intensità macrosismica rappresenta, invece, in un certo senso le conseguenze socio-economiche; descrivendo infatti il grado di danneggiamento causato dai terremoti, una carta di pericolosità in intensità macrosismica si avvicina, con le dovute cautele derivate da diverse approssimazioni insite nel parametro intensità, al concetto di rischio sismico.

Mappa della pericolosità sismica in Italia - Accelerazione orizzontale di picco con T = 475 anni



Mappa della pericolosità sismica in Italia - Intensità macrosismica con T = 475 anni



L'attenuazione dell'accelerazione di picco selezionata (Slejko D. bib. Cit.) è riferita ad un terreno medio ed è stata tarata su un vasto parco di dati europei per garantire robustezza ai risultati.

Sulla base delle notizie storiche il territorio sardo è stato interessato solo da terremoti con grado massimo del 6° della scala Mercalli-Cancani-Sieberg.

Le testimonianze dei terremoti in Sardegna sono rare.

Una scritta incisa sulla pietra nell'antisacrestia della Cattedrale di Cagliari ricorda un sisma

verificatosi il 4 giugno del 1616 che risulta aver danneggiato almeno 8 torri del sistema difensivo attorno a Villasimius.

Un leggero sisma viene riportato dagli storici nel 1771: si sa soltanto che si è verificato nella parte meridionale dell'isola.

Il primo terremoto riportato dall'Istituto Nazionale di geofisica risale al 1838. Gli effetti furono misurati con la scala Mercalli soltanto in seguito, in quanto non esistevano strumenti per misurare la magnitudo, e stabilirono un record per i sismi nell'isola: sesto grado.

Un secondo sisma venne registrato nel 1850.

Nel 1870 una scossa del 5° grado Mercalli partì da Ittireddu, nel Goceano, nella parte centro-settentrionale dell'isola.

Un ulteriore sisma colpì la Sardegna nel 1877.

Un sisma con epicentro il Golfo dell'Asinara colpì l'isola nel 1944 ed il 13 novembre del 1948 si ebbe un sisma prossimo al 6° grado della scala Mercalli con epicentro in mare, nelle acque del Canale di Sardegna verso la Tunisia.

Nel 1960 vi fu un terremoto di 5° grado della scala Mercalli con epicentro nei dintorni di Tempio.

Il 30 agosto del 1977, il vulcano sottomarino Quirino causò un terremoto che fu registrato nelle vicinanze di Cagliari.

Il 3 Marzo 2001 alle h.02 54' un sisma di magnitudo 3.3 Richter, IV Mercalli ha interessato la costa sarda, in corrispondenza di Capo S. Teodoro mentre il 9 novembre del 2010 un sisma di grado 3.3 della scala Richter ha colpito il settore NO della Sardegna.

Una serie di sismi, con epicentro nel settore poco a ovest di Corsica e Sardegna, ha fatto sentire i suoi riflessi in Sardegna nel 2011 ed in particolare, una scossa di grado 5.3 Richter ed una successiva del 2.1 mentre il 7 luglio vi era stata un'altra scossa di grado 4.1. L'8 luglio è seguita una nuova scossa di magnitudo 3.5 gradi Richter ha interessato nuovamente la stessa zona con profondità ipocentrale di 40 km. Alle 14:12 ancora un'altra scossa. Magnitudo 2.9, fissata a 11 km di profondità.

Una scossa del grado 3.6 della scala Richter è stata misurata il 25 gennaio 2020.

## **4.1 LA VULNERABILITÀ SISMICA**

La vulnerabilità sismica definita come la probabilità che una struttura di un certo tipo possa subire un certo livello di danneggiamento a seguito di un terremoto di una determinata intensità viene analizzata e mappata nella carta seguente.

La vulnerabilità sismica è valutata sulla base della scala MSK, compilata da S. Medvedev, W. Sponhauer e V. Karnik nelle tre edizioni del 1964, 1976 e 1981, suddivide gli edifici in tre classi di vulnerabilità (A, B e C) collegate direttamente ad altrettanti gruppi di tipologie edilizie. Alla classe A corrispondono gli edifici in muratura più scadente (struttura portante in pietrame), alla classe B gli edifici in muratura più resistente (struttura portante in mattoni) e alla classe C gli edifici con struttura in cemento armato.

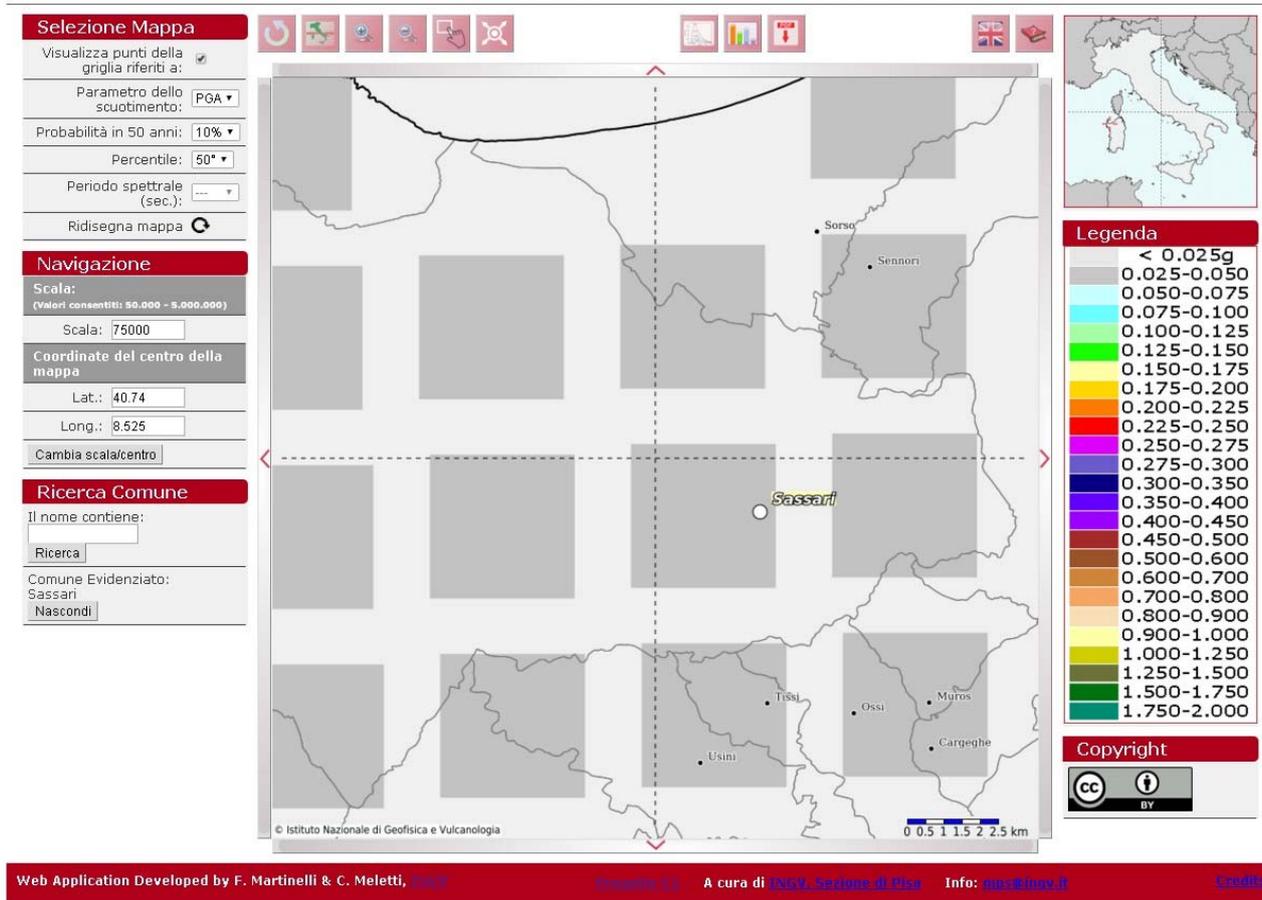
In conseguenza delle tipologie costruttive e della sismicità, il settore studiato risulta marginalmente vulnerabile.

## 4.2 PERICOLOSITÀ SISMICA

Come definito nel testo unico allegato al D.M. 17.01.2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni” ed al suo regolamento del CSLPP del 2019, “le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione.



### Modello di pericolosità sismica MPS04-S1



Mappa – La pericolosità sismica sul settore di progetto dal sito dell'INGV per PGA

Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag "...". Secondo la nuova classificazione sismica del territorio nazionale, il settore del comune di Alghero appartiene ad un'area di Classe 4, ed è quindi caratterizzata da una accelerazione orizzontale massima  $ag \leq 0,05 * g$  ( $m/s^2$ ).

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare anche l'effetto della risposta sismica locale che, in assenza di specifiche analisi, può essere ricavata mediante un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

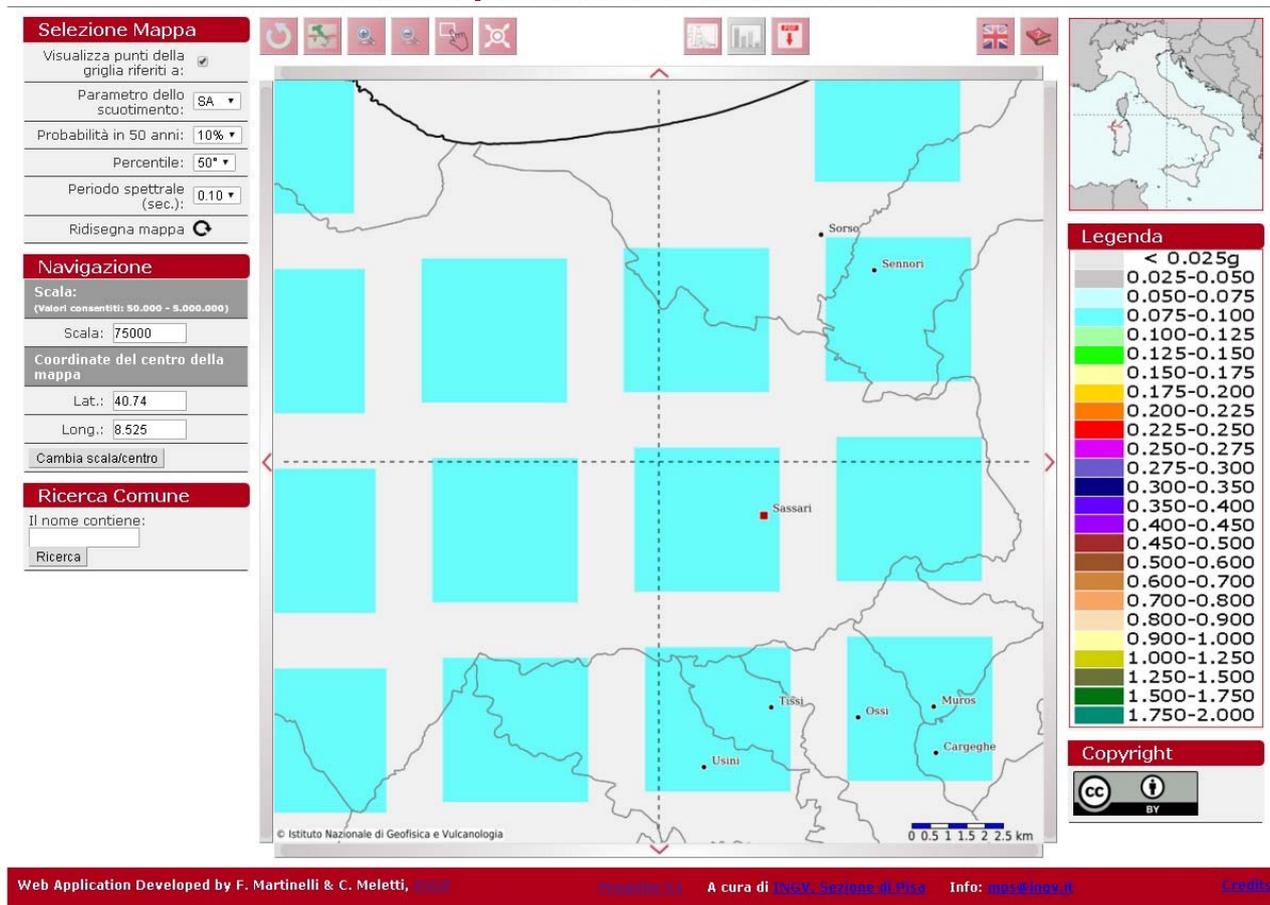
L'identificazione di questa categoria va di norma eseguita in base ai valori della Vs30, cioè la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità, tuttavia, come specificato nella suddetta normativa, nei terreni non coesivi (coperture) può essere effettuata

**COMUNE DI SASSARI – PROVINCIA DI SASSARI**  
**IMPIANTO AGRO-VOLTAICO PER LA PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE DELLA**  
**POTENZA DI 20 MW DENOMINATO "UNALI" DA REALIZZARSI NEL COMUNE DI SASSARI (SS)**

anche in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (Standard Penetration Test)  $N_{SPT30}$ .



### Modello di pericolosità sismica MPS04-S1



Mappa – La pericolosità sismica sul settore di progetto dal sito dell'INGV per SA

### 4.3 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

La categoria del **suolo di fondazione nel sito**, è definita secondo le specifiche del punto 3.2.2 del D.M. del 2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni” e dal suo regolamento applicativo.

TABELLA 3.2.II – CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Indipendentemente da prove MASW in corso di rendicontazione, le valutazioni di  $V_{s30eq}$ , **stanti i parametri geotecnici desunti dalle indagini**, certamente classificheranno i terreni in **classe B**.

Sulla base delle caratteristiche orografiche del territorio attraversato, tutti i manufatti sono riconducibili ad una categoria topografica **T1**.

### 4.4 CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA

Con l'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” viene introdotta la nuova classificazione sismica dell'intero territorio nazionale.

La nuova classificazione sismica del territorio nazionale è articolata in **4 zone** a diverso grado di sismicità espresso dal parametro  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria **B**.

I valori convenzionali di  $a_g$  sono espressi come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale e sono riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Per ogni classe sismica si assumono i valori riportati nella tabella sottostante.

TABELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003

ZONA	VALORE di ag
1	0.35g
2	0.25g
3	0.15g
4	0.05g

L'intero territorio della **Sardegna**, che precedentemente, non era classificato sismico, con la nuova classificazione sismica introdotta dall'O.P.C.M. n. 3274/2003, ricade in **zona sismica 4**.

La Regione Sardegna con Delibera G. R. n.15/31 del 30/03/2004 ha recepito, in via transitoria, fino a nuova determinazione, conseguente l'aggiornamento della mappa di rischio sismico nazionale, la classificazione sismica dei Comuni della Sardegna, così come riportato nell'allegato A dell'O.P.C.M. n. 3274/2003.

Secondo quanto definito nell'Allegato A del D.M. 14/01/2008, la Sardegna è caratterizzata da una macro-zonazione sismica omogenea, ossia presenta medesimi parametri spettrali sull'intero territorio insulare a parità di tempo di ritorno dell'azione sismica.

#### 4.5 PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO

Come definito nel testo unico allegato al **D.M. del 2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”** e dal suo regolamento applicativo, “le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione.

La mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, riportata nella figura seguente ed elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, approvata con Ordinanza n.3519 del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 Aprile 2006, è diventata la mappa di riferimento prevista dall'Ordinanza n.3274 del 2003, All.1.

In tale cartografia il settore di progetto ricade in una zona con accelerazione massima al suolo ( $a(\max)$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli non rigidi ( $V_{s,30}$  tra 180 e 360 m/s; cat .C) compresa tra **0.025 e 0.050 g**.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare anche l'effetto della risposta sismica locale che, in assenza di specifiche analisi, può essere ricavata mediante un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

L'identificazione di questa categoria va di norma eseguita in base ai valori della  $V_{s,eq}$ , cioè la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità, tuttavia, come specificato nella suddetta normativa, nei terreni non coesivi (coperture) può essere effettuata anche in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (Standard Penetration Test)  $N_{SPT30}$ .

Nel caso in esame, i valori della  $V_s$  per i singoli strati sono stati ricavati utilizzando le formule di calcolo di Ohta e Goto (1978):

$$V_s = 54.33 * (N_{SPT})^{0.173} * \alpha * \beta * (Z / 0.303)^{0.193}$$

e di Yoshida e Motonori (1988):

$$V_s = \beta * (N_{SPT})^{0.25} * \sigma'_{v0}{}^{0.14}$$

Per il calcolo della  $V_{s,eq}$ , è stata quindi applicata la formula indicata dalle **N.T.C 2018**:

$$V_{S,eq} = H / (\sum_{i=1,N} (h_i/V_{S,i}))$$

Dove:

$h_i$  = Spessore in metri dello strato i-esimo

$V_i$  = Velocità dell'onda di taglio i-esima

$N$  = Numero di strati

Sulla base delle **NTC 2018** quando lo spessore del substrato è superiore a 30 metri, come nel nostro caso:

$$V_{s,eq} = V_{s,30}$$

## 1. PREMESSA

Questa relazione illustra i risultati di un'indagine geofisica eseguita nel giugno 2023.

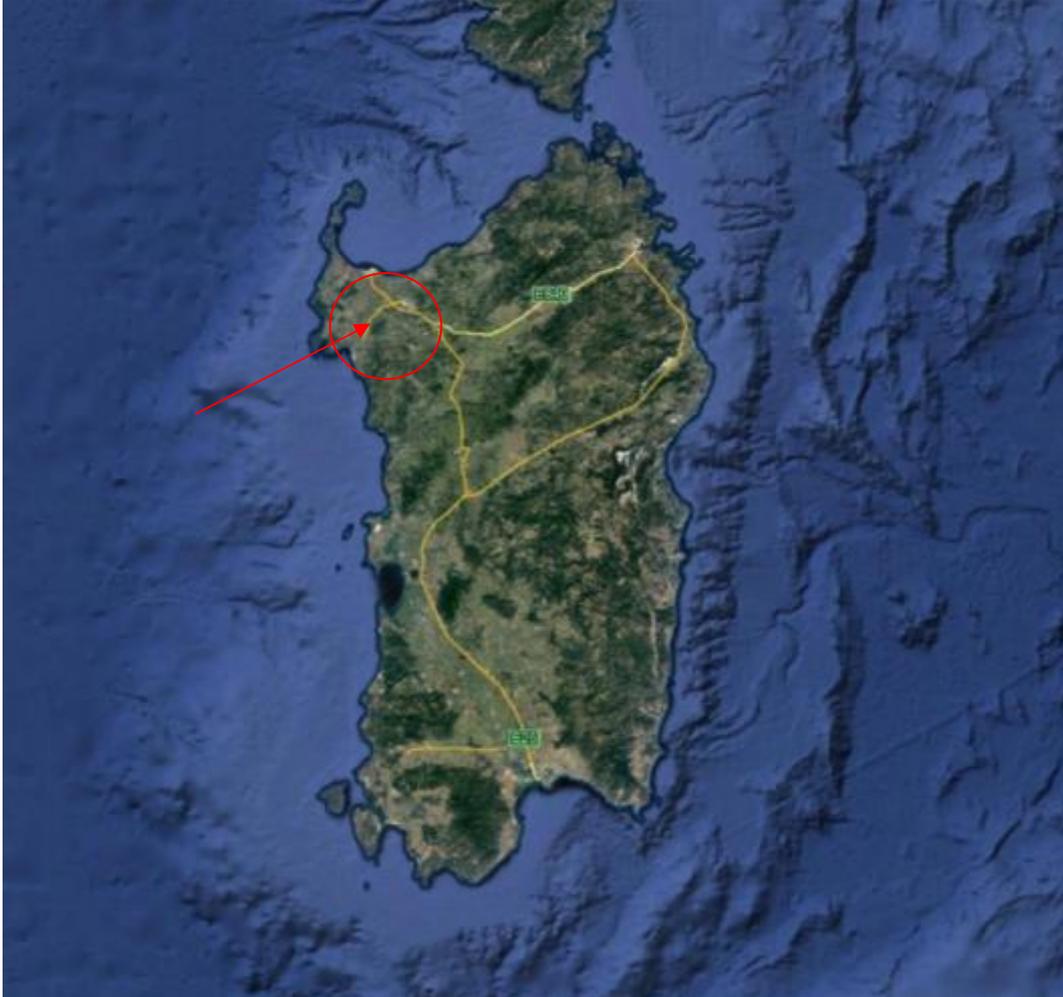


Foto n. 1 Area d'indagine

L'indagine, eseguita all'interno dell'Azienda agricola Unali, in prossimità della strada di accesso, sita in località *La Crucca – Baiona* in Comune di Sassari, è consistita nell'acquisizione dei dati sismici lungo una sezione composta di 24 geofoni interspaziati di 2.00 metri necessari per la ricostruzione di una tomografia sismica e nell'esecuzione di una prova di sismica attiva MASW.

L'indagine è rispondente ai dettati della normativa vigente per quanto concerne la classificazione sismica dei terreni ai sensi del *D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC 2018)* e ha anche consentito di definire la conformazione del sottosuolo del sito e di quantificare il parametro  $V_{s,eq}$  in funzione della risposta sismica a una sollecitazione indotta artificialmente.

## 2. LA TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE

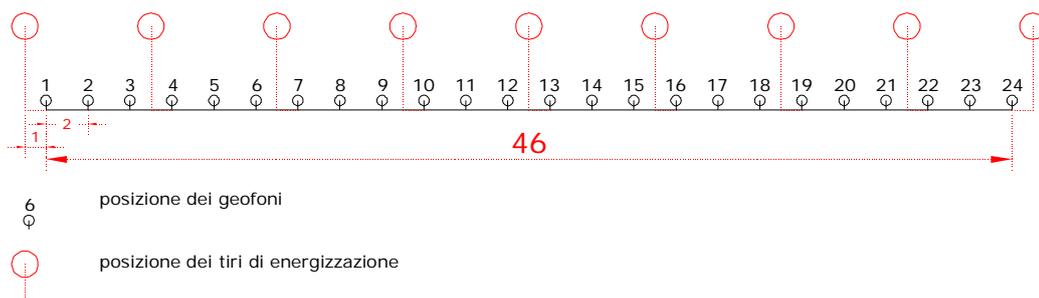
Il metodo della *tomografia sismica di superficie* è una tecnica d'indagine che permette di superare alcune limitazioni di cui soffre sia la classica sismica a rifrazione sia la *tomografia sismica s.s. (cross-hole)*.

Infatti, mediante una differente distribuzione dei punti di *energizzazione* lungo lo *stendimento sismico*, è possibile l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo che offre la possibilità di ricostruire anomalie localizzate e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse.

Questa tecnica fornisce l'immagine della distribuzione della velocità delle onde sismiche al di sotto della superficie, basandosi sui tempi di primo arrivo (come nella normale sismica a rifrazione) e sulla geometria di acquisizione.

Al fine di acquisire la quantità di dati necessari per il corretto impiego delle tecniche di interpretazione tomografica, la levata è stata eseguita mediante la predisposizione di 9 punti di energizzazione disposti lungo lo stendimento secondo il seguente schema:

### stendimento tipo



Quindi mediante la differente distribuzione dei punti di energizzazione si ricostruisce un modello di velocità che, mediante un software dedicato, è migliorato attraverso successive iterazioni. La fase di calcolo termina quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati per il modello proposte e quelli misurati dall'operatore geofisico.

Il processing dei dati, che in questo caso è stato eseguito con l'impiego del software RAYFRACT, prosegue con un processo di inversione tomografica detta WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.

Poi, mediante la successiva fase di imaging, nell'elaborazione della quale si fa ricorso a un software dedicato (*Surfer 10*), si ottiene la sezione sismica tomografica che rappresenta la variazione della velocità di propagazione dell'onda sismica lungo l'allineamento investigato.

## 2.1. Sistema di acquisizione

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando un sistema composto dalle seguenti parti:

- sismografo
- sorgente energizzante
- trigger
- apparecchiatura di ricezione



Foto n. 2 Il sismografo utilizzato per questa indagine

## 2.2. Elaborazione dati

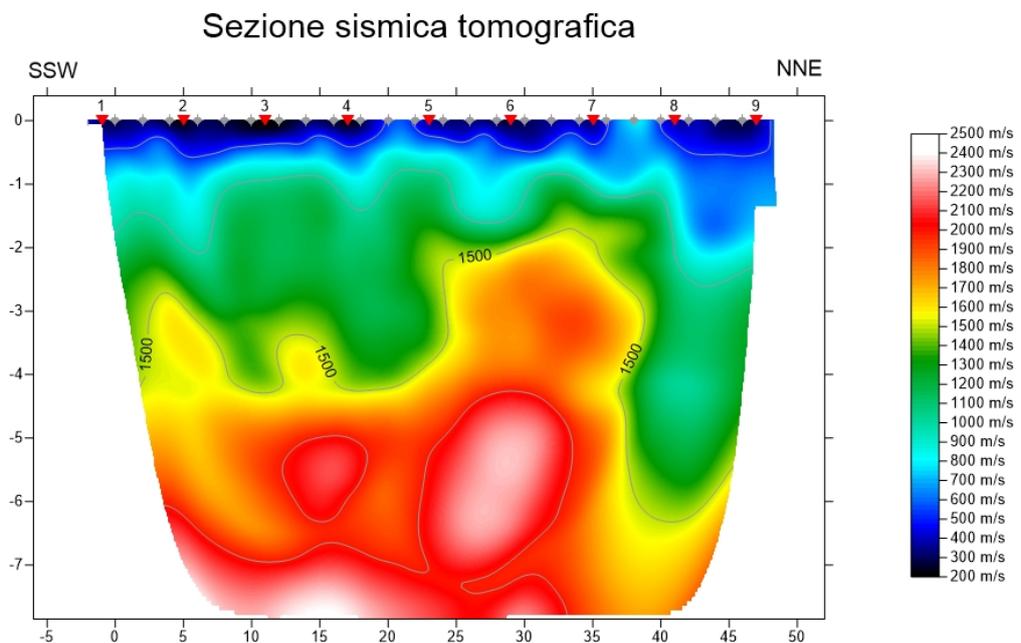
L'elaborazione dei dati si è sviluppata attraverso le seguenti fasi:

- a) formazione di un database contenente la geometria della linea sismica (posizione altimetrica e planimetrica dei geofoni e degli scoppi) e i tempi di primo arrivo per ciascuno scoppio.
- b) conversione dei dati in formato ASCII.
- c) inversione Delta t-V per la ricostruzione dei profili monodimensionali (1D) di tipo profondità/velocità.
- d) ottimizzazione del profilo, per iterazioni successive, mediante inversione tomografica WET (*Wavepath Eikonal Traveltime*), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.
- e) controllo del "fitting" tra tempi misurati e tempi calcolati ed eventuale reiterazione del processo di inversione.
- f) output grafico della sezione tomografica in formato *Surfer*.

### 2.3. Risultato della tomografia sismica di superficie

Il risultato che si consegue con una prova di sismica tomografica è costituito da una sezione che, con scala colorimetrica, individua le differenti caratteristiche meccaniche dei materiali presenti lungo la sezione analizzata, nella quale:

- in ascisse è indicata la lunghezza dello stendimento
- in ordinata la quota slm.



Sassari, La Crucca-Baiona 28/06/2023

il tecnico geofisico  
dott. Luciano Puddu

tomografia Unali, 200 WET iterations, RMS error 1.4 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.32

Analizzando il tomogramma derivante dall'analisi della variazione delle velocità dei raggi sismici generati nel corso della prova, si può suddividere la sezione in tre differenti porzioni che, dall'alto verso il basso, sintetizzano la situazione litostratigrafica nonché la variabilità dello spessore di ciascuno strato.

In linea di massima si nota:

- un primo orizzonte con  $V_p < 400$  m/s con spessore di circa 0.5 metri, corrispondente ai materiali arenati costituenti il soprassuolo e il terreno agrario;
- sottostante a questo primo orizzonte è presente uno strato di spessore plurimetrico con  $V_p$  compresa tra 500 e 1.500 m/s che dovrebbe corrispondere alla presenza della facies alterata e +/- fratturata del substrato litoide o, anche, alla presenza di una formazione detritica;
- successivamente la  $V_p$  aumenta a indicare il conseguimento del substrato roccioso.

La profondità d'indagine è stata di circa 8 metri.

### **3. LA PROVA MASW**

Com'è noto, l'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh mediante la prova MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una efficiente e accreditata metodologia di sismica attiva ampiamente utilizzata per la determinazione delle velocità delle onde di taglio Vs.

Tale metodologia utilizza le onde superficiali di Rayleigh generate artificialmente e registrate da una serie di geofoni disposti lungo uno stendimento rettilineo e collegato a un normale sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, registrate lungo lo stendimento di geofoni, sono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, simili alla tecnica SASW, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di un'indagine sismica MASW prevede quattro passi fondamentali:

1. Acquisizione multicanale dei segnali sismici generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni;
2. Estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione);
3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle Vs (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posto nel punto medio di ogni stendimento geofonico);
4. Eventuale ricostruzione di una sezione (modello 2D) delle Vs dei terreni con approccio multicanale (qualora si eseguissero almeno due acquisizioni dei segnali, ovvero uno spostamento lungo la linea dello stendimento).

Quando sono generate onde sismiche usando una sorgente impattante, come un martello su una piastra, sono generate sia onde di volume (P ed S), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni. Alcune di queste onde sono riflesse e disperse e diventano rumore quando incontrano oggetti superficiali o poco profondi (ad esempio, fondazioni di edifici, canali sotterranei, trovanti lapidei, ecc.).

Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana.

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella sua intrinseca capacità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni.

### *Analisi del segnale con tecnica MASW*

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica, il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale.

L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato, dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

A partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, è possibile simulare la curva di dispersione teorica che lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno.

I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda.

Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

### **3.1. Profilo Sismico “M.A.S.W.”**

L'indagine, finalizzata alla determinazione del profilo verticale di velocità delle Onde di taglio (Onde S), è stata condotta secondo la metodologia MASW (“Multichannel Analysis of Surface Waves”).

Tale metodologia sismica permette, tramite l'acquisizione di registrazioni multicanale delle onde superficiali di Rayleigh generate da masse battenti, la generazione di un profilo Vs in funzione della profondità.

L'intero processo ha comportato tre passi successivi:

- a) acquisizione dei dati di campo delle onde superficiali (“ground roll”) mediante idonea strumentazione sismica;
- b) costruzione di una curva di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- c) inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs che descrive la variazione di Vs con la profondità.

Per ottenere un profilo Vs è necessario produrre un treno di onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore.

L'inversione della curva di dispersione è stata realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta sia per la procedura dei minimi quadrati.

### **3.2. Sistema di acquisizione**

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando un sistema costituito dai medesimi componenti già utilizzati per l'acquisizione dei dati della sismica tomografica, ovvero:

- sismografo
- sorgente energizzante
- trigger
- apparecchiatura di ricezione

#### 4. RISULTATI DELLA PROVA M.A.S.W.

Qui di seguito sono descritti i risultati conseguiti con la prova M.A.S.W. dove, mediante tabelle e grafici, è illustrata la successione degli step interpretativi dal dato di partenza sino al risultato intermedio e finale dell'indagine effettuata.

##### 4.1. Dati generali

<b>Committente</b>	dott. Fausto Pani
<b>Cantiere</b>	Impianto fotovoltaico Unali
<b>Località</b>	La Crucca - Baiona
<b>Operatore</b>	Marcella
<b>Responsabile</b>	Luciano
<b>Zona</b>	La Crucca . Baiona
<b>Data</b>	28/06/2023 10:22
<b>Latitudine</b>	40.7853
<b>Longitudine</b>	8.3581



Foto n. 3 Localizzazione dell'area d'intervento (da Google Earth)

#### 4.2. Tracce sismiche

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	1996.8
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	0.128

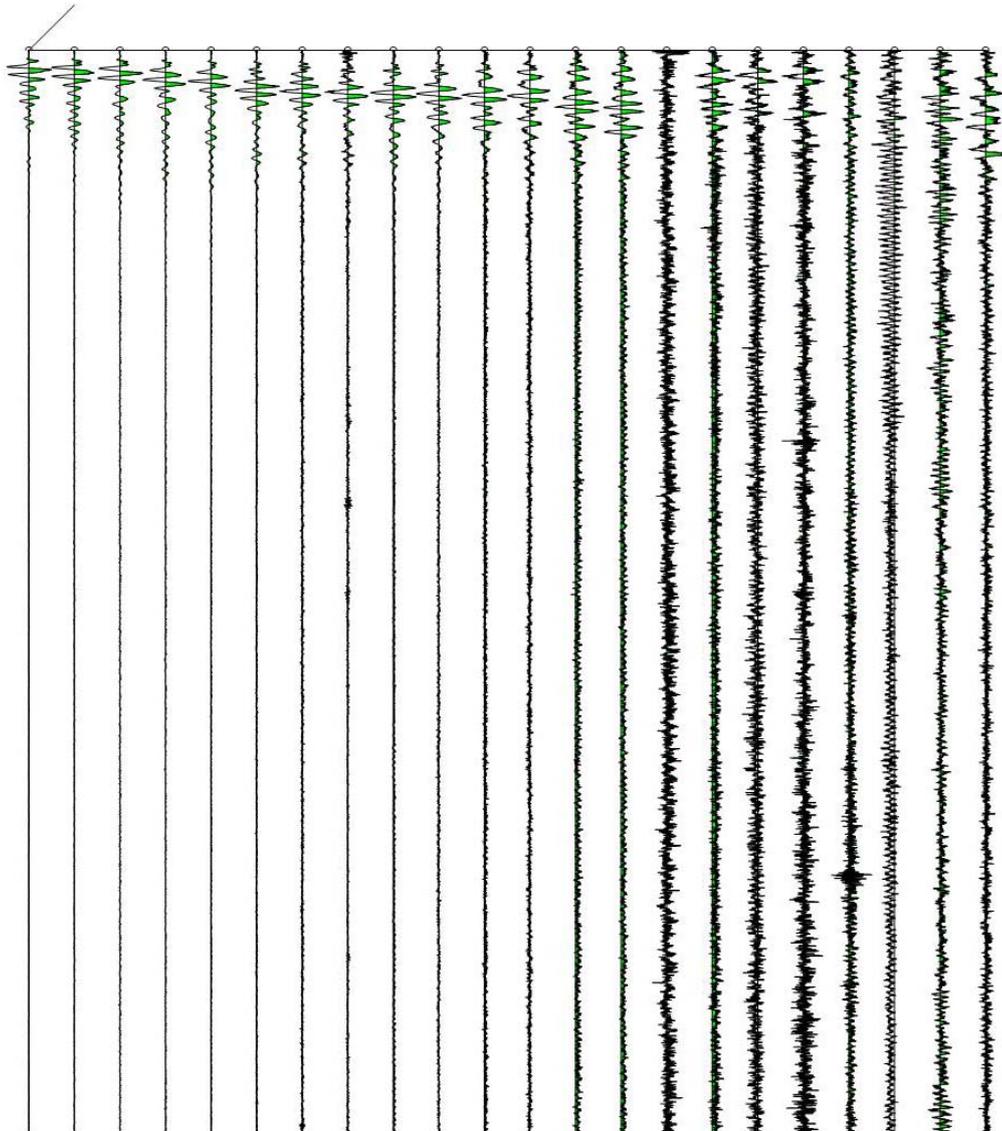


Grafico n. 1 Le tracce sismiche acquisite nel corso delle misure.

### 4.3. Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	1200
Intervallo velocità [m/sec]	1

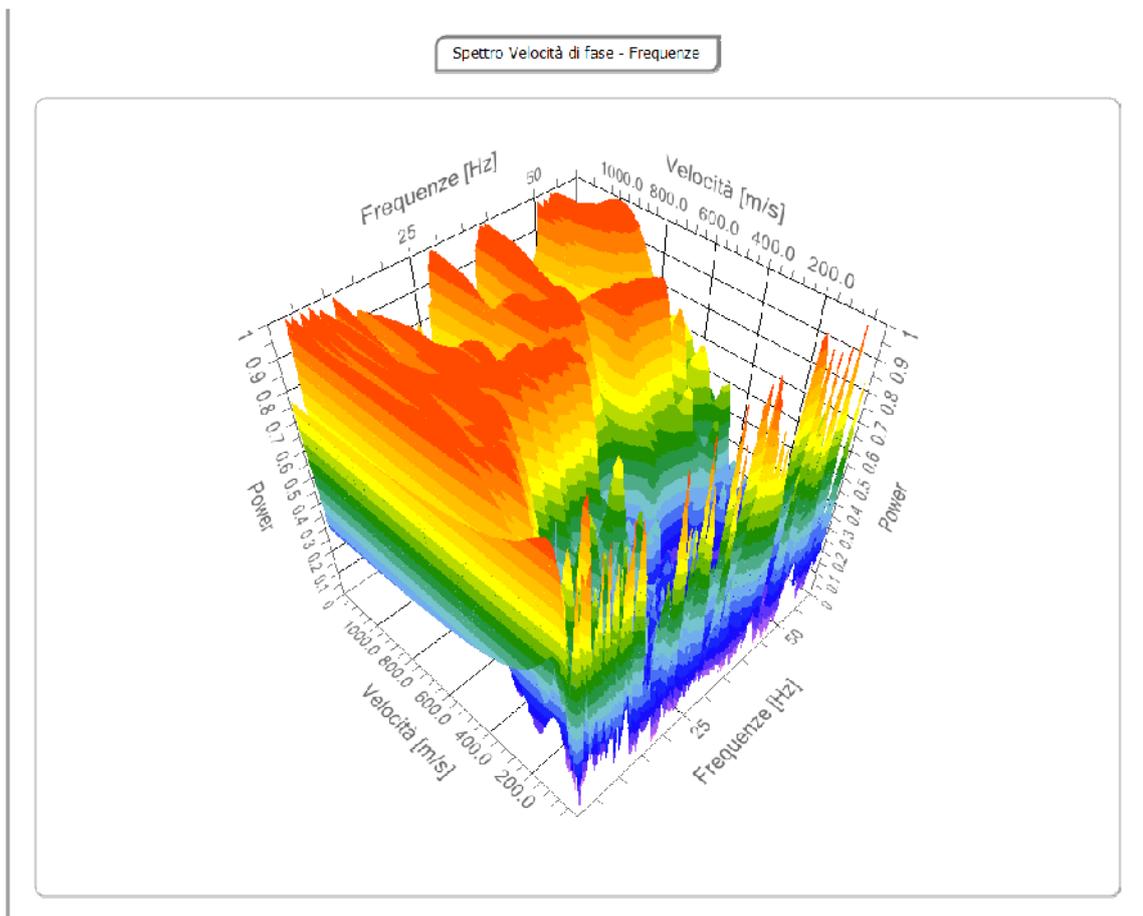
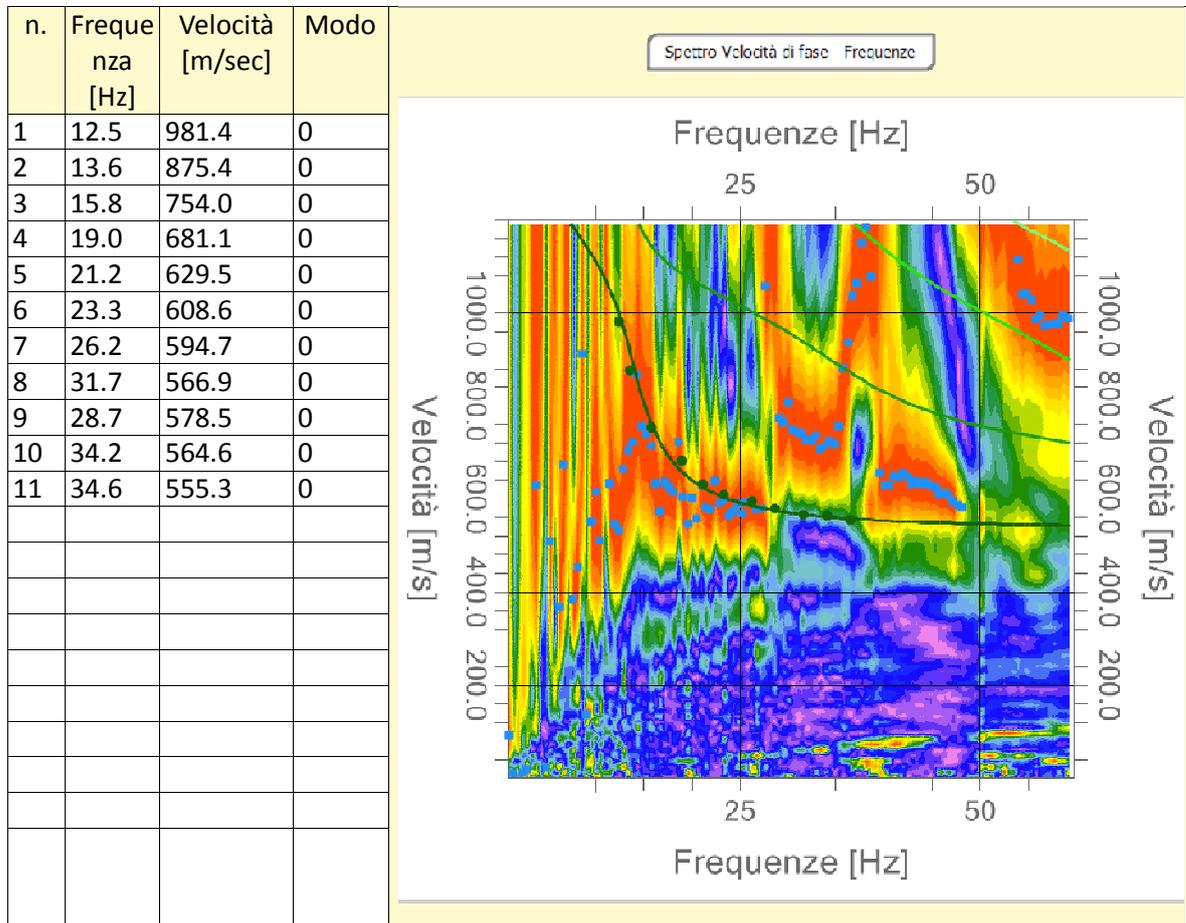


Grafico n. 2 Rappresentazione 3D della variazione delle velocità registrate.

**4.4. Curva di dispersione**



**4.5. Inversione**

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	terreno agrario	1.49	1.49	1800.0	0.30	No	580.0	310.0
2	detrito di versante	7.33	5.84	1800.0	0.30	No	1184.7	633.3
3	carbonati +/- fratturati ?	21.29	13.96	1800.0	0.30	No	1357.5	725.6
4	substrato carbonatico ?	oo	oo	1800.0	0.30	No	2778.8	1485.3

Percentuale di errore

0.015 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.011

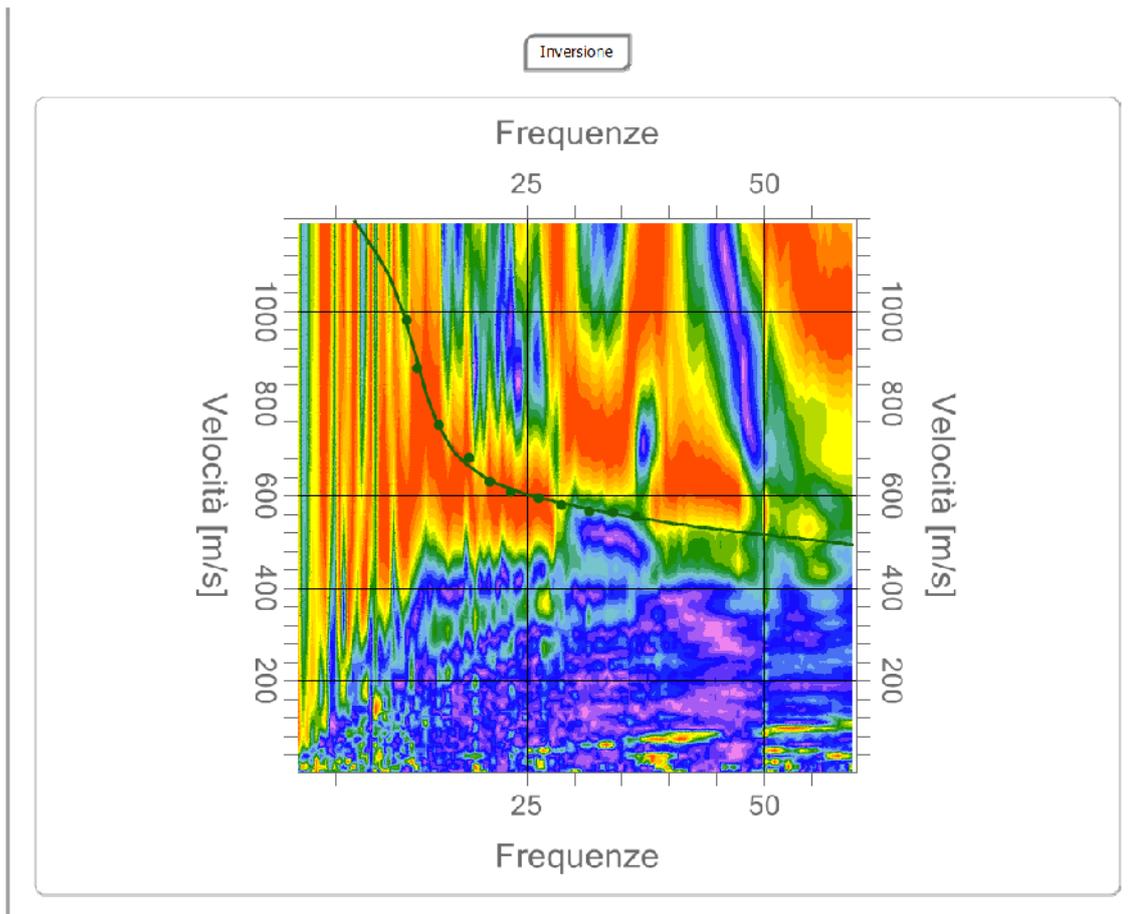


Grafico n. 3    Rappresentazione del risultato ottenuto dal processo di inversione

#### 4.6. Profilo di velocità e sismostratigrafia

I grafici che seguono rappresentano il risultato dell'analisi spettrale e delle successive elaborazioni, dove in ascissa è rappresentata la velocità della Vs e in ordinata la profondità.

Il profilo indicato con il colore nero è quello con il minimo errore percentuale; con i colori dal rosso al blu (vedi scala colorimetrica) sono rappresentati tutti i profili analizzati.

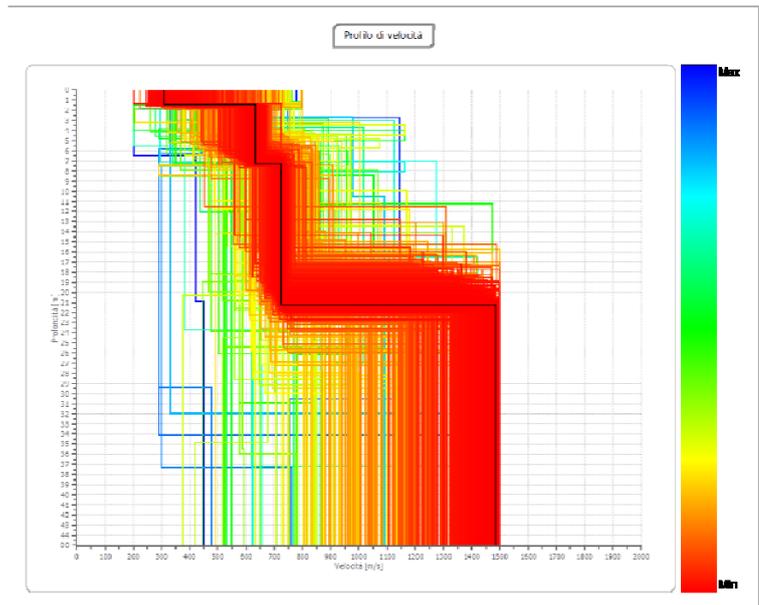
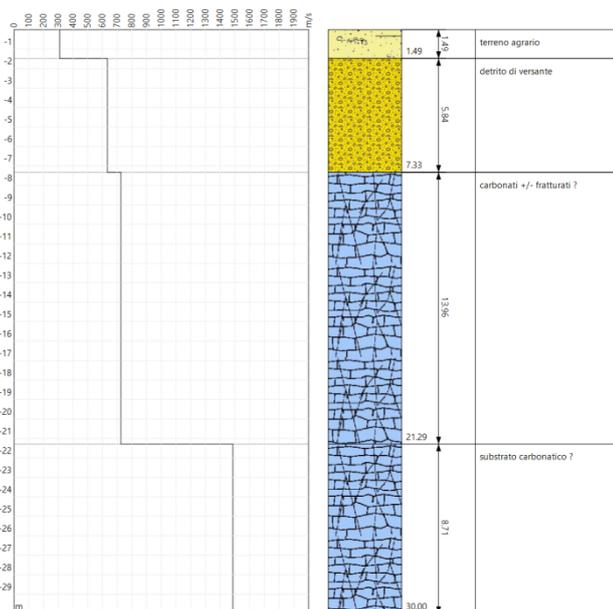


Grafico n. 4 Rappresentazione di tutti i profili analizzati.



Questo grafico ipotizza la successione stratigrafica del sito, così come desumibile dall'associazione dei dati sismici con quanto noto sulla situazione geologica locale.

Grafico n. 5 Ipotesi di stratigrafia del sito desumibile dall'indagine sismica.

## 5. CALCOLO DEL MODELLO GEOFISICO DEL SOTTOSUOLO

Come si evince dalla sezione *Risultati*, per la determinazione del profilo sismico si è proceduto al calcolo del periodo ( $T$ ) e delle  $Vs_{30}$ , utilizzando le formule proposte dalla normativa, dove quest'ultima prevede che il calcolo del periodo  $T$  necessario all'utilizzo della scheda di valutazione sia calcolato utilizzando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore delle  $Vs$  è uguale o superiore a 800 m/s e utilizzando l'equazione:

$$T = \frac{4x \sum_{f=1}^n h_i}{\frac{\sum_{f=1}^n Vs_i x h_i}{\sum_{i=1}^n h_1}}$$

A partire dal modello sismico monodimensionale riportato nella descrizione della prova eseguita, è stato calcolato il valore delle  $Vs_{30}$ , che rappresenta la "velocità equivalente" di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio.

Per il suo calcolo si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.09.2005, nel D.M. 14.01.2008 ("Norme tecniche per le costruzioni") e nel D.M. 17.01.2018 ("Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"), secondo cui la classificazione del sottosuolo si esegue in base alle condizioni stratigrafiche e ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $Vs_{eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$Vs_{30,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{H_i}{Vs,i}}$$

con:

$h_i$  spessore dell' $i$ -esimo strato;

$Vs,i$  velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $Vs$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $Vs_{eq}$  è definita dal parametro  $Vs_{30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Da cui, a seguito dell'analisi sismica eseguita, applicando quanto previsto dalla NTC 2018, per una fondazione posta alla profondità di 0.00 m dal piano di campagna, si ottiene il seguente risultato:

Profondità piano di posa [m]	<b>0.00</b>
Vs,eq (m/sec) (H=21.29 m)	<b>640.10</b>
Categoria del suolo	<b>B</b>

**Suolo di tipo B:** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

### Altri parametri geotecnici

(ottenuti per interpolazione di dati presunti)

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.49	1.49	310.00	579.96	1800.00	0.30	172.98	605.44	374.80	449.76	N/A	N/A
2	7.33	5.84	633.25	1184.71	1800.00	0.30	721.82	2526.35	1563.93	1876.72	N/A	N/A
3	21.29	13.96	725.62	1357.52	1800.00	0.30	947.75	3317.14	2053.47	2464.16	N/A	N/A
4	oo	oo	1485.34	2778.82	1800.00	0.30	3971.22	13899.27	8604.31	10325.17	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young

## 6. CONCLUSIONI

Pertanto, ai fini della definizione del valore del parametro  $V_{s,eq}$  secondo le nuove “Norme Tecniche NTC 2018 per il progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni”, sulla base della prova MASW eseguita, per un **piano di posa posto alla quota di 0,00 m** (riferito al piano di campagna), i materiali presenti lungo la sezione investigata sono classificati come suoli di **classe B**.

<i>Prospezione sismica attiva</i>	<i>H</i> (m)	<i>V<sub>s,eq</sub></i> (m/s)	<i>Categoria Suoli di Fondazione</i> (D.M. 17 gennaio 2018)
<b>MASW 01</b>	<b>21.29</b>	<b>640.10</b>	<b>B</b>

E' comunque da tenere nella dovuta considerazione che all'approfondirsi del piano di posa corrisponde un progressivo miglioramento delle proprietà meccaniche dovuto alla minore distanza che intercorre tra il piano di posa e la quota del bed-rock.

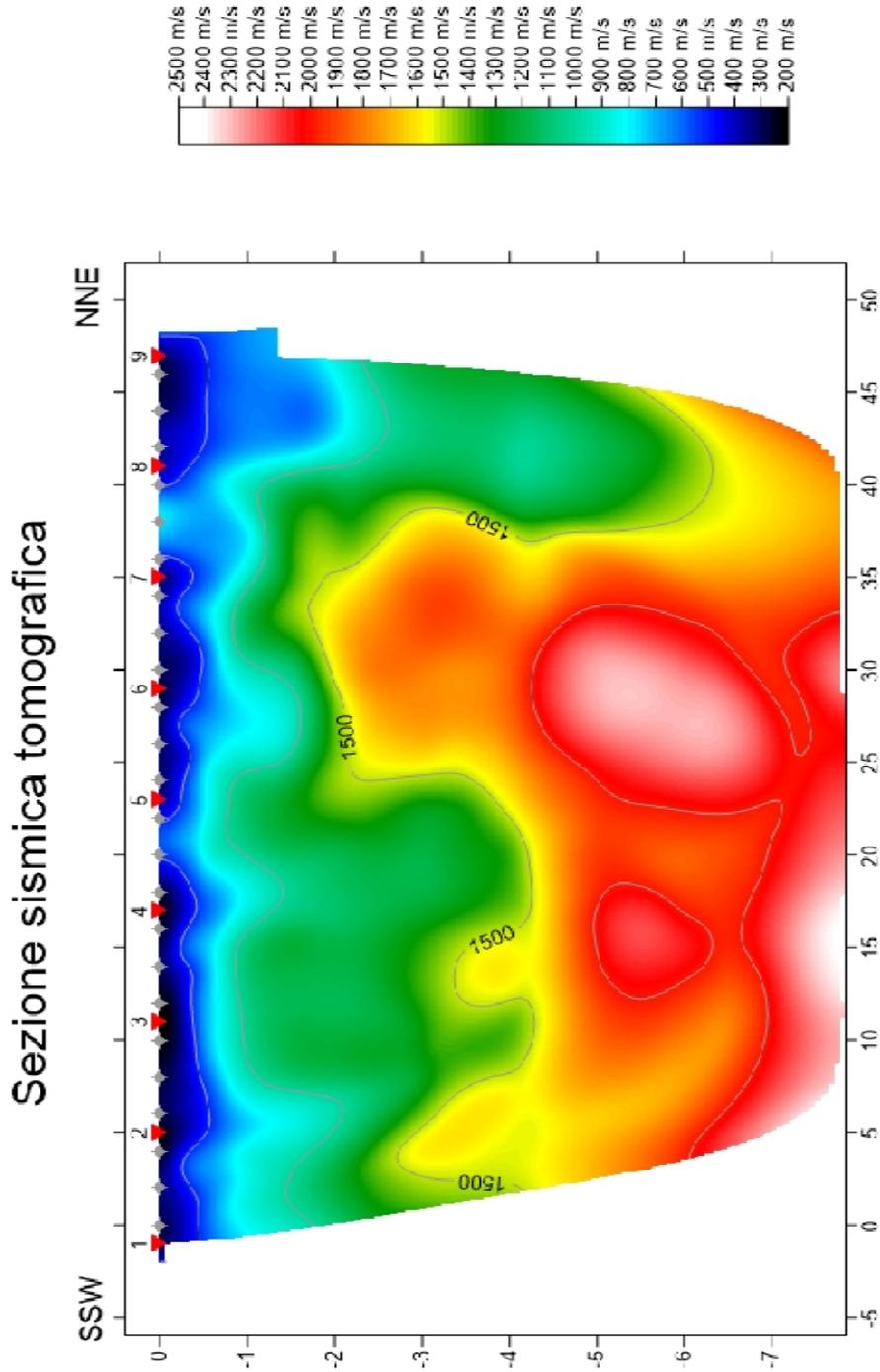
Come però evidenziato nella sottostante tabella, la categoria dei suoli di fondazione resta costante.

<b>Prospezione sismica attiva MASW</b>			
<b>profondità del piano di posa</b> (m)	<b>H</b> (m)	<b>V<sub>s,eq</sub></b> (m/sec)	<b>Categoria del suolo</b>
0.50	20.79	656.92	<b>B</b>
1.00	20.29	675.55	<b>B</b>
1.50	19.79	695.73	<b>B</b>
2.00	19.29	697.51	<b>B</b>
3.00	18.29	701.40	<b>B</b>
4.00	17.29	705.79	<b>B</b>
5.00	16.29	710.79	<b>B</b>

GIUGNO 2023



dott. Luciano Puddu



il tecnico geofisico  
dott. Luciano Puddu

Sassari, La Crucca-Balone 28/06/2023

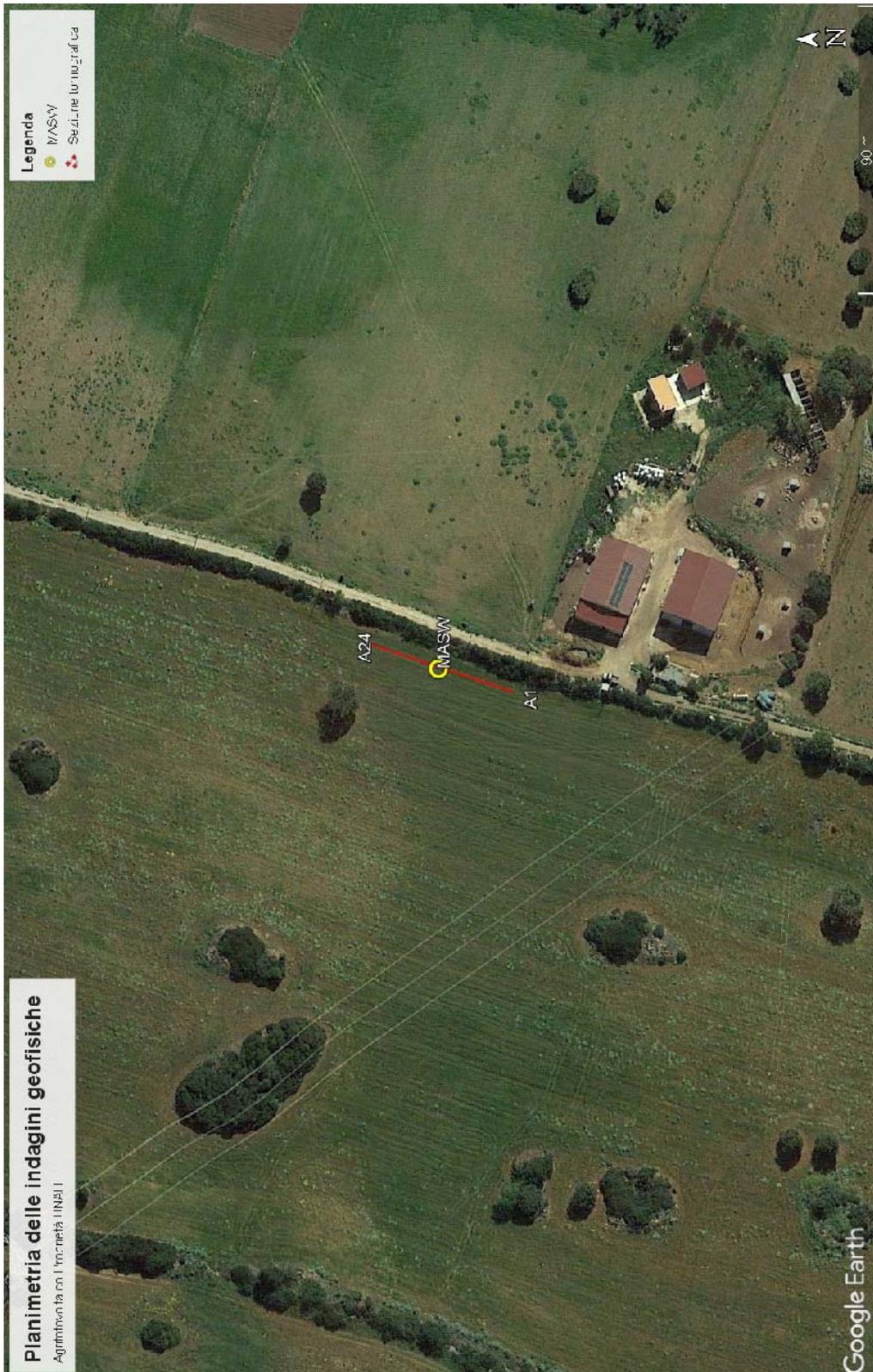
tomografia Unali, 200 WET iterations, RMS error 1.4 %, 1D-Gradient smooth initial model, Version 3.32

Indagine Geofisica:

- Sezione sismica tomografica
- Prova di sismica attiva MASW

Località: **Proprietà UNALI**  
*La Crucca – Baiona (SS)*

Cliente: **dott. Fausto Pani**



## REPORT FOTOGRAFICO



Foto n. 4 La stesa geofonica vista dal geofono n. 12



Foto n. 5 La stesa geofonica vista dal centro dello stendimento verso il geofono 24