



COMUNI DI GELA
PROVINCIA DI CALTANISSETTA
REGIONE SICILIA

PROGETTO DEFINITIVO DI UN IMPIANTO AGRI-FOTOVOLTAICO
DI POTENZA DI PICCO P=83'051.28 kWp CON SISTEMA DI
ACCUMULO PER UNA POTENZA DI IMMISSIONE COMPLESSIVA
PARI A 100'000 kW

Proponente

Gela Solar Power Srl

CF e PI: 11947660961

Via Dante 7 (20123) - Milano (MI)

Progettazione

Preparato
Carlo Cassaniti

Verificato
Carlo Cassaniti

Approvato
Carlo Cassaniti

PROGETTAZIONE DEFINITIVA

Titolo elaborato

IMPIANTO FOTOVOLTAICO
RELAZIONE GEOLOGICA

Elaborato N.

R022

Data emissione

11/08/2022

Nome file

RS06REL0022A0

N. Progetto

ENE059

Pagina

COVER

00

REV.

11/08/22

DATA

PRIMA EMISSIONE

DESCRIZIONE

SOMMARIO

1. PREMESSA.....	1
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO	2
3. QUADRO GEOLOGICO E STRATIGRAFIA DEI TERRENI	14
4. ASSETTO IDROGEOLOGICO E PERMEABILITA' DEI TERRENI.....	19
5. SISMICITA' DELL'AREA	22
6. INDAGINI GEOFISICHE.....	26
6.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	27
6.2 PROVA SISMICA ATTIVA TIPO M.A.S.W.	28
6.2.1 RISULTATI PROVE M.A.S.W.	31
6.3 PROVA SISMICA ATTIVA A RIFRAZIONE CON ELABORAZIONE TOMOGRAFICA.	43
6.2.2 RISULTATI TOMOGRAFIE SISMICHE A RIFRAZIONE.....	45
6.4 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	49
7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	53

ALLEGATI:

- Carta del dissesto idrogeologico – PAI 2021 (scala 1:10.000)
- Carta della pericolosità Idraulica – PGRA 2021 (scala 1:10.000)
- Carta del Rischio Idraulico - PGRA 2021 (scala 1:10.000)
- Carta geologica (scala 1:5.000)
- Carta geologica (scala 1:5.000)
- Carta sismica

1. PREMESSA

Su commessa conferita dalla Ditta GELA SOLAR POWER srl, relativamente alle attività a supporto del progetto di costruzione di impianti energetici rinnovabili nel territorio comunale di GELA (CL), lo scrivente professionista ha svolto le prestazioni professionali inerenti gli studi geologici.

In particolare sono stati condotti diversi sopralluoghi ed indagini conoscitive su vincolistica di natura geologica al fine di ricostruire l'assetto geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico dell'area interessata dalle opere in progetto.

Sono stati pertanto sviluppati i seguenti punti:

- Inquadramento geografico e geomorfologico
- Quadro geologico e stratigrafica dei terreni
- Assetto idrogeologico e permeabilità dei terreni
- Sismicità dell'area
- Indagini geofisiche
- Considerazioni conclusive

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO

Il layout progettuale prevede la realizzazione di tre campi fotovoltaici realizzati a nord del centro abitato di Gela e distribuiti su due “Macro-Aree”.

La prima macro-area è localizzata in contrada “Taviana”. Essa confina ad est con la SP 8 e a nord con la SP 83, la quale funge da collegamento con la seconda macro-area; la superficie che verrà messa a disposizione per la realizzazione dell’impianto agro-fotovoltaico sarà di circa Ha 29 interessando i fogli di mappa 71-72-73-74-75 del Comune di Gela.

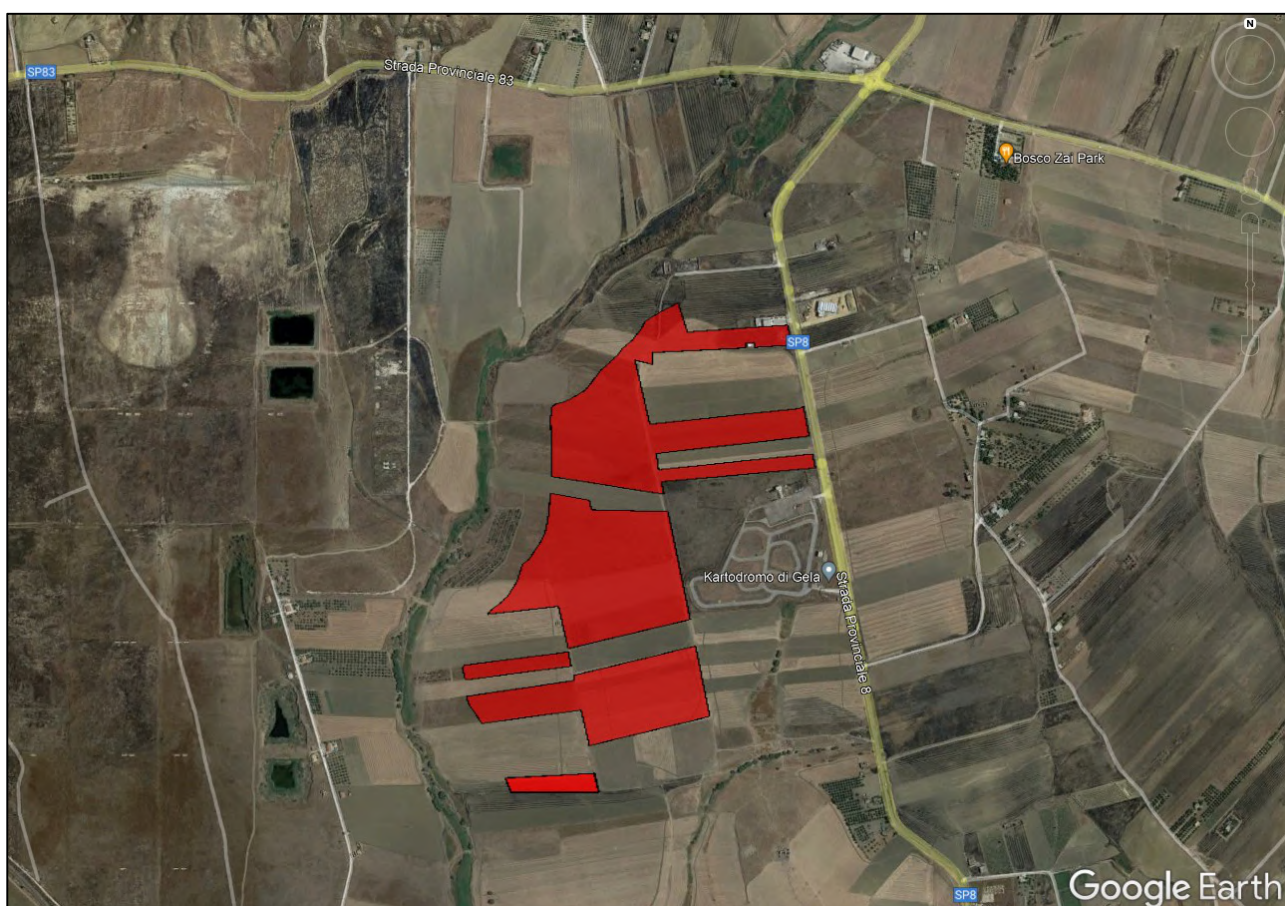


Figura 2.1 – Inquadramento della MACRO-AREA 1 (da google Earth)

Il territorio è tipicamente pianeggiante, con la presenza di un impluvio principale che si sviluppa ai margini nord e ovest dell’area di progetto. Il vincolo prodotto da tale corso d’acqua è stato valutato sin dalla progettazione preliminare, influenzando il layout finale degli impianti in progetto (Fig. 2.1).

La seconda area è localizzata in contrada “Casalini” ed ospita i Campi 2 e 3 del progetto. Si presenta anch’essa tipicamente pianeggiante e risulta essere attraversate (in maggior misura in corrispondenza del campo 3) da impluvi a gerarchia secondaria che saranno oggetto di successiva regimentazione idraulica. Il sito interessa i fogli 72-73-74-75 del Comune di Gela su una superficie di circa Ha 114 (Fig. 2.2).

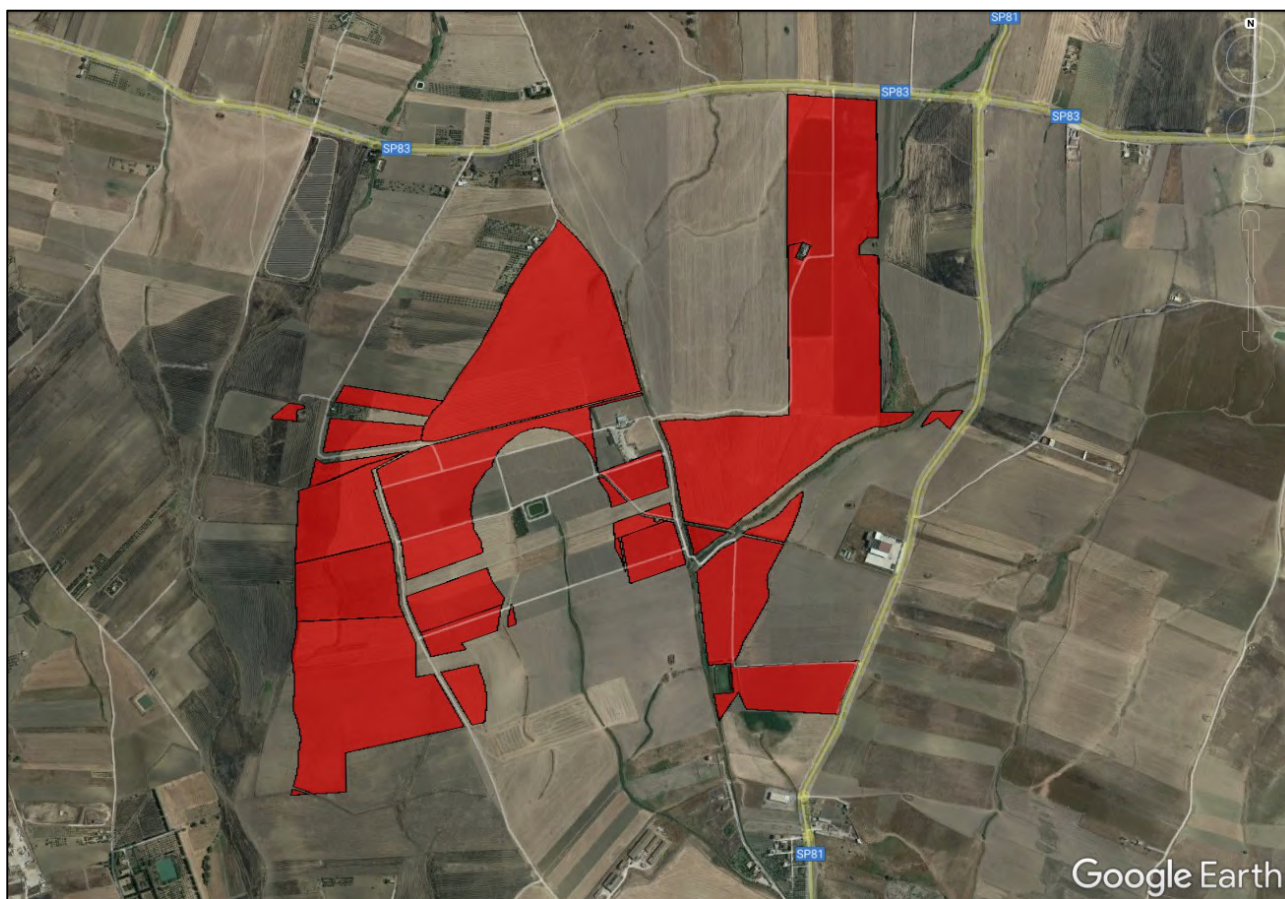


Figura 2.2 – Inquadramento della MACRO-AREA 2 (da google Earth)

In un contesto generale la fisiografia dell’area ricalca fedelmente la litologia del substrato ed è il prodotto dell’interazione dei fattori strutturali, climatici e dello stadio raggiunto dai cicli morfogenetici che si sono succeduti nel tempo. I terreni offrono resistenze diversificate all’azione degli agenti esogeni in funzione dei litotipi, pertanto le forme che ne derivano si presentano disomogenee, talvolta arrotondate, talvolta smussate e i declivi si presentano sia aspri, sia estremamente addolciti.

L’area di studio in un contesto geomorfologico generale ricade all’interno di due diversi bacini idrografici, rispettivamente: il Campo 1 ricade all’interno dell’*Area Territoriale tra il bacino del*

Fiume Gela e il bacino del Torrente Comunelli (076); i Campi 2 e 3 ricadono all'interno del Bacino del Fiume Gela e area territoriale tra il bacino del Fiume Gela e il bacino del Fiume Acate (077).

In particolare l'area territoriale tra il bacino del Fiume Gela e il bacino del Torrente Comunelli (076) è localizzata a sud-ovest dei Monti Erei; questi ultimi, che dalla Catena delle Madonie scendono verso SSE fino all'altopiano Ibleo, costituiscono lo spartiacque naturale della Sicilia centro-meridionale tra i bacini idrografici i cui corsi d'acqua hanno foce nel Mare Ionio e quelli che sboccano nel Mar Mediterraneo - Canale di Sicilia. Nello specifico, la suddetta area occupa una superficie complessiva di 88,74 Km² e presenta una forma triangolare con la base in corrispondenza della costa meridionale; i bacini idrografici con i quali confina sono, procedendo in senso orario, i seguenti:

- nel settore orientale con il bacino del Fiume Gela;
- nel settore occidentale con il bacino del Torrente Comunelli.

Il Bacino del Fiume Gela e l'area territoriale tra il bacino del Fiume Gela e il bacino del Fiume Acate (077) sono contigui alla precedente ed occupano una superficie complessiva di 595,92 Km². Il bacino del Fiume Gela, in particolare, presenta una forma allungata in direzione N – S che si allarga verso est nella sua porzione centrale; i bacini e le aree territoriali con i quali confina sono, procedendo in senso orario, i seguenti:

- nel settore nord-occidentale con il bacino del Fiume Imera meridionale;
- nel settore nord-orientale con il bacino del Fiume Simeto;
- nel settore sud-orientale con il bacino del Fiume Acate;
- nel settore sud-occidentale con il bacino del Torrente Comunelli e con l'Area territoriale tra il bacino del Fiume Gela e il bacino del Torrente Comunelli.

L'assetto morfologico di entrambi questi bacini idrografici è prevalentemente collinare nella sua parte settentrionale, mentre nella zona meridionale risulta pianeggiante in corrispondenza della Piana di Gela. Le morfologie blande con dolci pendenze sono tipiche degli affioramenti argillosi, il più delle volte solcate da corsi d'acqua che in zone di anticlinale producono il tipico fenomeno di "inversione del rilievo". Tale morfologia si interrompe ove affiorano le formazioni della Serie Gessoso-Solfifera, dei soprastanti Trubi e delle Calcareniti pleistoceniche messi in evidenza sia dall'erosione differenziale, funzione della litologia dei terreni, sia dell'attività degli

elementi strutturali (faglie) che caratterizzano il settore meridionale dell'isola. In tale contesto si osservano scarpate e versanti ad acclività variabile. L'elemento morfologico predominante in queste aree territoriali risulta essere però la pianura alluvionale di Gela.

L'intensa attività erosiva esplicitasi in tutto il territorio ricadente in quest'area territoriale è da mettere in relazione con il sollevamento avvenuto durante il Quaternario, che ha ringiovanito tutti i corsi d'acqua variandone il profilo d'equilibrio; ciò è testimoniato dalla presenza di terrazzi fluviali a quote altimetriche più alte degli attuali letti dei corsi d'acqua.

Dal punto di vista idrografico l'area in studio vede come corso d'acqua principale il Fiume Gela, il quale nasce da Cozzo Bannata Restivo (m 867,5 s.l.m.) in territorio comunale di Enna, prendendo il nome di Torrente Santa Caterina e si sviluppa per circa 62 Km, assumendo diverse denominazioni. A nord del centro abitato di Piazza Armerina (EN) prosegue il suo corso con il nome di Fiume Nocciara che mantiene fino alla confluenza in destra idraulica con il Fiume di Gozzo (a quota di circa m 560 s.l.m.) in territorio comunale di Piazza Armerina (EN), dalla quale continua con la denominazione di Torrente Nocciara. Quindi, in Contrada Minolto, nel territorio comunale di Mazzarino (CL), nella porzione centrale del suo bacino, prende il nome di Torrente Porcheria e poi di Torrente dei Cassari fino alla confluenza con il Torrente Paparella, uno dei suoi affluenti in destra idraulica, dalla quale continua il suo corso come Fiume Porcheria. Dopo lo sbarramento determinato dalla Diga Disueri prosegue come Fiume Disueri e assume la denominazione definitiva di Fiume Gela alla confluenza con il Lavinaro Tredenari, ad una quota di circa 68 metri s.l.m. in territorio comunale di Gela (CL).

Lungo il suo percorso il Fiume Gela riceve le acque di molti affluenti tra i quali:

- il Fiume Maroglio che nasce presso il centro abitato di Caltagirone (CT) e confluisce in sinistra idraulica nella Piana di Gela a quota di circa 15 metri s.l.m. a pochi chilometri dalla foce; esso rappresenta il principale affluente del Fiume Gela;
- il Vallone del Canonico e il Torrente Passo Lasagna, affluenti minori in sinistra idraulica nella porzione settentrionale del suo bacino;
- il Fiume di Gozzo, il Torrente Spadaro, il Vallone Giardinello, il Torrente Paparella, il Lavinaro Gargheria-Lavinaro Tredenari affluenti in destra idraulica lungo tutto il suo sviluppo verso la foce.

In definitiva, si evince come le aree ricadenti all'interno dei due bacini idrografici in esame risultano essere per lo più drenate da brevi incisioni torrentizie che quasi tutto l'anno sono in regime di magra. Ciò dipende principalmente dalle condizioni climatiche, caratterizzate da brevi periodi piovosi e dai lunghi periodi di siccità che determinano nell'area una generale caratterizzazione stagionale dei deflussi superficiali.

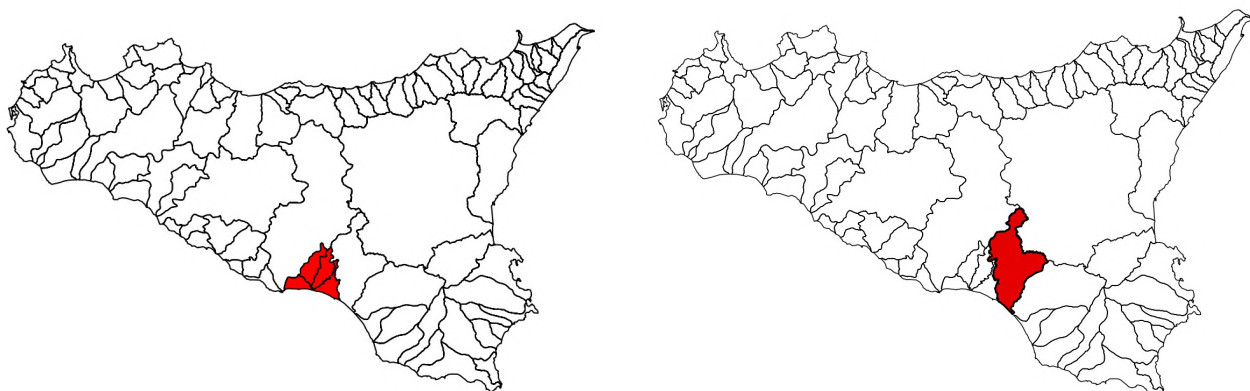


Figura 2.3 – (a sx) Area territoriale tra il bacino del Fiume Gela e il bacino del Torrente Comunelli (076) – (a dx) Bacino del Fiume Gela e Area territoriale tra il bacino del Fiume Gela e il bacino del Fiume Acate (077). (da relazione generale PAI)

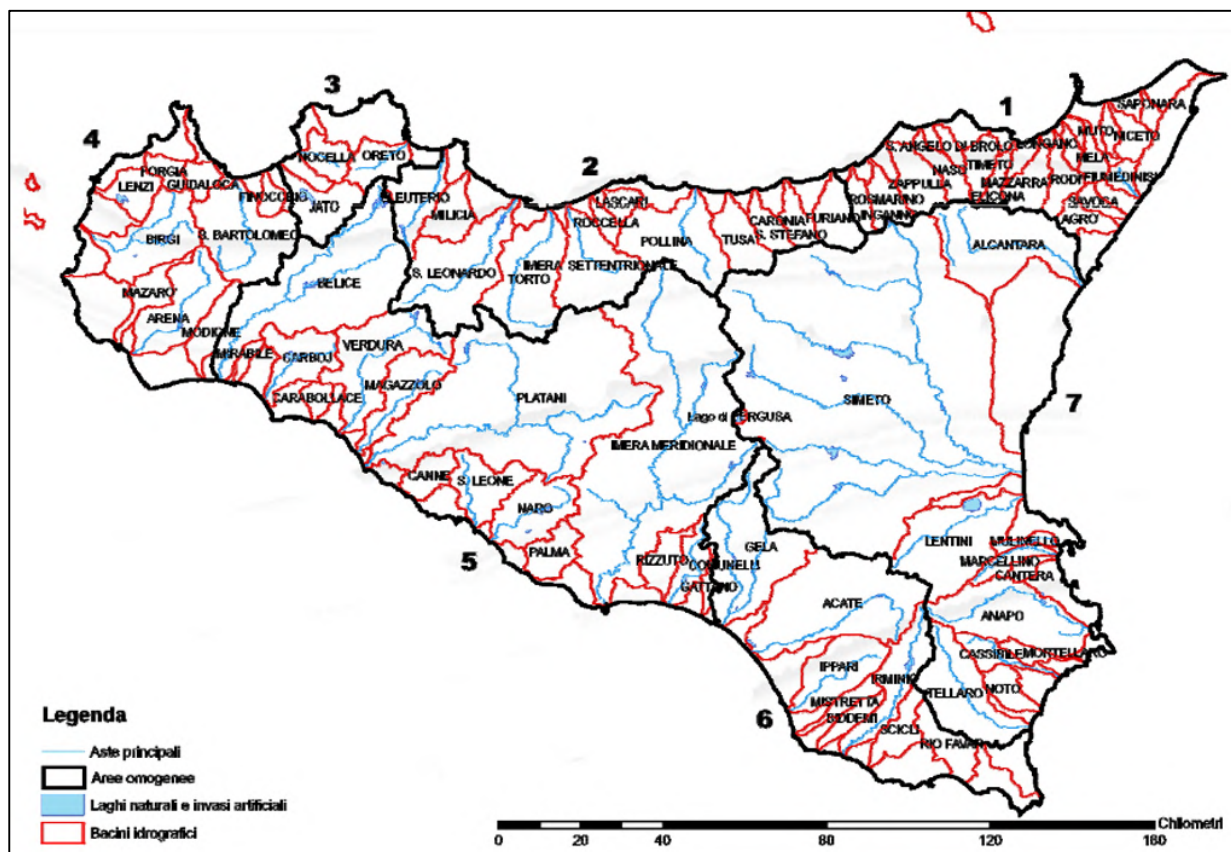


Figura 2.4 – Rete idrografica regionale

Nelle figure a seguire sono state ubicate le opere in progetto all'interno delle due macro-aree:

- nella macro-area 1 ricade per intero il Campo 1 (Fig. 2.5);
- nella macro-area 2 ricadono interamente i Campi 2 e 3 (Fig. 2.7).

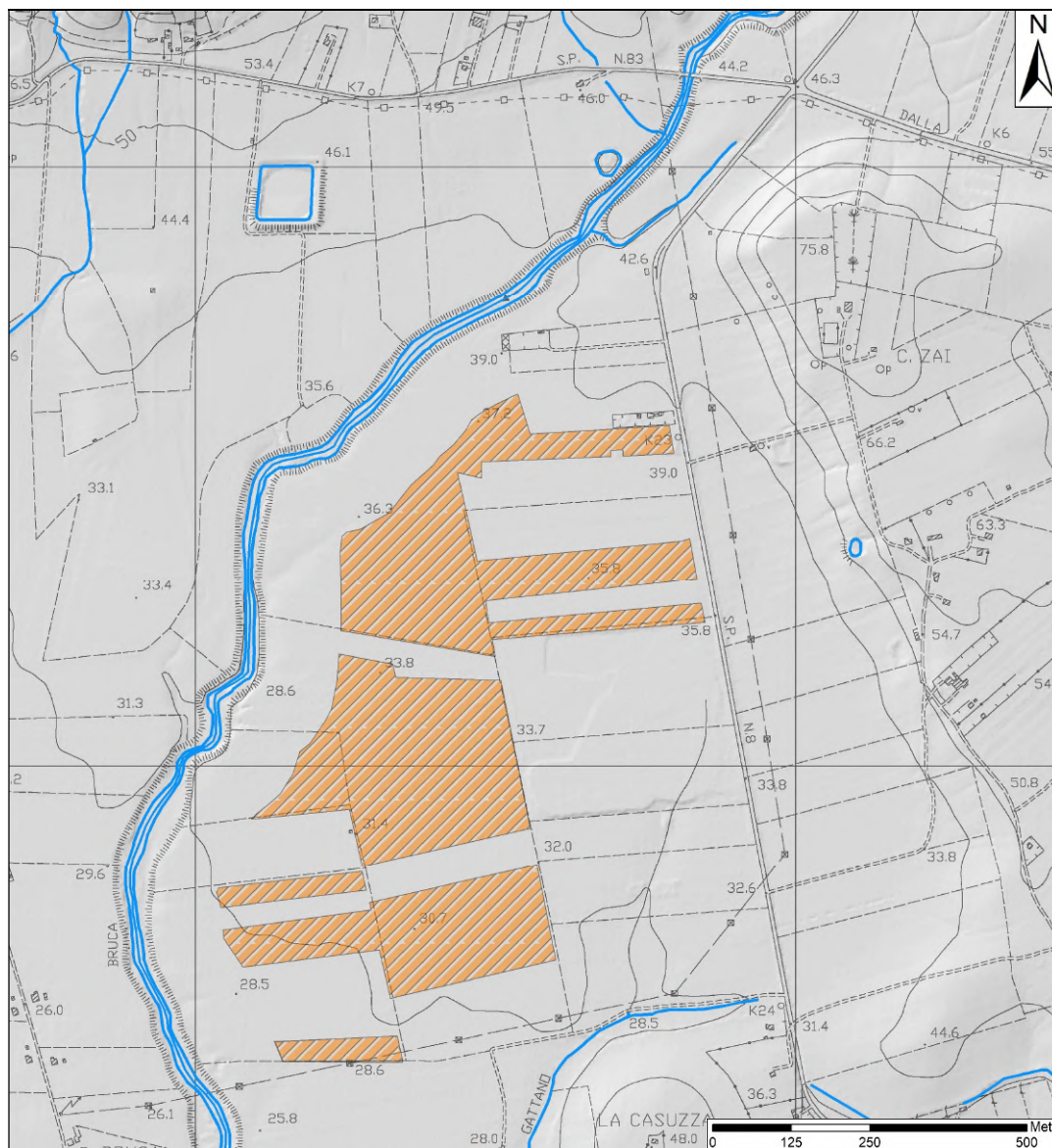


Figura 2.5 – Opere in progetto su reticolo idrografico (MACRO-AREA 1)

In particolare in figura 2.5 è possibile inquadrare il Campo 1 e le opere connesse rispetto al corso del vallone Bruca. Questo elemento morfologico rispecchia fedelmente l'azione erosiva del corso d'acqua nei confronti delle alluvioni terrazzate ivi affioranti. La presenza di tale incisione impone, in fase progettuale, delle valutazioni sulla pericolosità idraulica arrecata dalla presenza di un corso d'acqua rispetto ad opere come quelle previste: da considerazioni puramente

morfologiche e da un'attenta analisi vincolistica (PAI e PGRA 2021), essendo questo per l'appunto un elemento depresso rispetto all'areale circostante, consente di limitare la pericolosità del corso d'acqua (nel ristretto areale delle opere in progetto), rispetto a problematiche quali eventuali ondate di piena e rischio esondazioni (ovvero eventi eccezionali con tempi di ritorno molto lunghi anche in relazione alla relativa importanza dell'asta fluviale di che trattasi), in una zona ristretta e limitata entro le sponde del vallone stesso (come osservabile in Fig. 2.6).

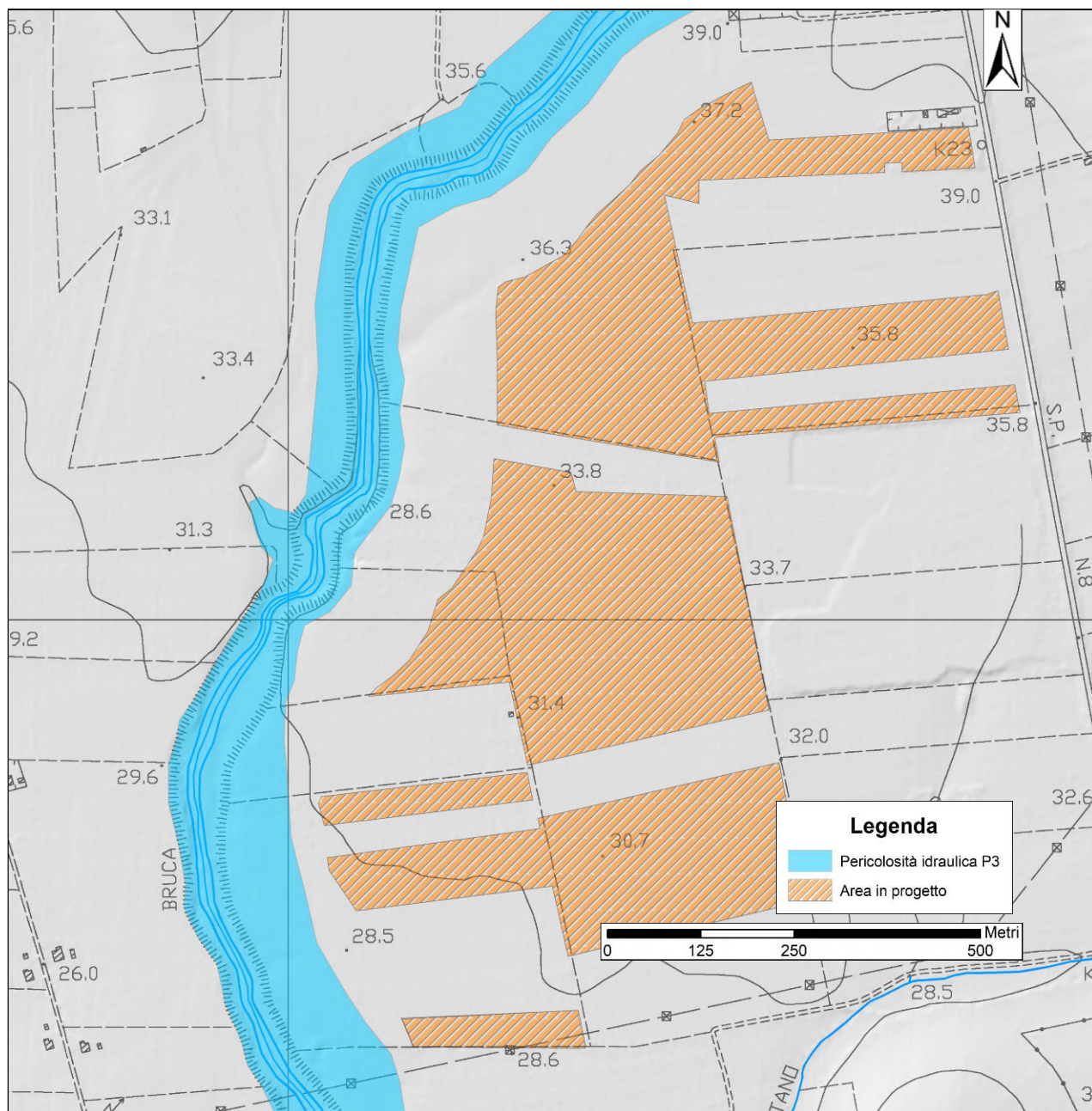


Figura 2.6 – Pericolosità idraulica rispetto alle opere in progetto (MACRO-AREA 1)

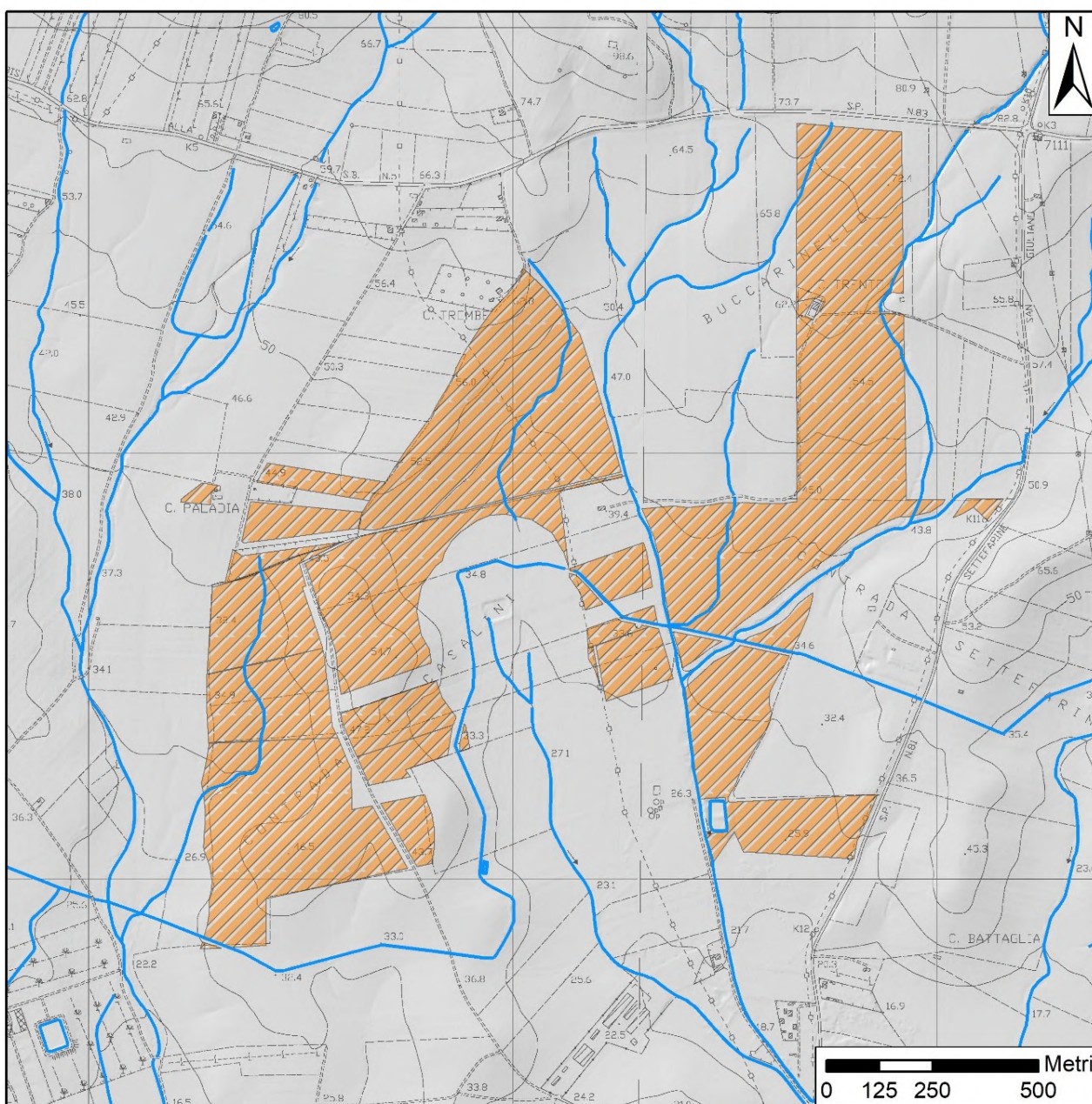


Figura 2.7 – Opere in progetto su reticolo idrografico (MACRO-AREA 2)

Come è possibile evincere dalla figura 2.7, la macro-area 2 (che include interamente i Campi 2 e 3) è caratterizzata da un reticolo idrografico minore interessato da un ruscellamento d’acqua solo in situazioni eccezionali, ovvero in corrispondenza di eventi meteorici particolarmente intensi (“estremi”). Tanto è confermato dall’assenza, all’interno dei piani sovracomunali in vigore (PAI e PGRA 2021), di vincoli di natura idraulica nell’area considerata.

Dal punto di vista geomorfologico è stata condotta un’analisi vincolistica relativa al Piano per l’assetto idrogeologico per la valutazione dei possibili dissesti insistenti nell’area di progetto. Per

quanto attiene quest'aspetto, è stato possibile verificare la totale assenza di dette forme di instabilità (Fig. 2.8).

È stata inoltre eseguita un'analisi delle pendenze al fine determinare una eventuale propensione al dissesto delle aree di progetto. A tal fine, attraverso l'elaborazione di dati DTM (Digital Terrain Model), è stato possibile predisporre una suddivisione del territorio in esame in tre classi di pendenza, fattore determinante per questa tipologia di instabilità di versante (Fig. 2.9).

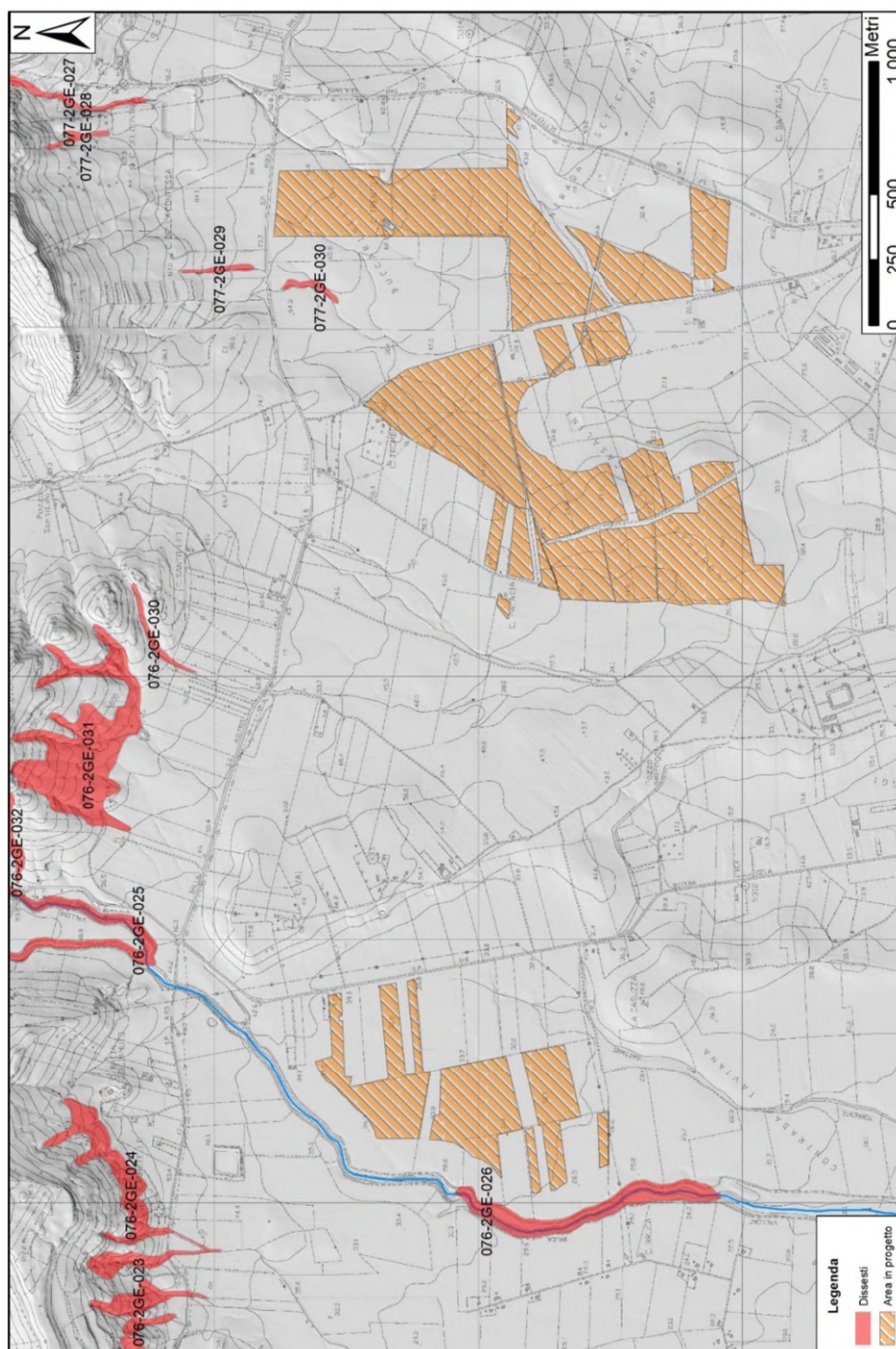


Figura 2.8 – Dissesti censiti PAI

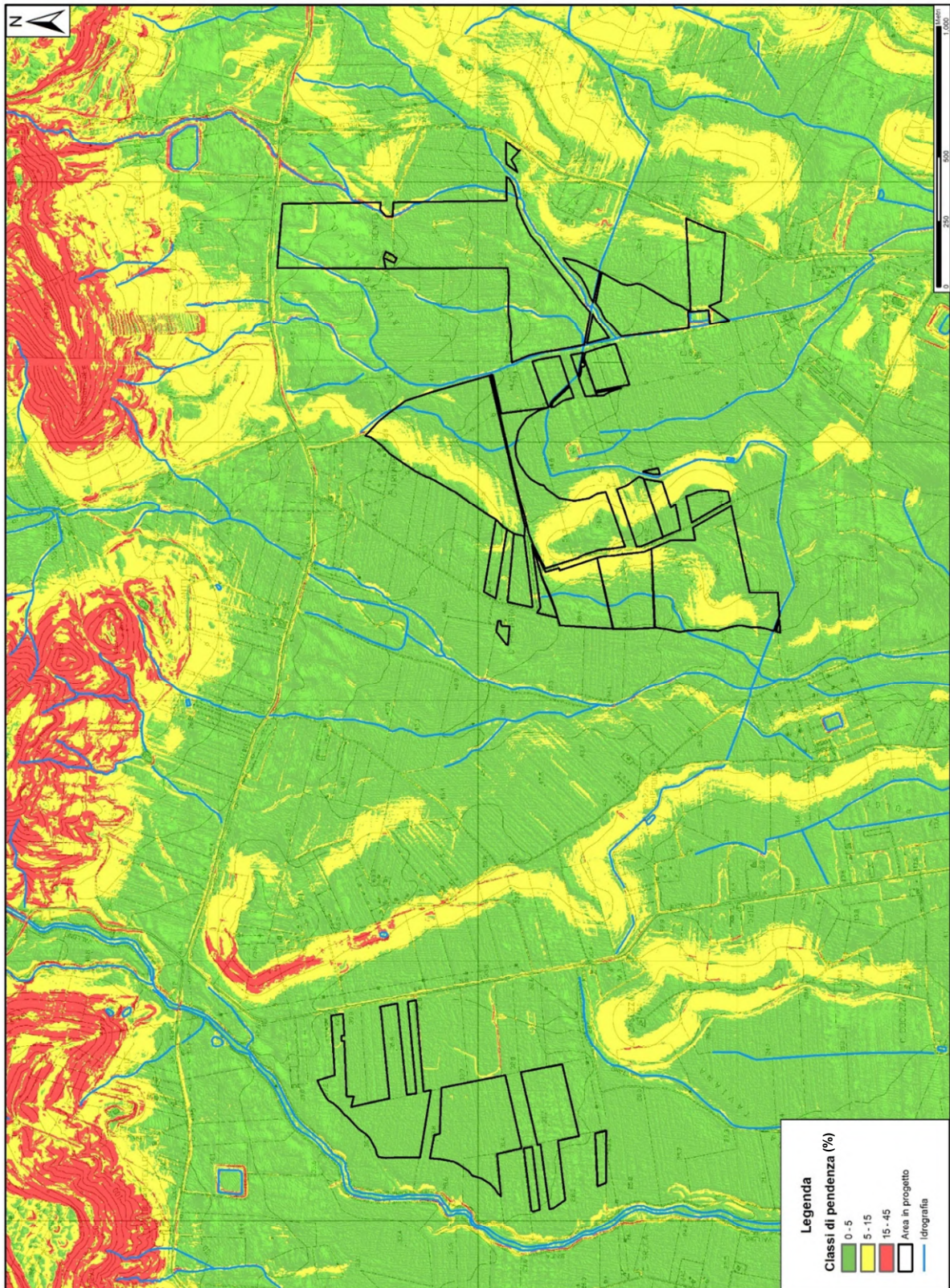


Figura 2.9 – Analisi delle pendenze

Da quanto evidente nella figura 2.9, l'area in studio presenta una morfologia tipica di zone di piana alluvionale, con andamento da esclusivamente pianeggiante a sub-pianeggiante. Le pendenze rilevate, infatti, quasi mai superano valori più alti del 5%; in rari casi (Campo 2) i valori di pendenza registrati risultano compresi tra il 5% e il 15%. Tale dato permette di escludere eventuali potenziali dissesti riconducibili a movimenti franosi di qualsivoglia natura.



Foto 2.1 e 2.2 – Panoramica terreni ricadenti all'interno della MACRO-AREA 1 (Campo 1)



Foto 2.3 – Panoramica terreni ricadenti all'interno della MACRO-AREA 2 (Campi 2 e 3)

3. QUADRO GEOLOGICO E STRATIGRAFIA DEI TERRENI

Il settore centro-meridionale della Sicilia è caratterizzato da un quadro geologico alquanto complesso, conseguenza dell'interazione tra unità a diverso significato geologico. In particolare tale reciproca relazione si instaura tra grossi complessi tettonici e successioni di tipo "thrust top basins" deposte al di sopra (Figura 3.1a).

I complessi tettonici sono costituiti, dal basso verso l'alto:

- dalle successioni prevalentemente carbonatiche appartenenti all'Avampaese Ibleo;
- da un gruppo di unità tettoniche derivanti dalla deformazione del Dominio Sicano;
- da un gruppo di unità tettoniche, largamente affioranti in zona, con litologie prevalentemente conglomeratiche, argillose e arenacee, denominate in letteratura "Falda di Gela". Quest'ultima rappresenta il lembo più avanzato della catena siciliana, conosciuta anche come Catena Appenninico-Maghrebide.

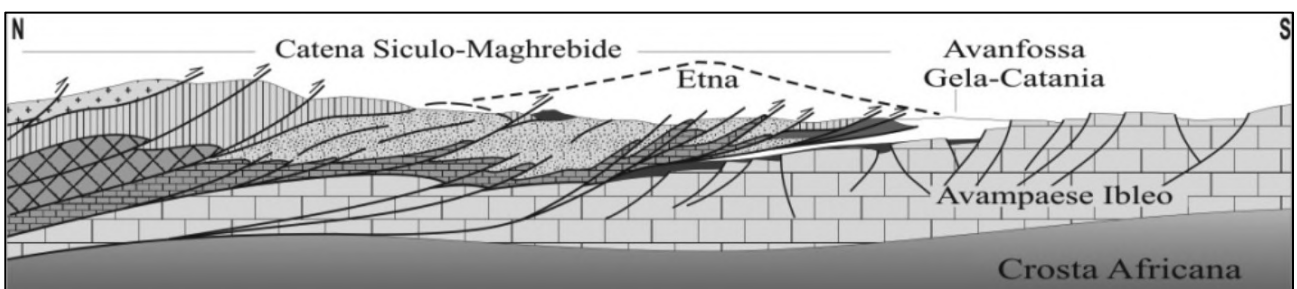
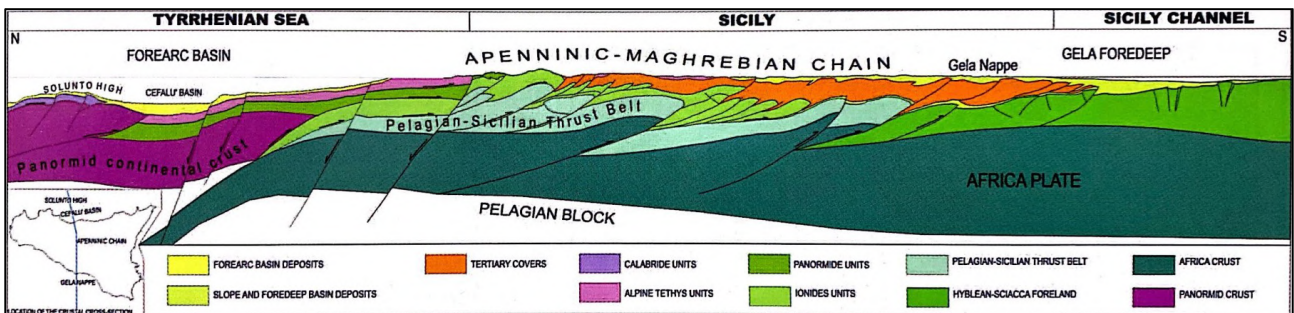


Figura 3.1a – (in alto) Profilo crostale schematico attraverso il Tirreno meridionale, la Sicilia centrale e il Canale di Sicilia (Lentini et alii, 2005). Figura 3.1b – Sezione geologica schematica attraverso la Sicilia orientale con individuazione del complesso vulcanico etneo (Catalano et alii, 2004b, modificato).

Nella porzione centro-meridionale della Sicilia l'Avampaese Ibleo subisce una flessurazione al di sotto delle coltri della Catena Appenninico-Maghrebide; tale deformazione genera una

depressione strutturale che in geologia assume significato di “Avanfossa”. Questa si esprime attraverso la presenza di sistemi di faglie dirette che nel caso del Plateau Ibleo assumono orientazione NE-SO, le quali danno origine ad un primo bacino, definito come “zona di transizione”, lungo le direttrici Comiso-Chiaramonte, Monterosso Almo-Pedagaggi e Lentini-Agnone, con coperture tipiche d’avampaese (ovvero non alimentate dalla catena), per poi passare all’Avanfossa s.s. a NO della Fiumara di Caltagirone. Tale dominio strutturale si estende dall’offshore di Catania alla Piana di Gela, fino al largo della costa meridionale della Sicilia ed è litologicamente rappresentato da depositi sedimentari caratterizzati da una successione argillosa con sottili livelli sabbiosi (ascrivibile al Quaternario), da sabbie Plioceniche e da successioni evaporitiche Messiniane poggianti su un substrato di tipo Ibleo.

Durante la fase collisionale continentale Tortoniana (Miocene superiore), responsabile della formazione della Catena Appenninico-Maghrebide, si delinearono all’interno dell’orogene stesso due principali domini rappresentati, a Nord, da una zona di culminazione assiale, la dorsale Madonie-Nebrodi, mentre nell’area meridionale (all’incirca nella Sicilia centrale) da una vasta zona strutturalmente depressa (Fig. 3.2), nota come Bacino di Caltanissetta, collegata verso l’esterno all’Avanfossa di Gela.

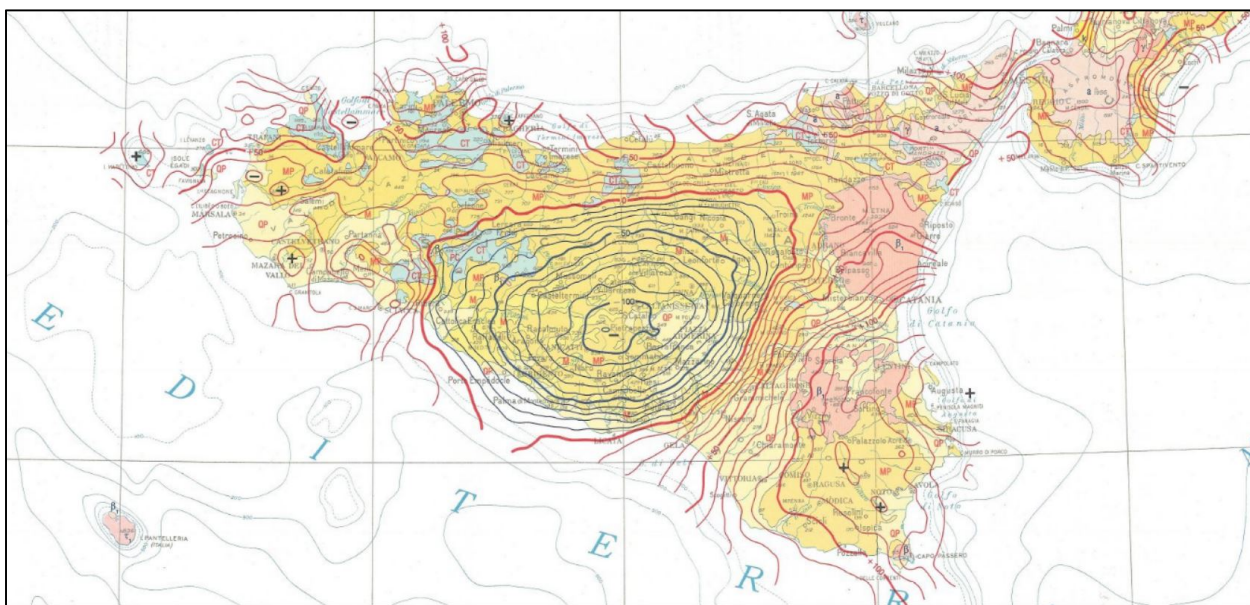


Figura 3.2 – Stralcio della Carta Gravimetrica d’Italia, 1989 (fonte geoportale ISPRA - <http://sgi.isprambiente.it/>)

In tale area, ed in generale nella Sicilia centro-orientale, le unità proprie più avanzate della catena si incuneano sin all’estremità meridionale del complesso vulcanico Etneo. Tale lembo estremo prende nome di “Falda di Gela” e risulta essere costituito da successioni oligomioceniche

di tipo “Flysch”, sovrascorse da successioni prevalentemente argillose (Unità Sicilidi) cretaceo-paleogeniche. Queste furono poi in seguito colmate da coperture terrigene “tardo-orogene” (discordanti al tetto delle unità alloctone della catena), costituite sia dalla formazione Terravecchia, d’età Tortoniano superiore, sia dal gruppo Gessoso-solfifero costituito da depositi evaporitici costituiti prevalentemente dai sali precipitati dall’evaporazione delle acque marine in conseguenza della chiusura del bacino del Mediterraneo durante il Messiniano. Seguono poi i termini carbonatico-marnosi di tipo pelagico (Trubi) del Pliocene inferiore e in discordanza su tutte le unità precedentemente citate successioni argilloso-sabbioso calcarenitiche plio-pleistoceniche affioranti in prevalenza Sicilia centro-orientale in corrispondenza della dorsale dei Monti Erei (all’interno del “Bacino di Caltanissetta”) e si estendono dalla zona pedemontana nebrodico-madonita fino alla costa meridionale (area di Agrigento-Gela) e verso est fino alla Piana di Catania.

Nella zona di Gela si osserva che tale successione, caratterizzata da facies pelitico-arenitiche, presenta carattere marcatamente regressivo e al suo interno non si registrano significative discordanze. Viene inoltre cronologicamente collocata in un intervallo che va dal Piacenziano al Calabriano.

L’evoluzione geologico-strutturale dell’area in esame è stata determinata da una ben precisa successione temporale di fasi tettoniche come di seguito riassumibile:

- Fase I) traslativa, responsabile dell’inglobamento delle Argille Scagliose variegata cretaceo-eoceniche all’interno delle Argille Scagliose brune oligomioceniche, avvenuta nel Tortoniano inferiore (OGNIBEN, 1960; RODA, 1971; DI GRANDE & MUZZICATO, 1986), suturata cioè dalla deposizione in discordanza delle Argille marnose grigio-azzurre presolfifere;
- Fase II) compressiva, di età inframessiniana (DECIMA & WEZEL, 1971), responsabile del primo piegamento dei depositi evaporitici ed inoltre della discordanza regionale che ha permesso l’identificazione a scala regionale di un “ciclo evaporitico superiore” ed uno “inferiore”;
- Fase III) compressiva sinsedimentaria, di età infrapliocenica (OGNIBEN, 1954; 1960; DECIMA & WEZEL, 1971; CITA, 1972; SPROVIERI, 1975; DI GRANDE & MUZZICATO, 1986) a cui bisogna riferire l’appoggio in onlap dei Trubi sui depositi sottostanti della Serie

Gessoso-Solfifera, o pre-solfiferi, ed inoltre il coinvolgimento dei Trubi al nucleo dei sistemi plicativi delineatisi;

- Fase IV) compressiva, di età medio-pliocenica, responsabile della discordanza sinsedimentaria tra le Argille marnose azzurre e i sottostanti Trubi (RODA, 1971), nonché dei segnali precoci del ripiegamento dei sistemi plicativi pre-esistenti;
- Fase V) traslativa, di età suprapliocenica-infrapleistocenica (RODA, 1971; DI GERONIMO & COSTA, 1978; DI GERONIMO et alii, 1979; DI GRANDE & MUZZICATO, 1986; BIANCHI et alii, 1987; LENTINI et alii, 1987; LARROQUE, 1993; LENTINI et alii, 1996), responsabile della messa in posto della Falda di Gela. Inoltre, a questa fase tettonica traslativa potrebbero essere riferite le fasi di acme del ripiegamento dei sistemi plicativi dell'area, nonché il blando piegamento che deforma le Argille marnose azzurre medio-supraplioceniche e il conseguente appoggio in discordanza angolare delle soprastanti Argille sabbiose grigio-brune infrapleistoceniche (RODA, 1965; DI GRANDE & MUZZICATO, 1986);
- Fase VI) di età suprapleistocenica, a carattere compressivo, legata presumibilmente ai movimenti tardivi della Falda di Gela, con attivazione di lineamenti tettonici di scorrimento;
- Fase VII) di età suprapleistocenica (DI GERONIMO et alii, 1979), responsabile dei fenomeni di terrazzamento fluviale che caratterizzano l'area, e dei sistemi di faglie dirette che accomodano il generale sollevamento avvenuto.

Dal punto di vista stratigrafico, nel dettaglio, nell'area di progetto, le formazioni affioranti sono (dalla più antica a quella più recente):

- Formazione Agrigento - Gruppo Ribera
- Depositi alluvionali recenti

Per ognuna di esse viene di seguito riportata la descrizione dettagliata dei litotipi che la compongono:

Formazione Agrigento - Gruppo Ribera

I depositi di questa formazioni sono diffusi lungo la costa e nell'entroterra dell'agrigentino fino alla zona di Gela. Risultano inoltre correlabili ai depositi facenti parte del "sintema di Marsala" che affiorano nel settore costiero della Sicilia nord-occidentale. Dal punto di vista litologico trattasi di calcareniti e sabbie gialle riccamente fossilifere (specialmente Pectinidi) con intercalazioni di

biocalciruditi e conglomerati, passanti lateralmente e verso l'alto a peliti brune e sabbie quarzoso-carbonatiche. Le calcareniti si presentano ben cementate e mostrano stratificazione sia parallela che obliqua e, sovente, si rinvengono stratificazioni incrociate caratteristiche di una sedimentazione influenzata da onde e correnti. Tale formazione è ascrivibile al Pleistocene inferiore.

Depositi Alluvionali Recenti

Trattasi di sabbie e limi con livelli di ghiaie a supporto di matrice terroso-argillosa, talora terrazzati, localizzati in aree più elevate rispetto agli alvei fluviali attuali. La componente ruditica è rappresentata da ciottoli poligenici da spigolosi a sub-arrotondati. Talvolta i clasti dei livelli ghiaiosi hanno disposizione embriciata, mentre nei livelli sabbioso-limosi la stratificazione è poco evidente.

Rappresentano il ringiovanimento dei corsi d'acqua a causa delle fasi tettoniche suprapleistoceniche che hanno sollevato a più riprese l'area in esame determinando la formazione di una gradinata di terrazzi marini e continentali distribuiti tra l'attuale livello del mare e le quote massime di 150 m (DI GERONIMO et alii, 1979). Infatti nell'area i depositi alluvionali terrazzati affiorano dislocati a varie quote e si possono così distinguere:

- Alluvioni terrazzate fluviali antiche (***I Ordine***) poste ad una quota maggiore rispetto all'alveo dei torrenti e fiumi che solcano: in ordine, da est verso ovest, i torrenti Gattano, Comunelli e Rizzuto e il fiume Gela;
- Alluvioni terrazzate fluviali recenti (***II Ordine***) poste alla medesima quota degli alvei dei predetti torrenti e fiumi ma al di fuori degli stessi: affioranti estesamente lungo il comprensorio Gela-Marina di Butera e del Fiume Disueri-Gela fino a costituire tutta la pianura alluvionale di Gela, interrotta da qualche locale affioramento di Argille sabbiose grigio-brune infrapleistoceniche.

Questi depositi sono fissati da vegetazione e solo eccezionalmente possono essere rielaborati e presi in carico da piene torrentizie. Tale formazione è ascrivibile all'Olocene.

4. ASSETTO IDROGEOLOGICO E PERMEABILITA' DEI TERRENI

In generale, le caratteristiche idrogeologiche di un territorio sono, quasi sempre, legate alla natura dei terreni in esso affioranti e/o a quelle dei terreni in esso presenti anche se solo in profondità.

È dunque necessario valutare fattori fondamentali quali porosità e natura di tali depositi per poter risalire alle loro caratteristiche di permeabilità: quest'ultima, in particolare, permette di comprendere il comportamento dell'acqua nel momento in cui essa interagisce con i litotipi interessati, e di risalire quindi alla circolazione idrica superficiale e sotterranea. I terreni affioranti nell'area di studio possono essere, quindi, così classificati:

Terreni a media permeabilità:

Appartengono a questa classe tutte le tipologie di depositi alluvionali presenti, costituiti per lo più da sedimenti argillosi o argilloso-limosi con di frazione sabbiosa o intercalati da discontinui livelli sabbioso-ghiaiosi, affioranti estesamente nell'area di progetto. Ciò comporta una variabilità sia verticale sia laterale della permeabilità in funzione delle caratteristiche granulometriche. Inoltre, la permeabilità può risultare media e localmente bassa per la prevalenza di frazione pelitica. Questi depositi sono classificabili come terreni caratterizzati da permeabilità primaria "per porosità", con variazioni di K (coefficiente di permeabilità) che dipendono essenzialmente presenza della eventuale componente sabbioso-limosa nell'ammasso.

Frequentemente è possibile osservare uno spessore di terreno saturato dalla lenta percolazione delle acque meteoriche superficiali che, durante il periodo invernale ed in occasione di eventi pluviometrici brevi ma intensi, tendono a ristagnare nelle zone pianeggianti, data la natura poco permeabile dei litotipi affioranti e la mancanza di un sistema di regimazione e di efficiente evacuazione delle acque superficiali provenienti da monte, per poi essere assorbite in maniera lenta dalla porzione superficiale più ricca della frazione limo-sabbiosa.

In particolare le alluvioni, in generale, possono costituire discreti acquiferi contenenti falde libere caratterizzati dalla presenza di ristretti livelli idrici, contenuti soprattutto nelle diffuse lenti limo sabbiose più raramente ghiaiose intercalate. La base dell'acquifero è data, sempre, dall'acquiclude argilloso, Argille azzurre pleistoceniche impermeabili, che presentano uno spessore (desunto da letteratura) superiore ai 200 m.

Lungo le incisioni, che hanno modellato l'odierna idrografia, nel tempo, risalendo da valle verso monte, i depositi alluvionali hanno colmato le depressioni costituendo ampi pianori lievemente convergenti verso Est e Sud Est. Modifiche del livello eustatico hanno prodotto nuove fasi erosive e nuove fasi deposizionali che ora è possibile individuare: alluvioni terrazzate su diversi livelli, alluvioni recenti direttamente ai bordi degli attuali alvei fluviali e alluvioni attuali costituenti il letto di detti corsi d'acqua.

Le acque della falda freatica, contenuta negli acquiferi alluvionali, sono condizionate, nel loro moto verso valle (linee di flusso) a seguire l'andamento delle vecchie, originali, incisioni che l'erosione aveva praticato sulle argille di fondo, anche quando queste incisioni non coincidono più con l'attuale corso degli alvei fluviali soprastanti, epigenetici.

L'alimentazione è sia dovuta alle piogge (diretta), che dovuta al ruscellamento proveniente dalle pendici circostanti e dalle parti alte dei bacini di dominio. La mancanza, pratica, di sorgenti perenni rende tale alimentazione periodica e ciò determina il formarsi di una curva di esaurimento tanto più accentuata nelle aree periferiche di minor spessore dell'acquifero, con variazioni negative del livello piezometrico statico molto più pronunciate. La permeabilità di questi acquiferi periferici, convergenti verso valle a formare un unico acquifero di pianura, è variabile risultando compresa tra 10^{-2} e 10^{-1} cm/s con punte locali minori anche di 10^{-4} cm/s, là ove la percentuale di argilla contenuta nel terreno è preponderante.

In base al "Piano di Tutela delle Acque" della Regione Sicilia, l'acquifero principale (o profondo) è ospitato nell'orizzonte sabbioso a più elevata permeabilità, ubicato alla base della successione alluvionale; la base di tale orizzonte, a livello regionale, si immerge da Nord, dove giace a pochi metri di profondità da p.c., verso Sud, dove può essere rilevato a 20-40 m dal piano campagna.

La struttura idrogeologica dell'area in esame risulta quindi caratterizzata da un sistema acquifero multifalda (Fig. 4.1), costituito da livelli potenzialmente acquiferi situati a pochi metri da piano campagna, discontinui tra loro per eteropie con corpi meno permeabili e separati da limi argillosi che svolgono il ruolo di aquitardo, limitando la comunicazione idraulica verticale e determinando differenti potenziali piezometrici. Si tratta di falde freatiche locali, con direzione del deflusso verso la linea di costa da NE verso SW.

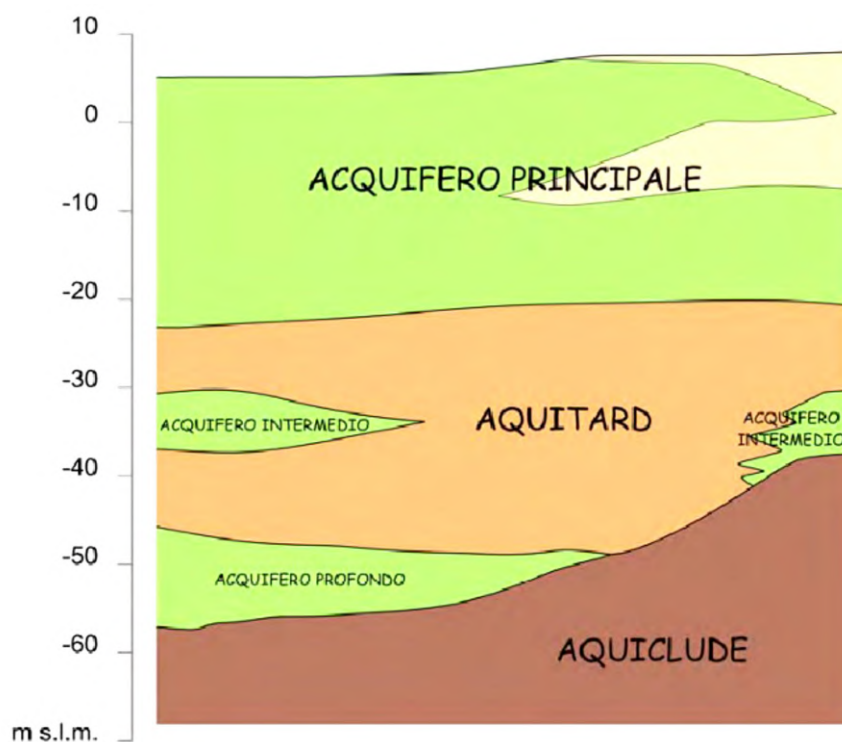


Figura 4.1 – Schema generale dei rapporti idrogeologici nell'area in studio

In particolare, la base dello strato sabbioso che ospita l'acquifero principale libero si trova a circa 25 m di profondità da p.c.; tale strato è interrotto da intercalazioni limoso-sabbiose a permeabilità inferiore che influenzano negativamente la circolazione idrica. Dai dati di letteratura, è possibile ipotizzare che al di sotto si trova l'aquitardo, dello spessore di pochi metri, che separa l'acquifero principale dal sottostante strato di limi sabbiosi e sabbie, di esiguo spessore, che ospita un piccolo acquifero intermedio locale.

In quest'area inoltre risulta assente l'acquifero profondo, e la successione si chiude quindi con il substrato impermeabile di argille pleistoceniche che funge da acquicludo, che si immerge verso la costa ed è posto a profondità variabili di circa 25÷30 m dal piano campagna.

Per quanto riguarda il livello piezometrico dell'acquifero principale, da studi pregressi condotti per conto dello stabilimento (Studio dell'idrogeologia e idrodinamica sotterranea dello Stabilimento Multisocietario di Gela, 2009), nell'area in progetto esso è situato a circa 3 m. s.l.m.

5. SISMICITA' DELL'AREA

La classificazione sismica regionale e la zonazione sismogenetica ZS9 colloca il comune di Gela in un'area della Sicilia a sismicità media.

Con le norme tecniche per le costruzioni sismiche NTC 2008, aggiornate e sostituite dalle nuove NTC 2018, l'Italia si è allineata alla normativa sismica europea EC8 e, di fatto, ha conferito un maggior peso alla progettazione sismica delle strutture ed alla puntuale conoscenza delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del sito di fondazione. È stato infatti introdotto nella progettazione il fattore riguardante gli effetti di sito per determinare la reale risposta sismica di un determinato territorio.

Ne deriva che alla usuale zonazione sismica a scala comunale (definita con apposito decreto) deve sempre seguire una locale microzonazione sismica del sito di progetto, finalizzata a ricavare l'azione sismica da utilizzare nella progettazione sismica delle strutture.

La nuova classificazione sismica del territorio italiano determina la suddivisione in quattro zone sismiche caratterizzate da un differente valore dell'accelerazione orizzontale del suolo. Si riporta di seguito la tabella 5.1 ove ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g/g]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Tabella 5.1

Per la peculiare situazione strutturale e sismologica, il comune di Gela è stato inserito nella zona sismica 2, definita nell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 2003.

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido o pianeggiante a_g , che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Zona sismica	Fenomeni riscontrati	Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni
1	Zona con pericolosità sismica alta . Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$ag \geq 0,25g$
2	Zona con pericolosità sismica media , dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0,15 \leq ag < 0,25g$
3	Zona con pericolosità sismica bassa , che può essere soggetta a scuotimenti modesti.	$0,05 \leq ag < 0,15g$
4	Zona con pericolosità sismica molto bassa . E' la zona meno pericolosa, dove le possibilità di danni sismici sono basse.	$ag < 0,05g$

Tabella 5.2

A seguito dell'Ordinanza su citata è stato recentemente proposto, con delibera di Giunta Regionale n. 81 del 24 febbraio 2022, un ulteriore aggiornamento della classificazione sismica della Sicilia; questa in sostanza però conferma, per l'area in progetto, quanto previsto nella precedente classificazione, identificando il territorio comunale di Gela in **zona 2** (Fig. 5.1).

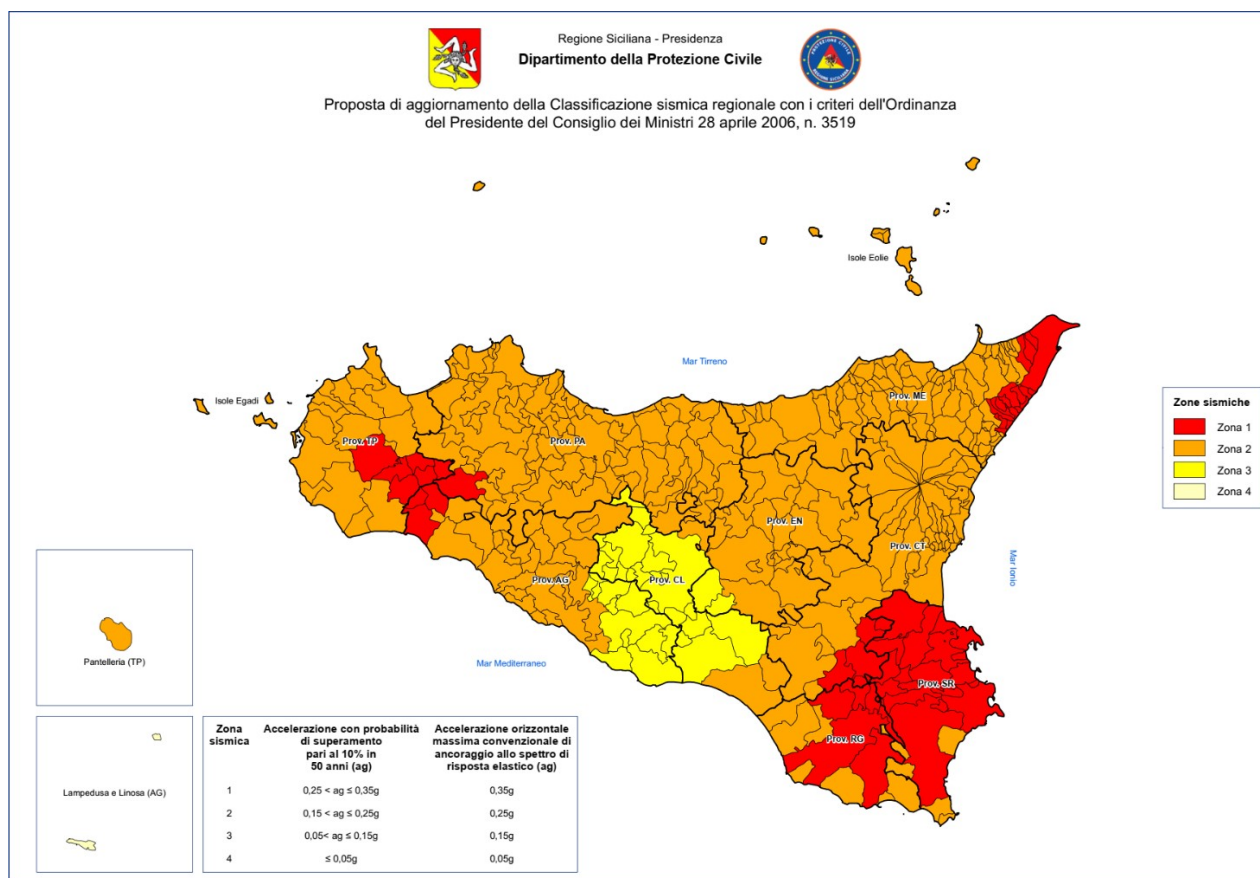


Figura 5.1 – Aggiornamento classificazione sismica regionale – delibera n. 81 del 24/02/2022

Per una più completa disamina delle caratteristiche sismiche dell'area si è proceduto, inoltre, all'analisi della sismicità storica che ha interessato direttamente i territori all'interno del Comune di Gela. Si è proceduto, quindi, alla consultazione del catalogo parametrico macrosismico CPTI15-DBMI15 (a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) del quale si riportano di seguito i risultati:

Gela

PlaceID	IT_67617
Coordinate (lat, lon)	37.071, 14.240
Comune (ISTAT 2015)	Gela
Provincia	Caltanissetta
Regione	Sicilia
Numero di eventi riportati	23

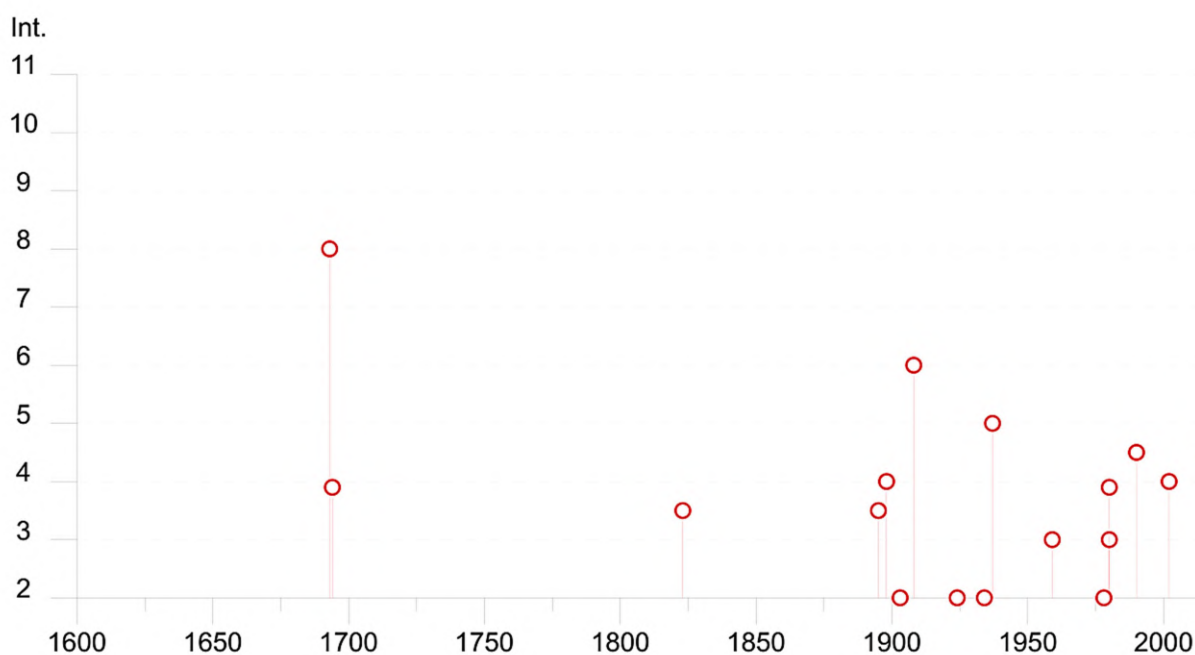


Figura 5.2 – Eventi sismici storici che hanno interessato il territorio di Gela – Catalogo parametrico CPTI15- DBMI15 (INGV)

Progetto definitivo di un impianto agri-fotovoltaico di potenza di picco P=83.051,28 kWp con sistema di accumulo per una potenza di immissione complessiva pari a 100.000 kW – **COMUNE DI GELA (CL)**

Effetti		In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
8	1693	01	11	13	30		Sicilia sud-orientale	179	11	7.32
F	1694	05	16				Sicilia orientale	7	5-6	4.40
3-4	1823	03	05	16	37		Sicilia settentrionale	107	8	5.81
3-4	1895	04	13	15	01		Monti Iblei ?	32	6-7	4.82
NF	1897	02	11	23	33	0	Ionio meridionale	96	5	5.03
NF	1897	05	15	13	42	3	Tirreno meridionale	85	5	4.52
4	1898	11	03	05	59		Calatino	48	5-6	4.51
2	1903	07	13	08	19		Calatino	46	5	4.14
NF	1905	09	08	01	43		Calabria centrale	895	10-11	6.95
NF	1908	12	10	06	20		Monti Peloritani	64	7	5.11
6	1908	12	28	04	20	2	Stretto di Messina	772	11	7.10
2	1924	08	17	21	40		Monti Iblei	22	5	4.74
2	1934	09	11	01	19		Sicilia centro-settentrionale	28	5-6	4.84
5	1937	03	06	01	56		Monti Iblei	15	5	4.49
3	1959	12	23	09	29		Piana di Catania	108	6-7	5.11
2	1978	04	15	23	33	4	Golfo di Patti	330	8	6.03
3	1980	01	23	21			Monti Iblei	122	5-6	4.39
F	1980	05	28	19	51	2	Tirreno meridionale	44	5-6	5.66
4-5	1990	12	13	00	24	2	Sicilia sud-orientale	304		5.61
NF	1990	12	16	13	50	2	Ionio meridionale	105		4.38
4	2002	09	06	01	21	2	Tirreno meridionale	132	6	5.92
NF	2016	02	08	15	35	4	Monti Iblei	58	5-6	4.44
4-5	2020	12	22	20	27	2	Ragusano	25	5	4.52

Tabella 5.3 – Eventi sismici storici che hanno interessato il territorio di Gela – Catalogo parametrico CPTI15- DBMI15 (INGV)

Il rilevamento geologico effettuato, integrato da un'attenta analisi bibliografica sull'assetto tettonico-strutturale, **non ha evidenziato la presenza di fagliazione superficiale nelle aree interessate dagli impianti in progetto.**

6. INDAGINI GEOFISICHE

Per una caratterizzazione più precisa ed analitica dei parametri sismici significativi dell'area in progetto, è stata programmata e condotta dalla committenza una campagna di indagini geofisiche articolata come segue:

- n. 8 prove di sismica attiva tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves), le quali si basano sulla registrazione e sull'analisi delle onde di Rayleigh in un semispazio stratificato;
- n. 8 prove di sismica attiva a rifrazione con elaborazione tomografica, le quali si basano sull'analisi della velocità delle onde P nel semispazio stratificato. Tale prova permette di ottenere in output una sezione 2D della distribuzione della velocità V_p .

La distribuzione di tali prove nell'areale di progetto è visualizzabile di seguito nelle figure 6.1 e 6.2.



Figura 6.1 – Ubicazione delle indagini geofisiche MACRO-AREA 2 (Campi 2 e 3)



Figura 6.2 – Ubicazione delle indagini geofisiche MACRO-AREA 1 (Campo 1)

6.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La strumentazione utilizzata è costituita da un Sismografo **DAQLink III** con convertitore A/D a 24 bit, 24 canali, range dinamico 144db e output dei dati in SEG-Y o SEG-2, l'intero sistema di acquisizione è conforme alle specifiche **ASTM D5777- 00 (2006)** (*Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation*); l'energizzazione del terreno è stata effettuata mediante l'utilizzo di una massa battente (mazza di 8/9 kg con starter su piattello di battuta).

Per la ricezione delle onde longitudinali (P), durante l'indagine di tomografia sismica, sono stati usati geofoni verticali OYO a corto periodo (> 10 Hz), mentre per la ricezione delle onde superficiali (di tipo Rayleigh) sono stati utilizzati geofoni OYO a bassissima frequenza (4,5 Hz).

6.2 PROVA SISMICA ATTIVA TIPO M.A.S.W.

Il metodo M.A.S.W. è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla registrazione delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, ovvero onde con diverse lunghezze d'onda che si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo; pertanto la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione in quanto si tratta di onde la cui velocità dipende dalla frequenza.

La prova M.A.S.W. consiste, quindi, nella ricerca della velocità e delle frequenze con cui si propagano le onde generate da una sorgente sismica.

L'elaborazione dell'analisi M.A.S.W. può essere ricondotta in quattro fasi:

- la prima fase prevede la trasformazione delle serie temporali nel dominio frequenza f - numero d'onda k ;
- la seconda fase consiste nella individuazione delle coppie $f-k$ cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) che consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano V_{fase} (m/sec) - frequenza (Hz);
- la terza fase consiste nel calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s ;
- la quarta ed ultima fase consiste nella modifica della curva teorica; vengono variati opportunamente lo spessore H , la velocità delle onde di taglio V_s e la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino al raggiungimento di una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo.

DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO – NTC2018

L'individuazione della categoria di sottosuolo di riferimento attraverso la misura delle V_{S30} o di altri parametri geotecnici rappresenta l'approccio semplificato per variare l'azione sismica individuata in prima analisi dai **valori di accelerazione orizzontale massima a_g** (e dei **parametri F_0** ,

Tc* etc.) che permettono di definire gli spettri di risposta, ai sensi delle NTC 2018, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale (categ. A), in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (la rete nazionale è definita da nodi che non distano più di 10 km). Tale variazione infatti deve tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni stratigrafiche locali del sottosuolo del sito indagato e della morfologia della superficie. Questa modifica rappresenta la **Risposta Sismica Locale (RSL)**.

Una volta definito il *Modello Geologico di Riferimento*, a seconda delle condizioni geologico-stratigrafiche, strutturali, dalla presenza di effetti di sito e in funzione dell'importanza del progetto, si dovrà optare per questo approccio semplificato o per un'**analisi di risposta sismica locale (definizione degli specifici spettri di risposta di sito e di progetto)**.

In seguito all'emanazione in data 20 febbraio 2018 del nuovo quadro normativo ovvero del nuovo D.M. 17 gennaio 2018, "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", la modalità di definizione della categoria di sottosuolo subisce delle modifiche. Tali modifiche si riferiscono alla profondità da utilizzare per la definizione della categoria di sottosuolo. In particolare secondo le nuove disposizioni normative la velocità delle onde di taglio V_s non devono più essere riferite sempre alla profondità di 30 m da p.c., ma alla profondità (H) a cui si trova il substrato, di cui si dà in seguito definizione. Conseguentemente non si farà più riferimento alla V_{s30} ma alla $V_{s,eq}$, secondo la seguente formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove: h_i = spessore dell' i -esimo strato; $V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio dell' i -esimo strato; N = numero di strati; H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/sec.

Per depositi con profondità H del substrato superiori ai 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Ne consegue che secondo il D.M. 17 gennaio 2018, "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", le categorie di sottosuolo sono classificate secondo la seguente tabella 6.2.1.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 6.2.1 - Valori velocità intervallo

Va, inoltre, evidenziato che a ciascuna categoria di sottosuolo è associato uno spettro di risposta che mostra la variazione in ampiezza dell'accelerazione al suolo in funzione del periodo delle vibrazioni del terreno: si ha "risonanza" e, quindi, particolare accentuazione dell'amplificazione, per periodo $T = 4h/V_s$, con h spessore della copertura e V_s velocità delle onde di taglio nella copertura; è noto che l'amplificazione massima del moto del suolo di un terreno si ha alla sua frequenza di risonanza.

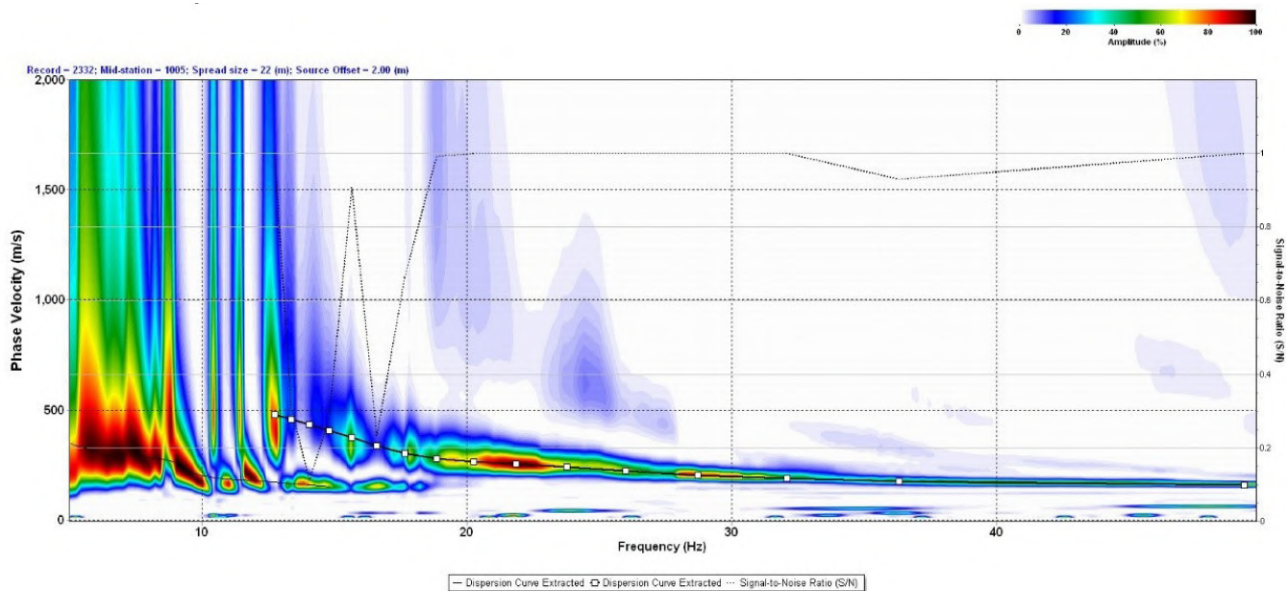
Gli edifici, a loro volta, sono caratterizzati da un periodo proprio di vibrazione che dipende essenzialmente dall'altezza degli stessi ed il loro comportamento, durante il sisma, viene assimilato a quello degli "oscillatori semplici" (pendoli). Risentimenti particolari si avranno qualora il periodo del terreno (frequenza) o comunque il periodo fondamentale (frequenza fondamentale) coincida con il periodo proprio del fabbricato (frequenza struttura), determinando, in questi casi, dannosi effetti di risonanza.

Il *processing* dell'indagine MASW-attiva è stato svolto usando il programma di calcolo "SurfSeis" vers. 6.0 della Kansas Geological Survey.

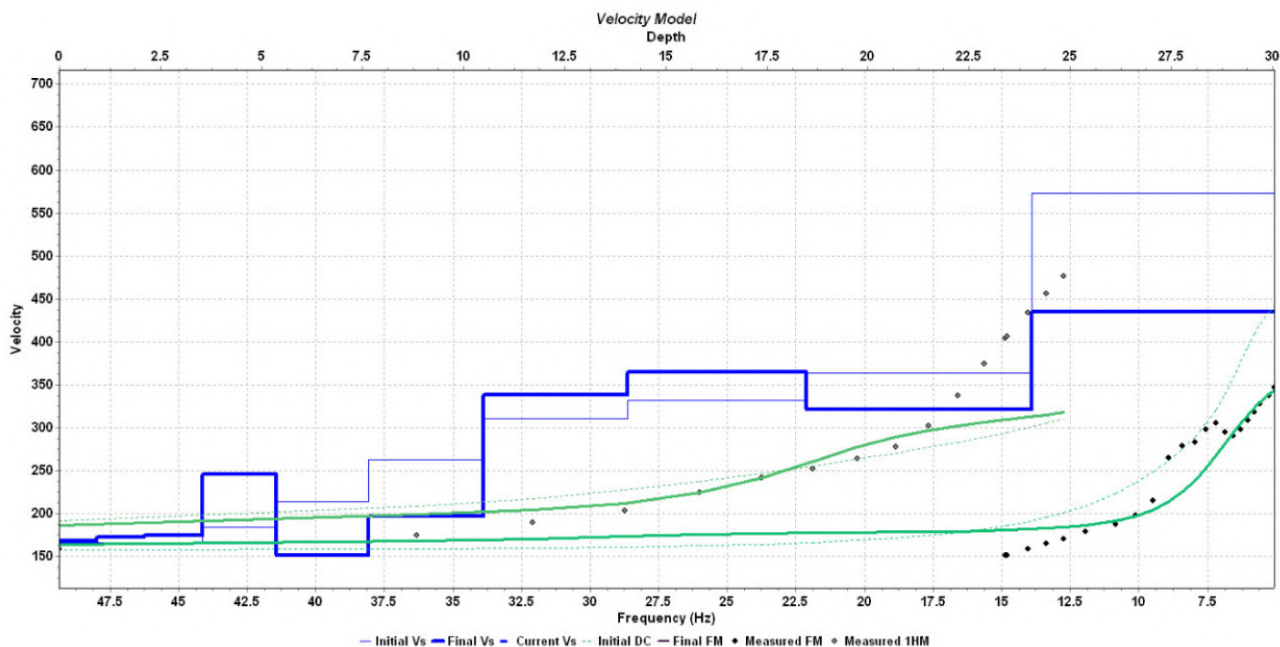
6.2.1 RISULTATI PROVE M.A.S.W.

- **MASW 1 (SITO P1)**

Curva di dispersione



Profilo delle velocità Vs



Il processing dei dati acquisiti ha prodotto il seguente risultati in termini di velocità di propagazione delle onde di taglio:

N. strato	Profondità (m)	Spessore (m)	Vs (m/sec)	hi /Vsi
1	0.9	0.9	168	0.00536
2	2.1	1.2	173	0.00694
3	3.6	1.5	175	0.00857
4	5.4	1.8	246	0.00732
5	7.6	2.2	151	0.01457
6	10.5	2.9	197	0.01472
7	14.0	3.5	338	0.01036
8	18.5	4.5	364	0.01236
9	24.0	5.5	321	0.01713
10	30.0	6.0	434	0.01382

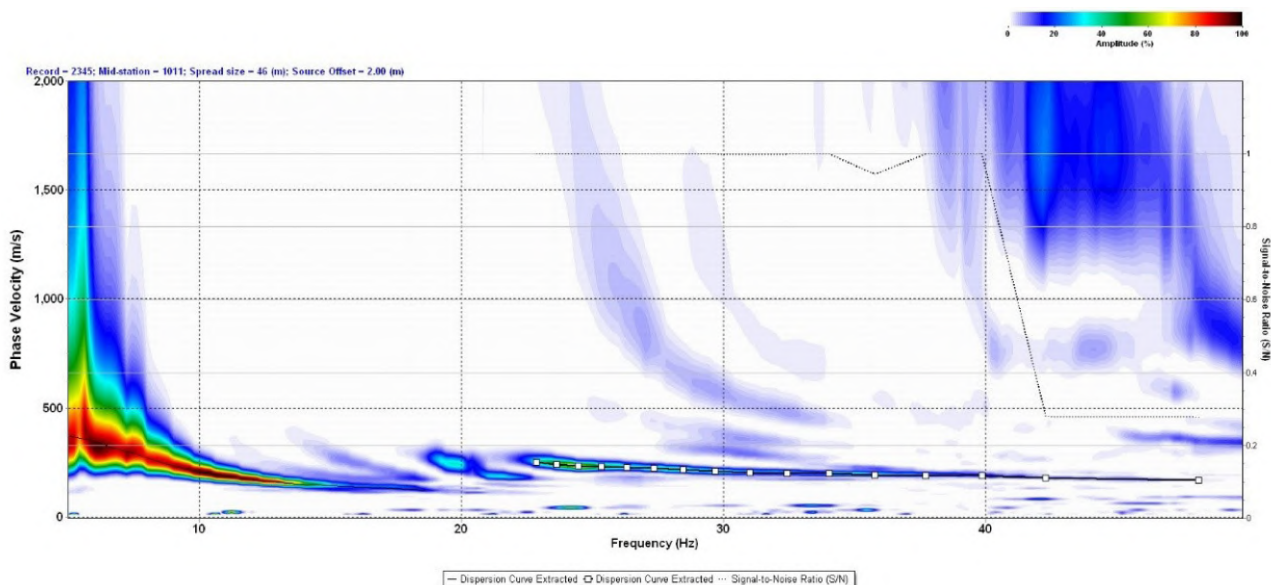
Tabella 6.2.1.1

Adottando i valori numerici dalla prova MASW eseguite, come riepilogato in tabella 6.2.1.1, si ottiene il seguente valore di V_{seq} :

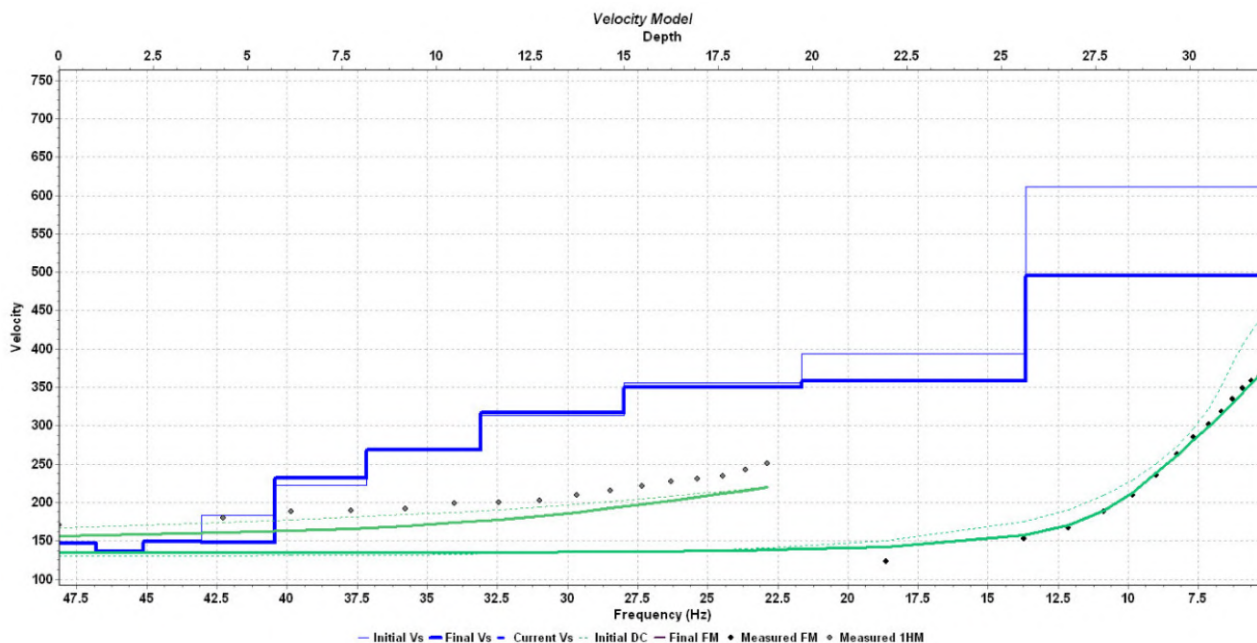
$$V_{seq} = 270 \text{ m/s}$$

- **MASW 2 (SITO P2)**

Curva di dispersione



Profilo delle velocità Vs



Il processing dei dati acquisiti ha prodotto il seguente risultati in termini di velocità di propagazione delle onde di taglio:

N. strato	Profondità (m)	Spessore (m)	Vs (m/sec)	hi /Vsi
1	1.0	1.0	146	0.00685
2	2.2	1.2	136	0.00882
3	3.8	1.6	149	0.01074
4	5.7	1.9	148	0.01284
5	8.2	2.5	232	0.01078
6	11.2	3.0	269	0.01115
7	15.0	3.8	317	0.01199
8	19.7	4.7	349	0.01347
9	25.6	5.9	358	0.01648
10	30.0	4.4	495	0.00889

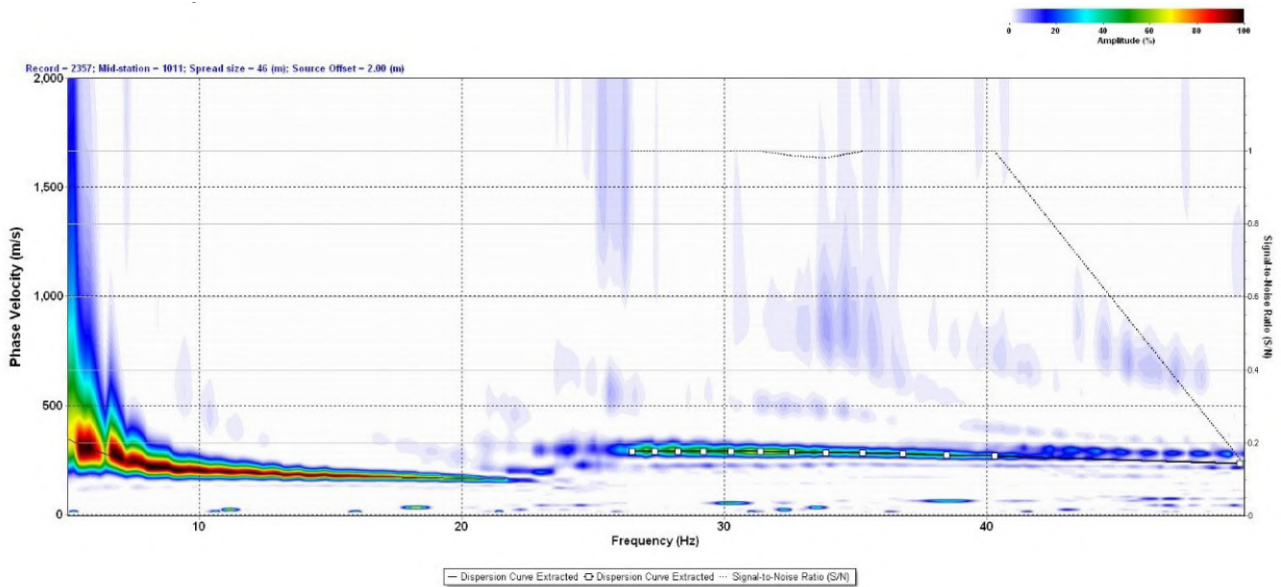
Tabella 6.2.1.2

Adottando i valori numerici dalla prova MASW eseguite, come riepilogato in tabella 6.2.1.2, si ottiene il seguente valore di V_{seq} :

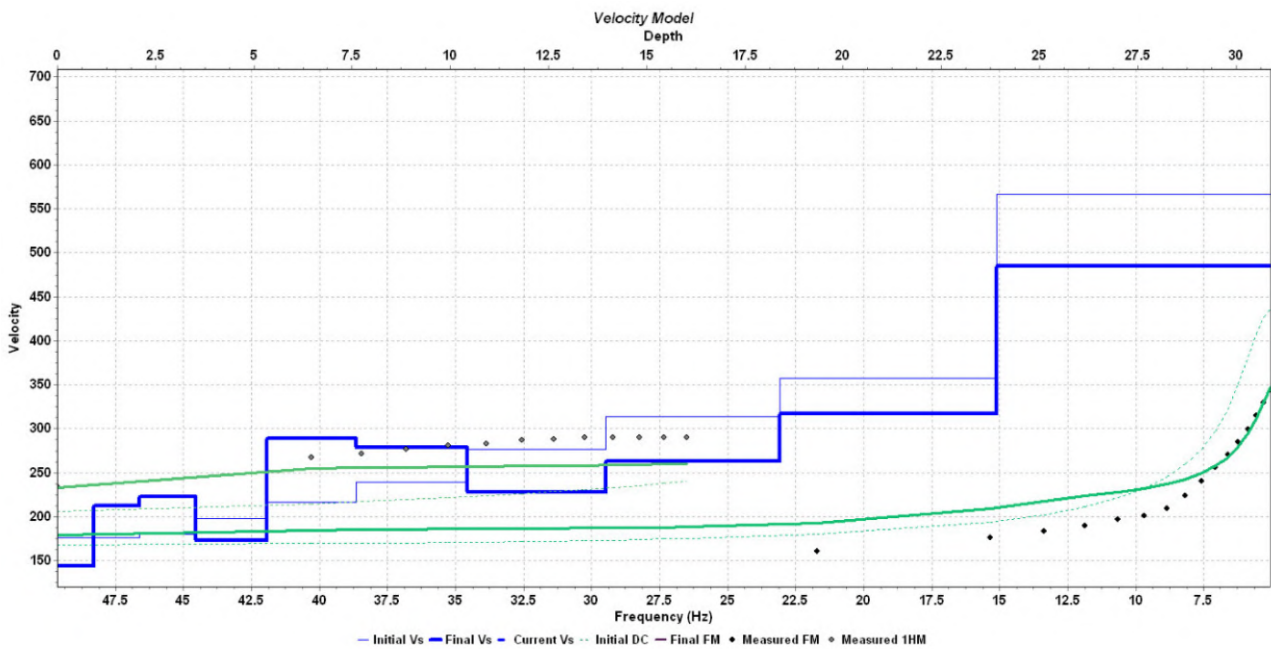
$$V_{seq} = 268 \text{ m/s}$$

- **MASW 3 (SITO P3)**

Curva di dispersione



Profilo delle velocità Vs



Il processing dei dati acquisiti ha prodotto il seguente risultati in termini di velocità di propagazione delle onde di taglio:

N. strato	Profondità (m)	Spessore (m)	Vs (m/sec)	hi /Vs _i
1	0.9	0.9	143	0.00629
2	2.1	1.2	211	0.00569
3	3.5	1.4	222	0.00631
4	5.3	1.8	172	0.01047
5	7.6	2.3	288	0.00799
6	10.4	2.8	278	0.01007
7	14.0	3.6	228	0.01579
8	18.4	4.4	262	0.01679
9	23.9	5.5	317	0.01735
10	30.0	6.1	484	0.01260

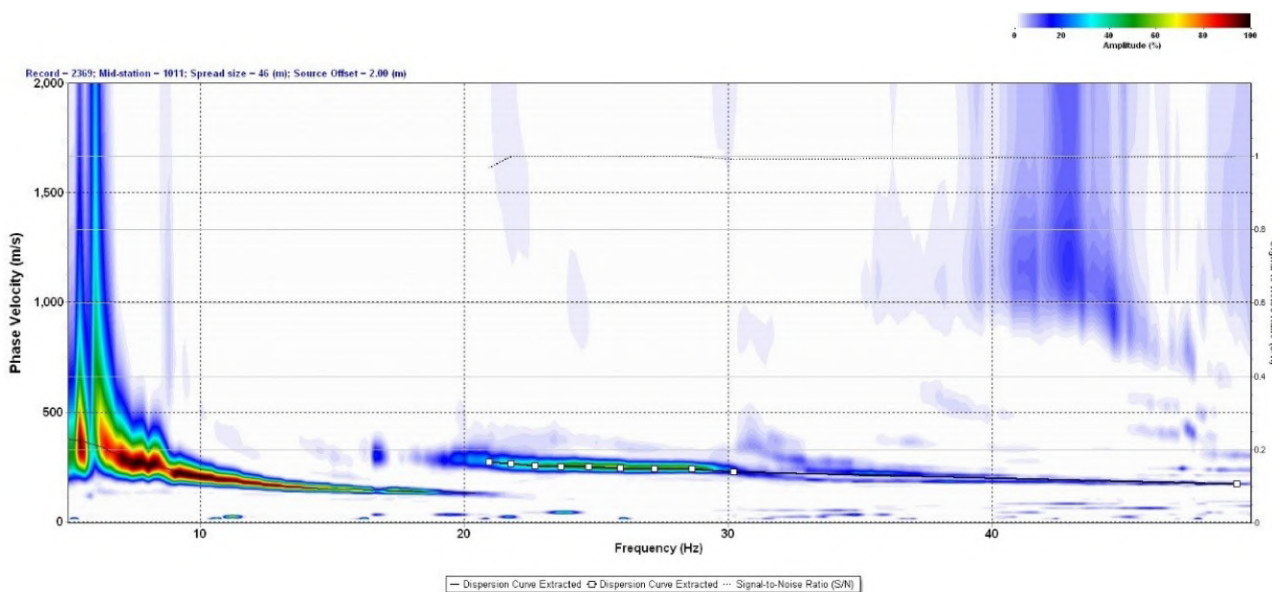
Tabella 6.2.1.3

Adottando i valori numerici dalla prova MASW eseguite, come riepilogato in tabella 6.2.1.3, si ottiene il seguente valore di V_{seq} :

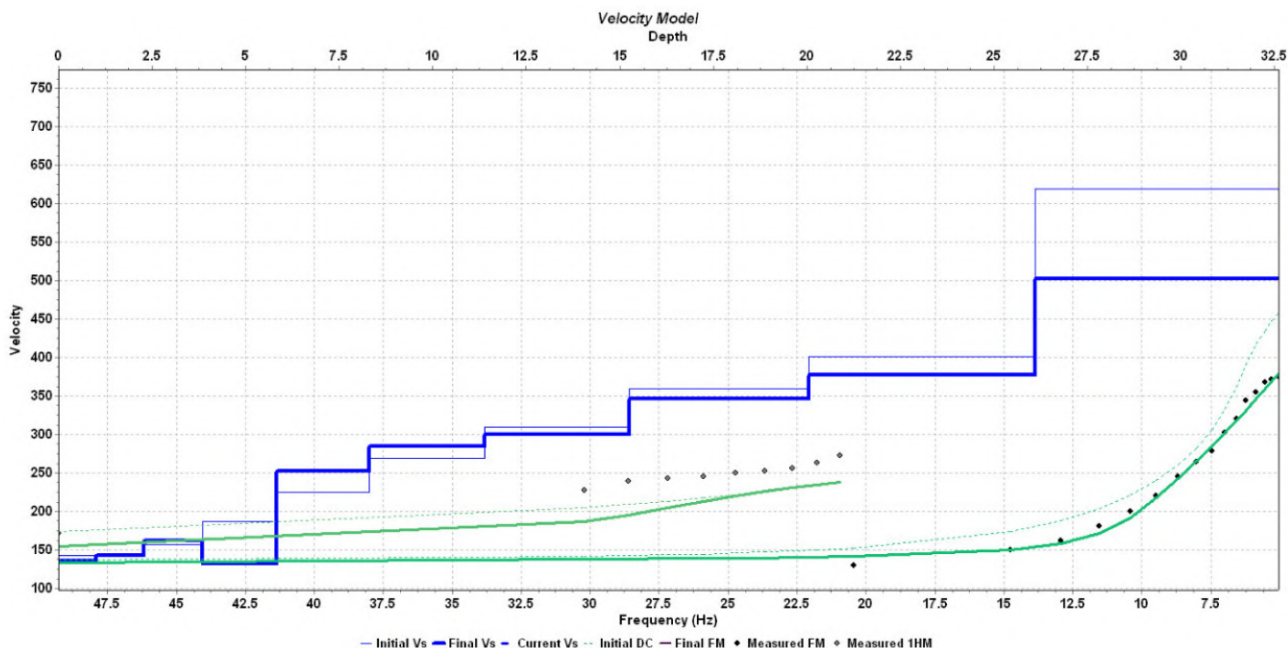
$$V_{seq} = 274 \text{ m/s}$$

- **MASW 4 (SITO P4)**

Curva di dispersione



Profilo delle velocità Vs



Il processing dei dati acquisiti ha prodotto il seguente risultati in termini di velocità di propagazione delle onde di taglio:

N. strato	Profondità (m)	Spessore (m)	Vs (m/sec)	hi /Vs _i
1	1.0	1.0	135	0.00741
2	2.3	1.3	143	0.00909
3	3.9	1.6	161	0.00994
4	5.8	1.9	131	0.01450
5	8.3	2.5	251	0.00996
6	11.4	3.1	284	0.01092
7	15.2	3.8	299	0.01271
8	20.1	4.9	346	0.01416
9	26.1	6.0	377	0.01592
10	30.0	3.9	502	0.00777

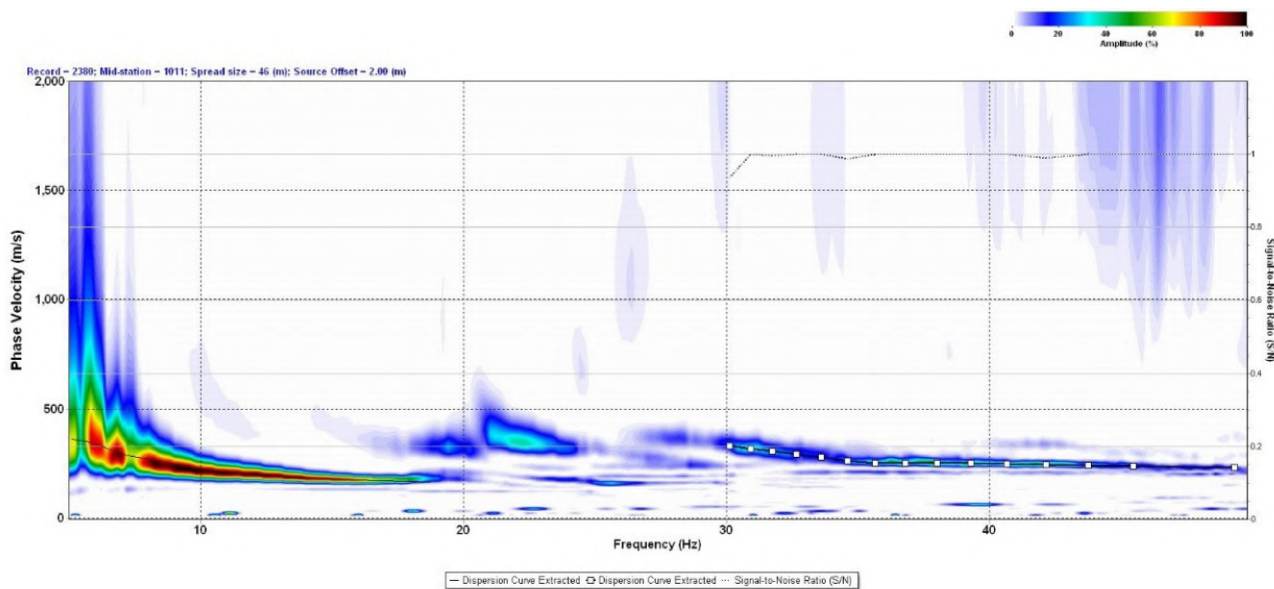
Tabella 6.2.1.4

Adottando i valori numerici dalla prova MASW eseguite, come riepilogato in tabella 6.2.1.4, si ottiene il seguente valore di Vs_{eq}:

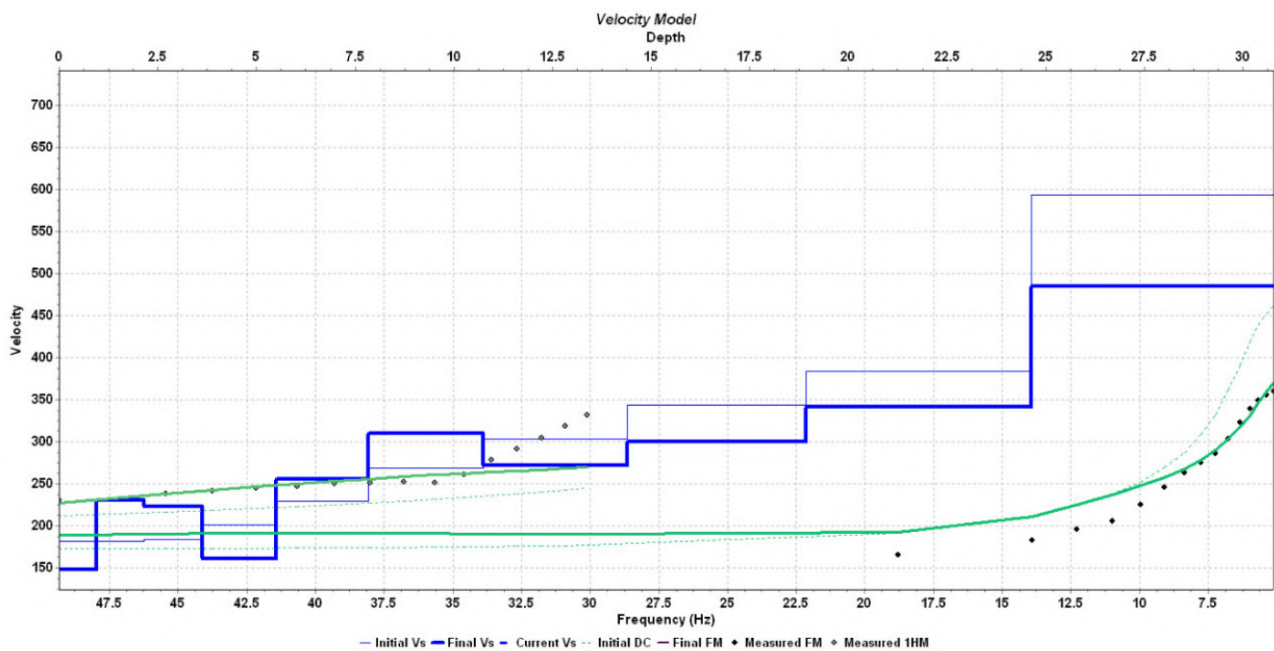
$$V_{s_{eq}} = 267 \text{ m/s}$$

- **MASW 5 (SITO P5)**

Curva di dispersione



Profilo delle velocità Vs



Il processing dei dati acquisiti ha prodotto il seguente risultati in termini di velocità di propagazione delle onde di taglio:

N. strato	Profondità (m)	Spessore (m)	Vs (m/sec)	hi /Vsi
1	1.0	1.0	147	0.00680
2	2.1	1.1	229	0.00480
3	3.6	1.5	223	0.00673
4	5.5	1.9	160	0.01188
5	7.8	2.3	255	0.00902
6	10.7	2.9	310	0.00935
7	14.4	3.7	271	0.01365
8	18.9	4.5	299	0.01505
9	24.6	5.7	341	0.01672
10	30.0	5.4	484	0.01116

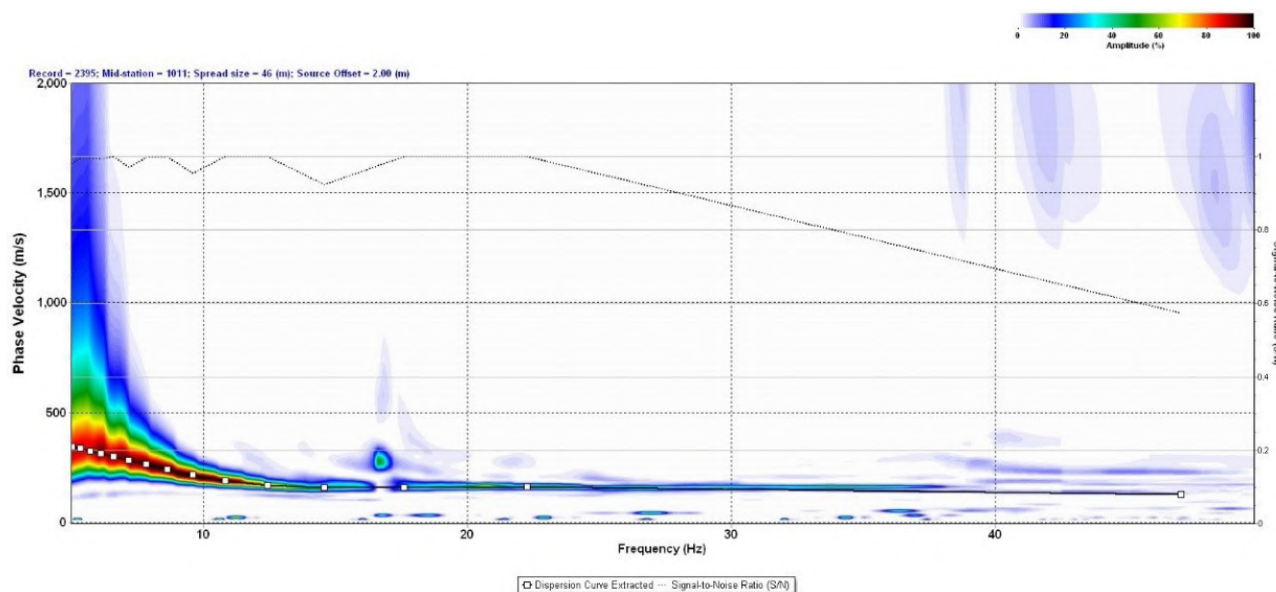
Tabella 6.2.1.5

Adottando i valori numerici dalla prova MASW eseguite, come riepilogato in tabella 6.2.1.5, si ottiene il seguente valore di V_{seq} :

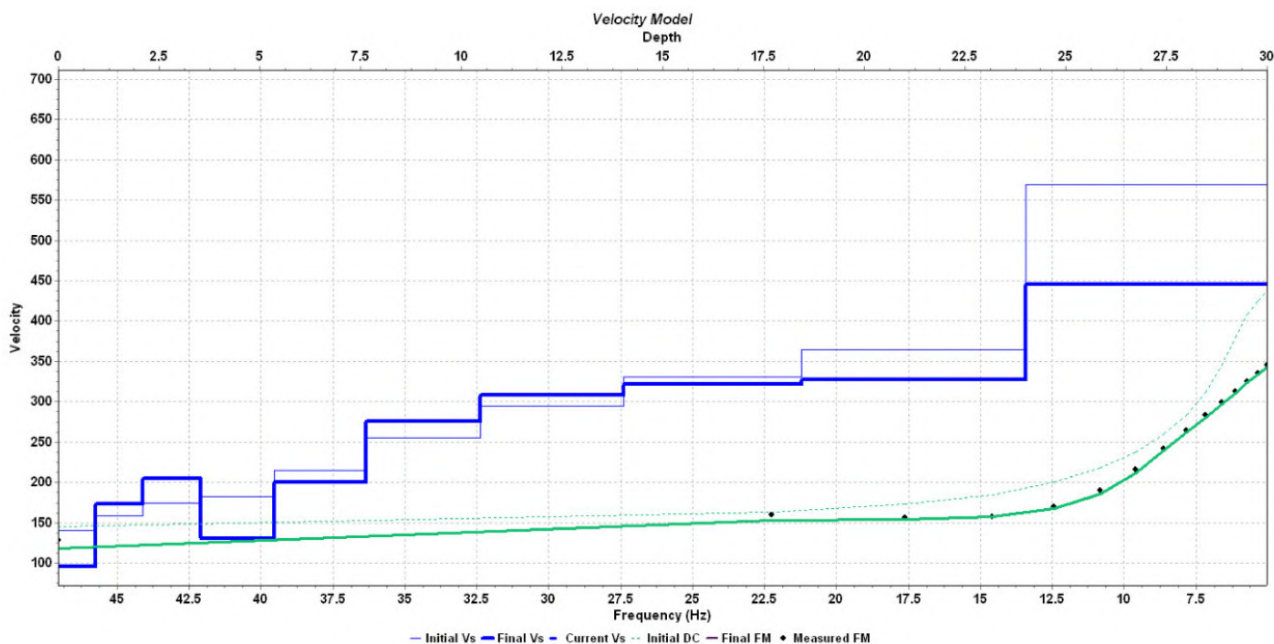
$$V_{seq} = 285 \text{ m/s}$$

- **MASW 6 (SITO P6)**

Curva di dispersione



Profilo delle velocità Vs



Il processing dei dati acquisiti ha prodotto il seguente risultati in termini di velocità di propagazione delle onde di taglio:

N. strato	Profondità (m)	Spessore (m)	Vs (m/sec)	hi /Vsi
1	0.9	0.9	95	0.00947
2	2.1	1.2	173	0.00694
3	3.5	1.4	204	0.00686
4	5.4	1.9	130	0.01462
5	7.6	2.2	200	0.01100
6	10.5	2.9	275	0.01055
7	14.0	3.5	307	0.01140
8	18.5	4.5	321	0.01402
9	24.0	5.5	327	0.01682
10	30.0	6.0	445	0.01348

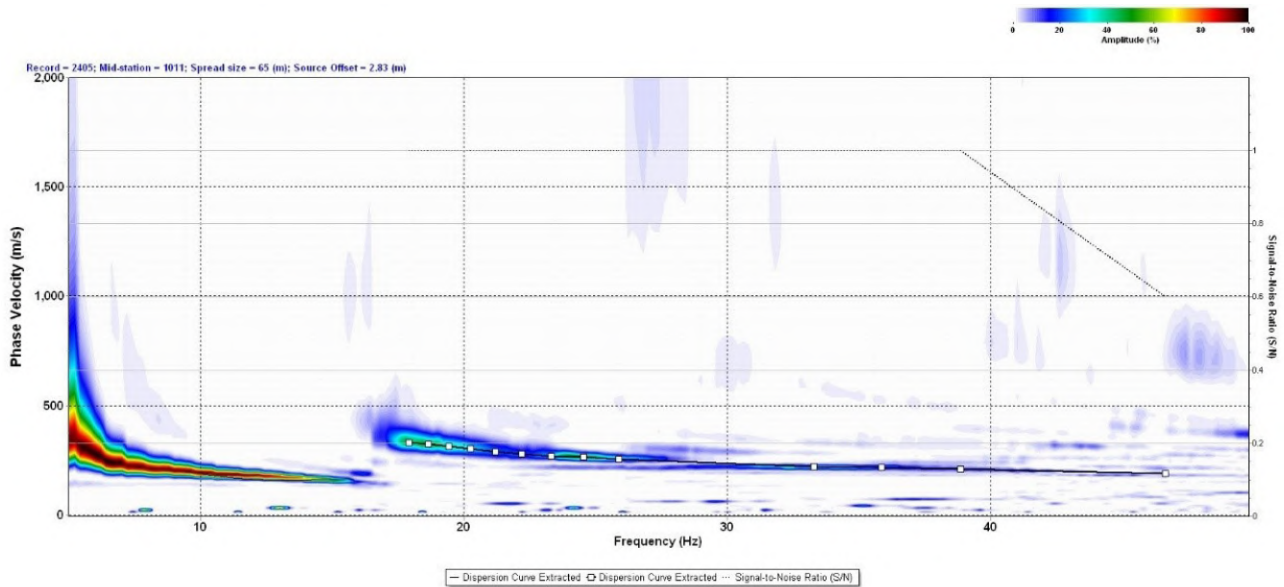
Tabella 6.2.1.6

Adottando i valori numerici dalla prova MASW eseguite, come riepilogato in tabella 6.2.1.6, si ottiene il seguente valore di Vs_{eq}:

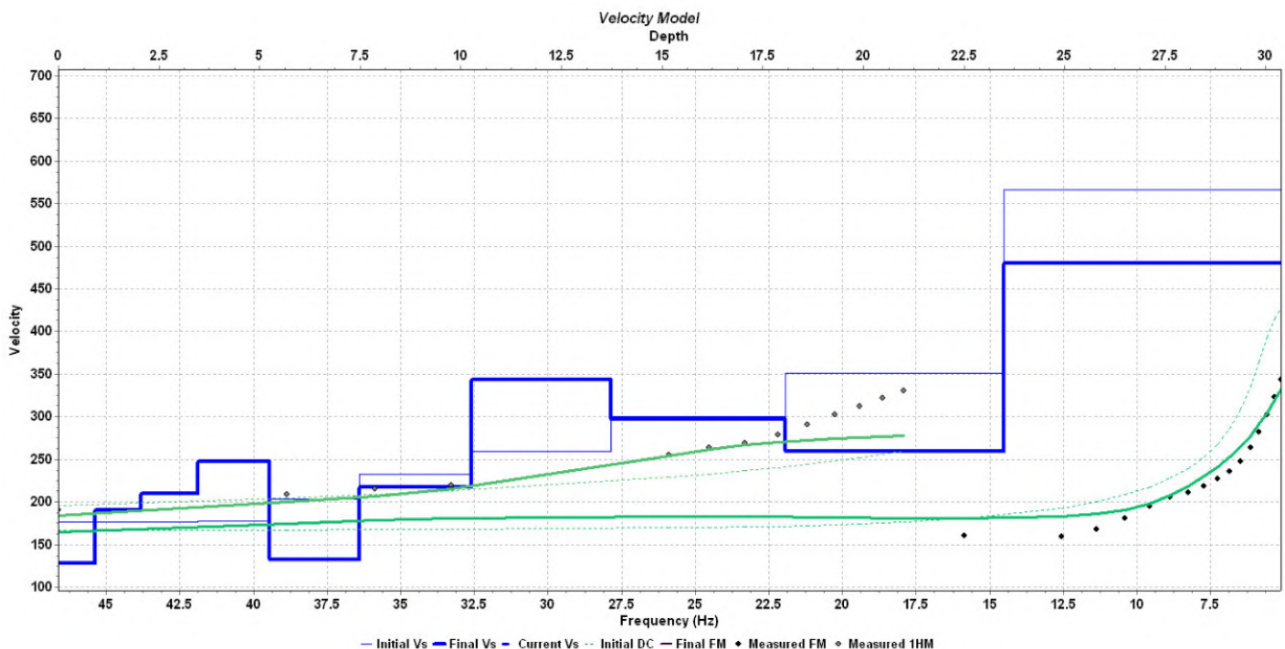
$$V_{s_{eq}} = 261 \text{ m/s}$$

- **MASW 7 (SITO P7)**

Curva di dispersione



Profilo delle velocità Vs



Il processing dei dati acquisiti ha prodotto il seguente risultati in termini di velocità di propagazione delle onde di taglio:

N. strato	Profondità (m)	Spessore (m)	Vs (m/sec)	hi /Vsi
1	0.9	0.9	127	0.00709
2	2.0	1.1	190	0.00579
3	3.7	1.7	209	0.00813
4	5.2	1.5	248	0.00605
5	7.5	2.3	131	0.01756
6	10.3	2.8	217	0.01290
7	13.7	3.4	343	0.00991
8	18.1	4.4	297	0.01481
9	23.5	5.4	259	0.02085
10	30.0	6.5	480	0.01354

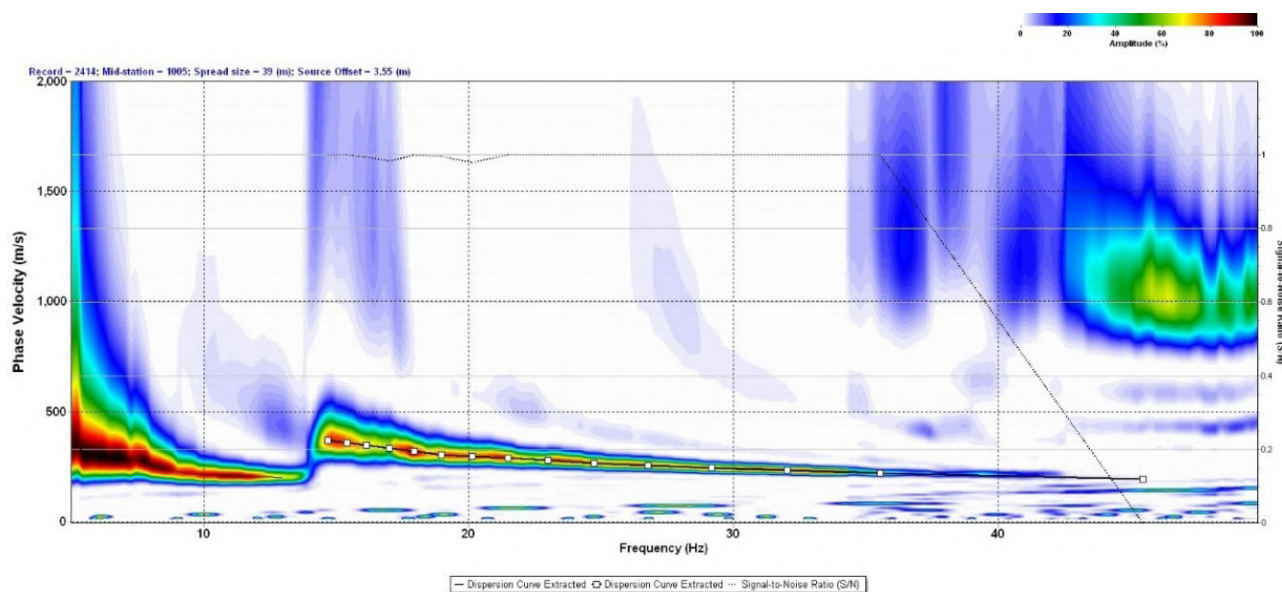
Tabella 6.2.1.7

Adottando i valori numerici dalla prova MASW eseguite, come riepilogato in tabella 6.2.1.7, si ottiene il seguente valore di V_{seq} :

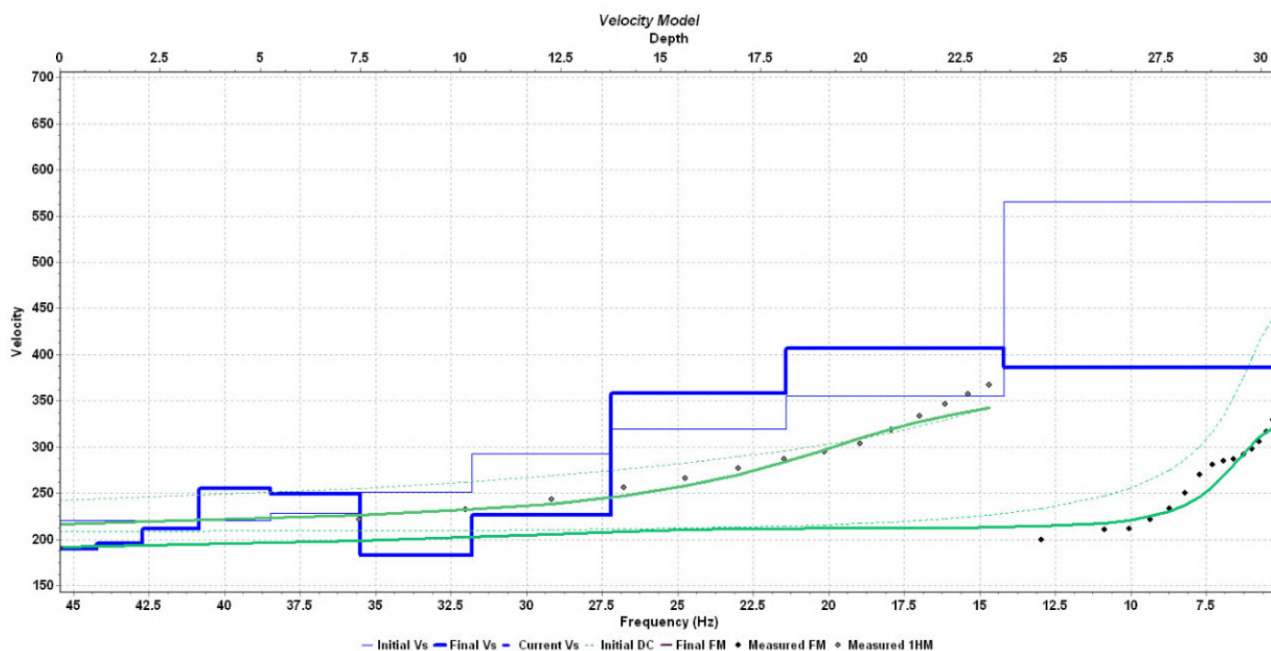
$$V_{seq} = 257 \text{ m/s}$$

- **MASW 8 (SITO P8)**

Curva di dispersione



Profilo delle velocità Vs



Il processing dei dati acquisiti ha prodotto il seguente risultati in termini di velocità di propagazione delle onde di taglio:

N. strato	Profondità (m)	Spessore (m)	Vs (m/sec)	hi /Vsi
1	0.9	0.9	189	0.00476
2	2.1	1.2	195	0.00615
3	3.5	1.4	211	0.00664
4	5.3	1.8	254	0.00709
5	7.5	2.2	249	0.00884
6	10.3	2.8	182	0.01538
7	13.8	3.5	226	0.01549
8	18.1	4.3	358	0.01201
9	23.6	5.5	406	0.01355
10	30.0	6.4	386	0.01658

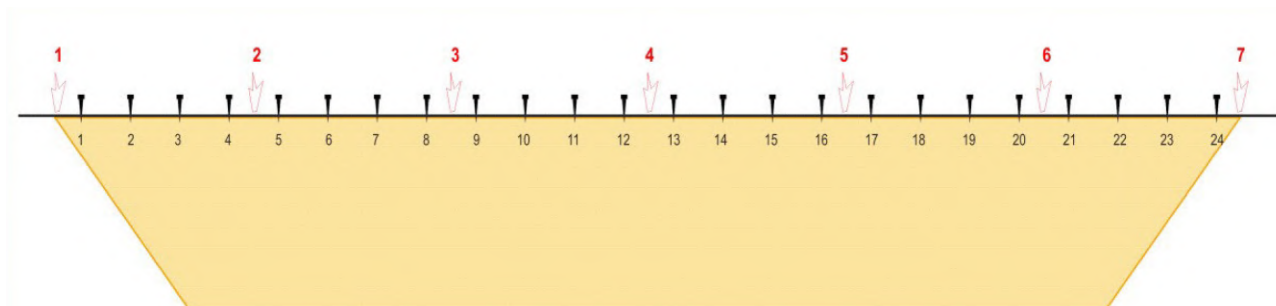
Tabella 6.2.1.8

Adottando i valori numerici dalla prova MASW eseguite, come riepilogato in tabella 6.2.1.8, si ottiene il seguente valore di V_{seq} :

$$V_{seq} = 282 \text{ m/s}$$

6.3 PROVA SISMICA ATTIVA A RIFRAZIONE CON ELABORAZIONE TOMOGRAFICA.

Per la singola indagine è stato adottato un profilo lineare a 24 geofoni aventi distanzainterfonica di 2.0 m lungo uno stendimento di 48.0 mt (Fig. 6.3.1).



Il software *Rayfract* è basato sul modello di calcolo WET (Wavepath Eikonal Traveltime) che consente di ottenere sezioni tomografiche ad alta risoluzione in terreni topograficamente irregolari e substrati con morfologia complessa caratterizzati da variazioni laterali di velocità.

Il WET Tomography inversion è un modello di calcolo che consente di ricostruire un modello di velocità del primo sottosuolo ad alta definizione. Il modello di calcolo consente un'ottimizzazione non lineare dei tempi di arrivo dei travel-time delle onde sismiche dirette e rifratte registrate.

Il processo di calcolo è basato sull'elaborazioni e sviluppo delle seguenti fasi:

- ricostruzione del gradiente di velocità (stratigrafie di velocità sismica) attraverso la tecnica di inversione Delta-t-V, con la quale si ottengono dei profili 1D "profondità-velocità" dai dati di travel-time. La tecnica di inversione Delta-t-V permette di ricostruire con cadenza pari alla metà della cadenza dei geofoni (CMP = Common Mid Point) le successioni di velocità compatibili con l'andamento di tutte le possibili dromocrone nei punti intermedi tra punto di tiro e geofono. Dal modello ricostruito come successione di sismo-strati viene elaborato un modello ad elementi finiti di piccolissime dimensioni che può già rappresentare un attendibile modello del sottosuolo. Tuttavia questo rappresenta una prima approssimazione alla soluzione;
- elaborazione dell'inversione tomografica, in maniera iterativa, del modello Delta-t-V mediante la tecnica 2D WET (Wavepath Eikonal Traveltime). La teoria in proposito basa i modelli tomografici sulla modellizzazione del percorso di un fascio di raggi per ogni primo arrivo, contrariamente a quanto previsto con la tomografia convenzionale basata sulla

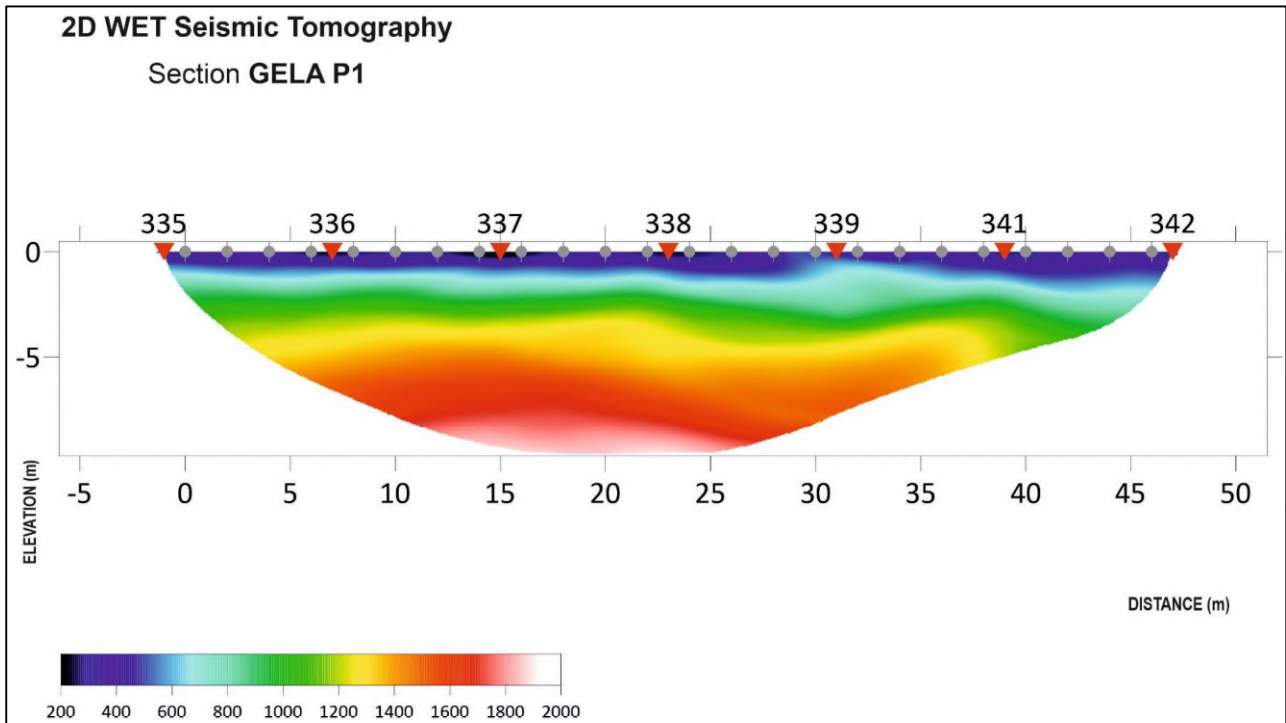
modellizzazione del percorso di un raggio sismico per ogni primo arrivo. In pratica si effettua il calcolo delle differenze dei tempi di arrivo dai vari punti di tiro ai vari geofoni, tra i valori sperimentali misurati nei sismogrammi ed i tempi calcolati sul modello di partenza. In base alle differenze riscontrate, per ciascun percorso delle onde sismiche, si apportano modifiche, in aumento o in diminuzione, delle velocità che caratterizzano i vari elementi che sono stati interessati dal passaggio del fronte d'onda considerato. Ad ogni iterazione, dopo avere apportato le modifiche alle velocità dei vari elementi, il nuovo modello viene sottoposto ad una operazione di smoothing che porta ad una migliore omogeneità dei valori di velocità entro aree di dimensioni maggiori. In genere sono sufficienti da 10 a 20 iterazioni per giungere ad un modello che porta a scarti medi tra i tempi (Traveltime) dei vari percorsi dell'ordine di qualche millisecondo (Schuster & Quintus-Bosz,1999).

Infine, l'elaborazione dei dati (gridding, l'imaging ed il contouring) in termini di velocità delle onde P, lungo la sezione è stata eseguita mediante l'utilizzo di un algoritmo di calcolo polinomiale "Kriging" (Matheron,1971), orientato da una funzione di ricerca, dell'intorno dei valori, con area circolare e costante. L'algoritmo utilizzato per l'interpolazione, il kriging, meglio conosciuto come metodo dell'interpolazione ottimale, si basa sul fatto che la grandezza regionale da interpolare è troppo irregolare perché sia modellata da funzioni matematiche regolari ma può essere descritta da una superficie stocastica. L'interpolazione prevede una prima fase nella quale si indagano gli aspetti stocastici delle variabili regionalizzate

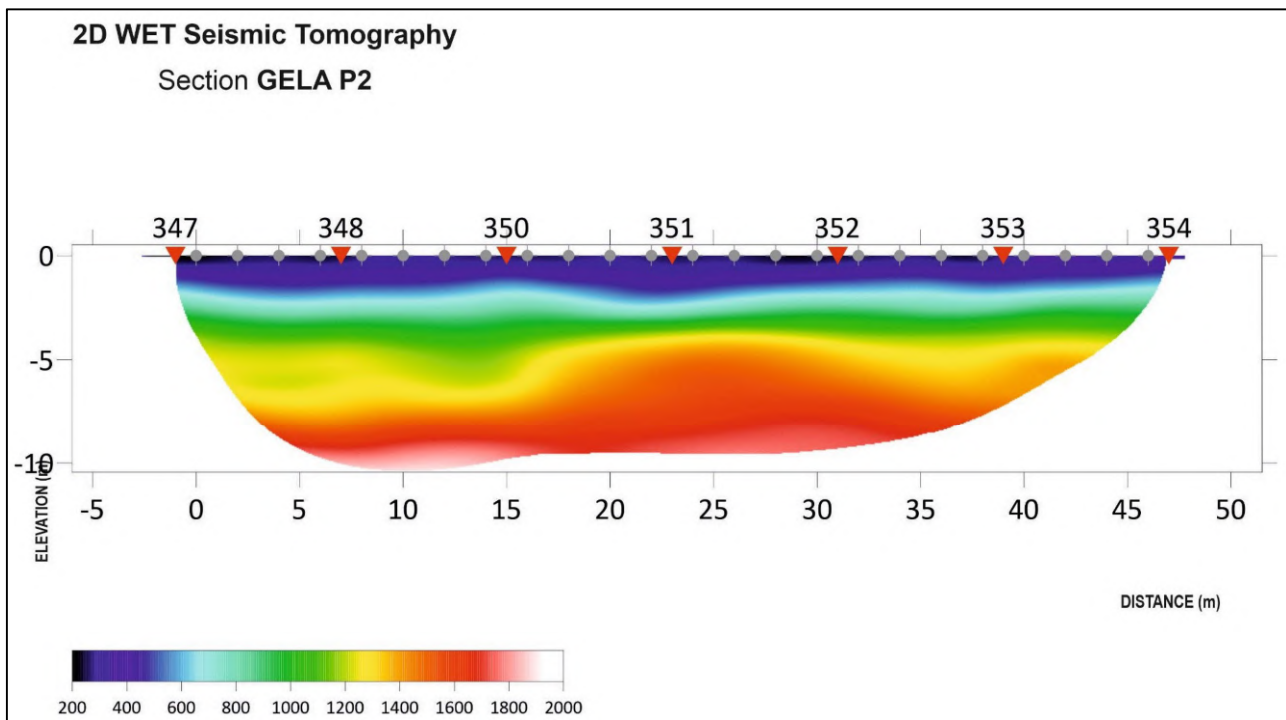
Per l'elaborazione e l'interpretazione tomografica è stato utilizzato il programma "**Rayfract 32**" (vers. 4.2) sviluppato dalla "Intelligent Resources Inc.", che utilizza come modello di calcolo il **WET Tomography processing**. Per la costruzione dromocrnone è stata effettuata utilizzando il modulo di picking automatico "Win_Point".

6.2.2 RISULTATI TOMOGRAFIE SISMICHE A RIFRAZIONE

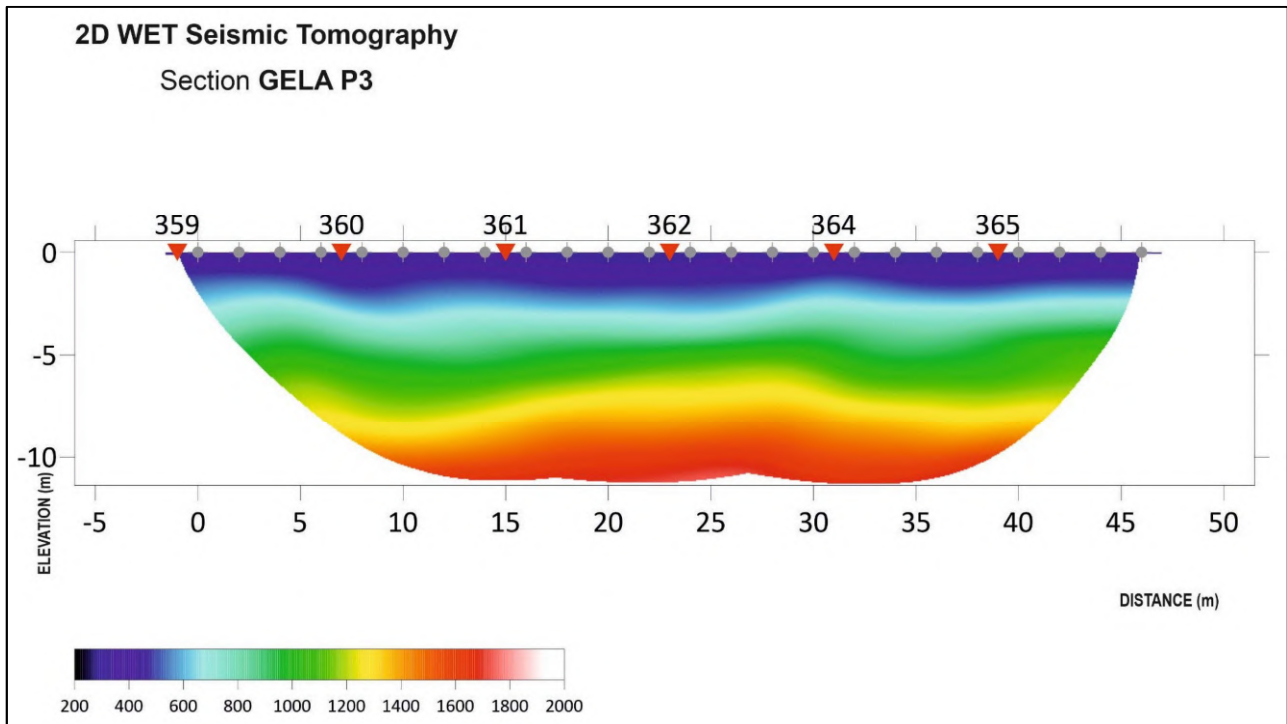
- *TS 1 (SITO P1)*



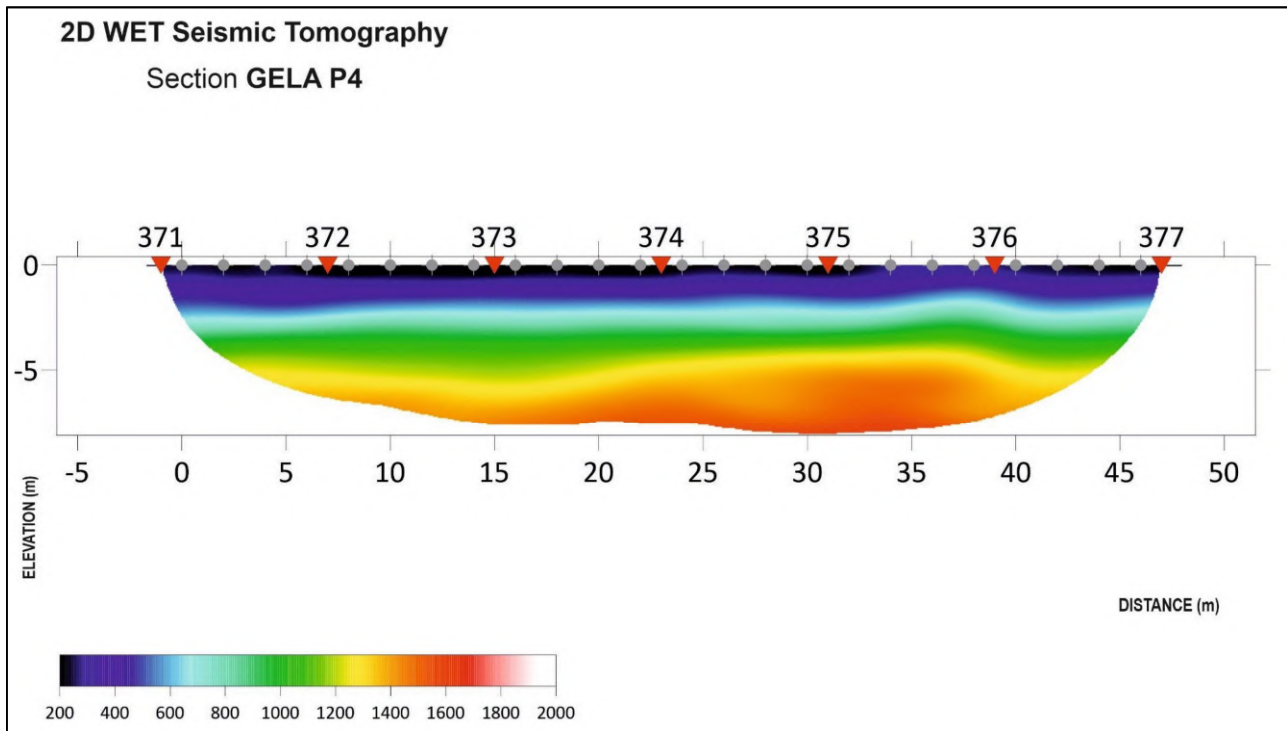
- *TS 2 (SITO P2)*



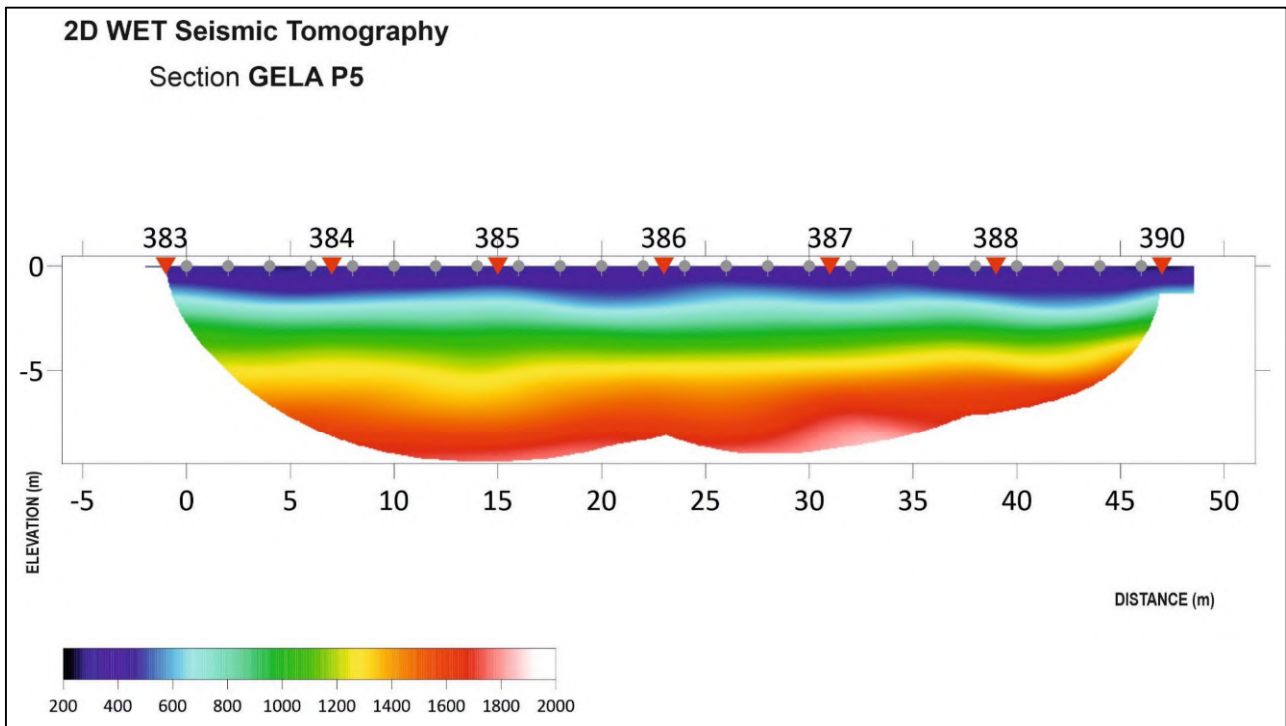
- **TS 3 (SITO P3)**



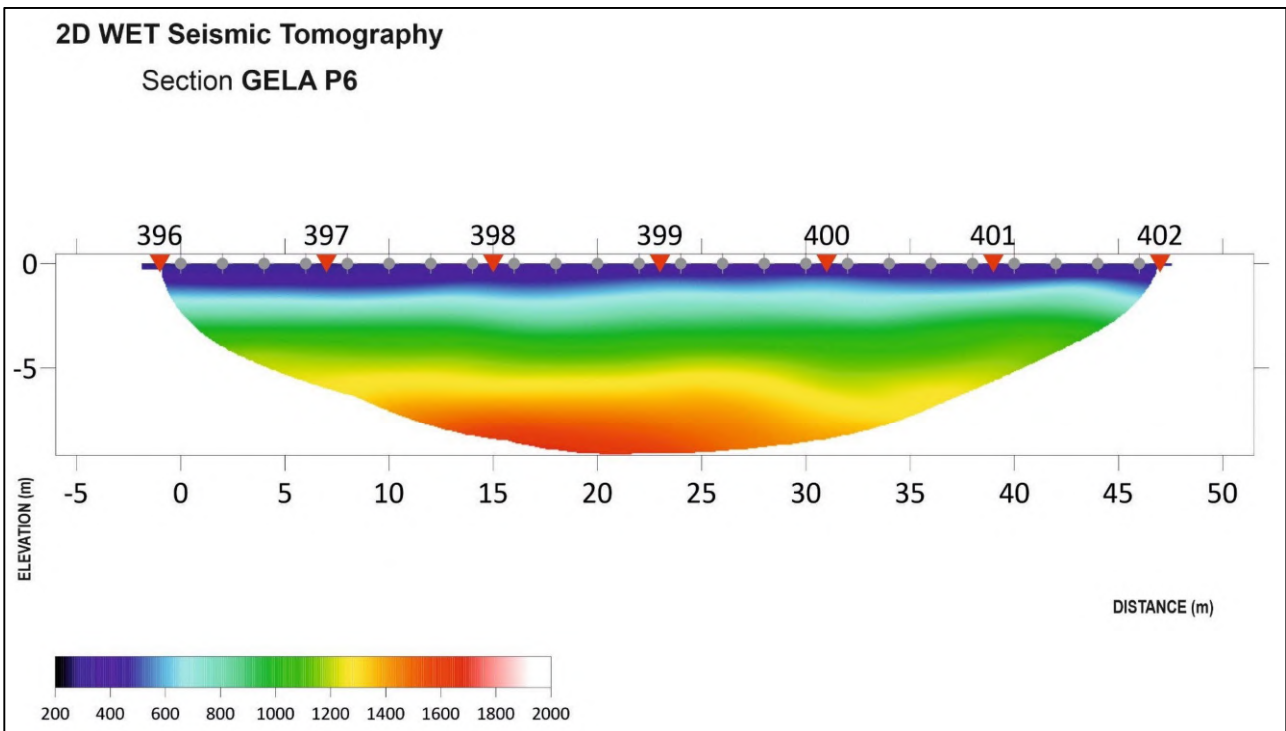
- **TS 4 (SITO P4)**



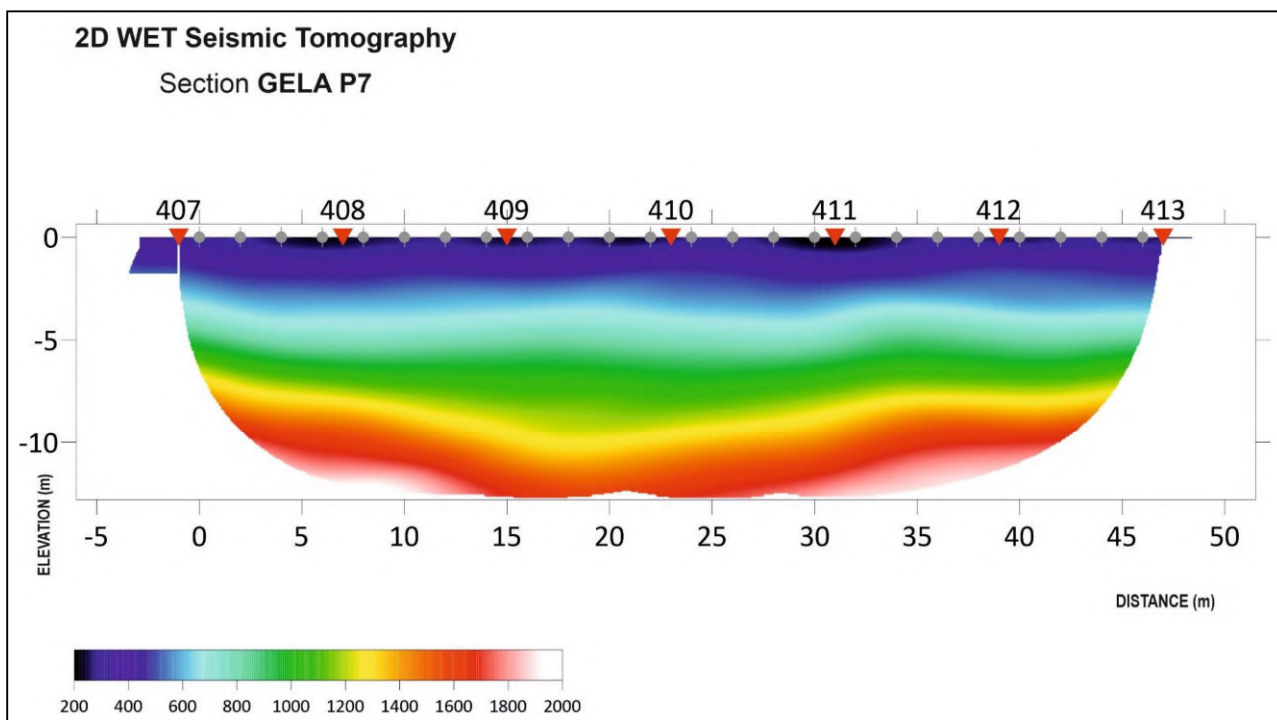
- **TS 5 (SITO P5)**



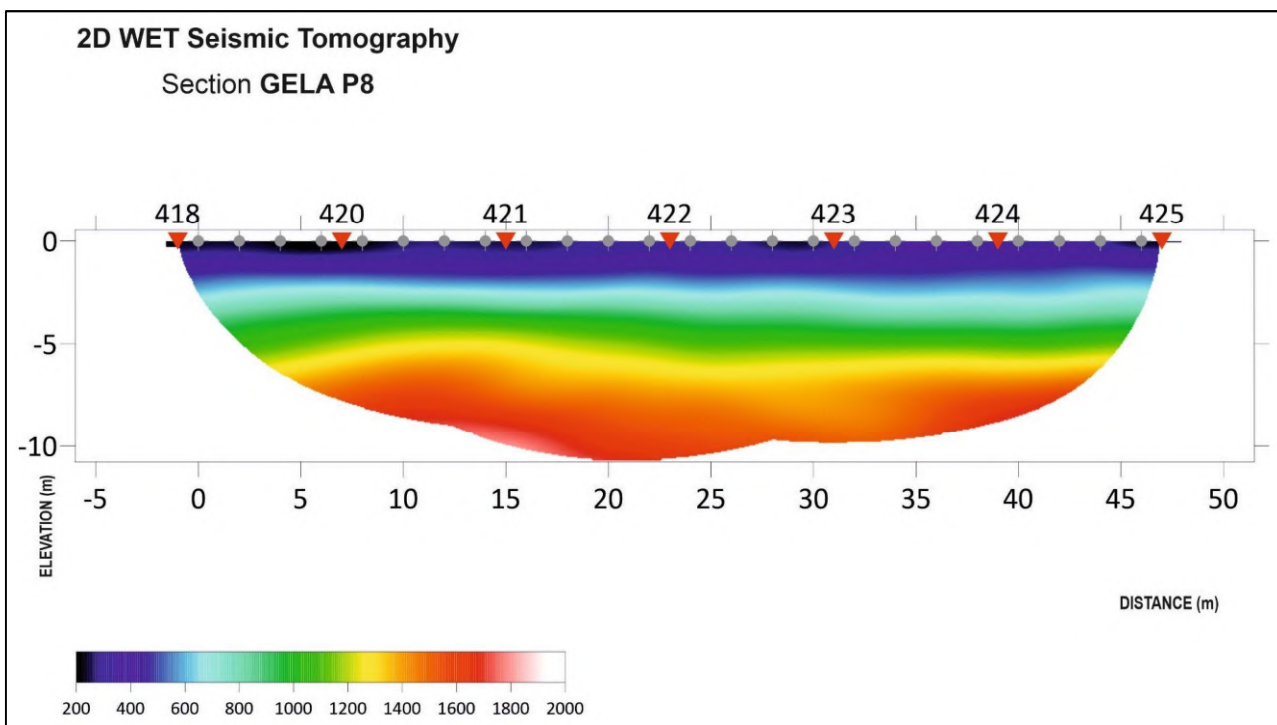
- **TS 6 (SITO P6)**



- **TS 7 (SITO P7)**



- **TS 8 (SITO P8)**



6.4 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

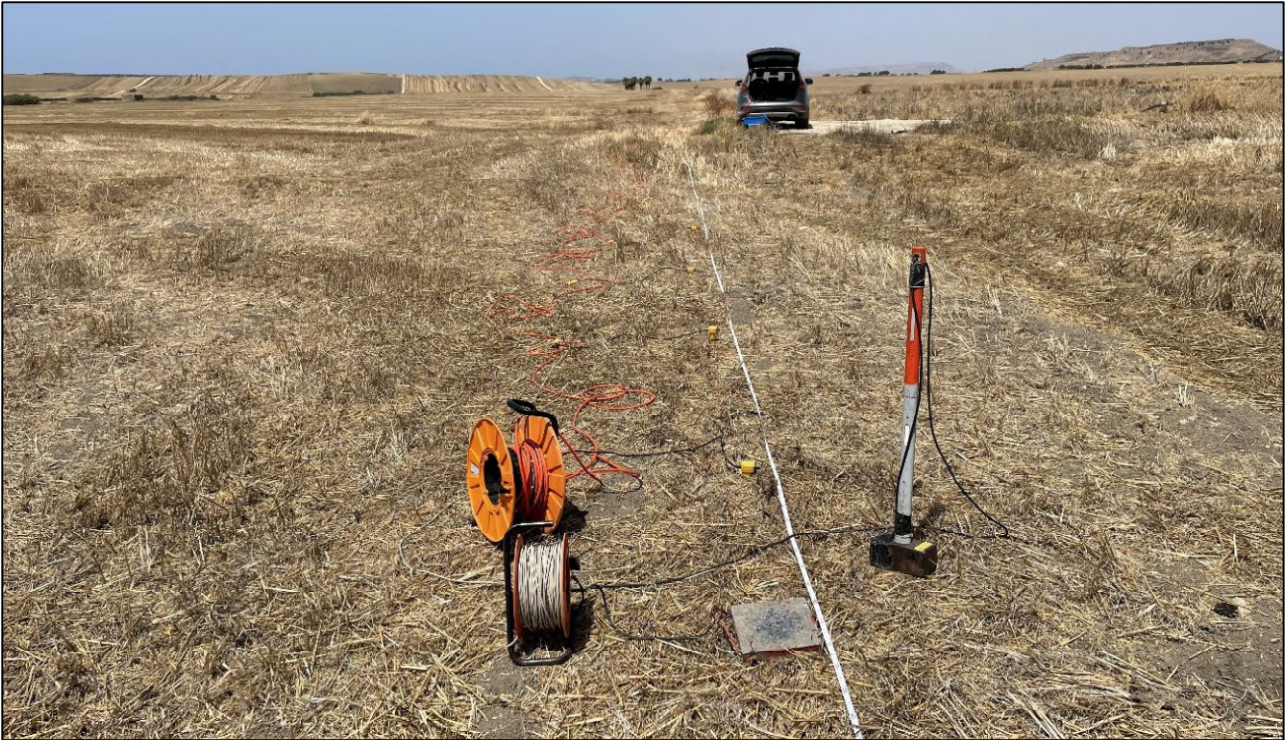
- *SITO P1 (MASW 1 e TS 1)*



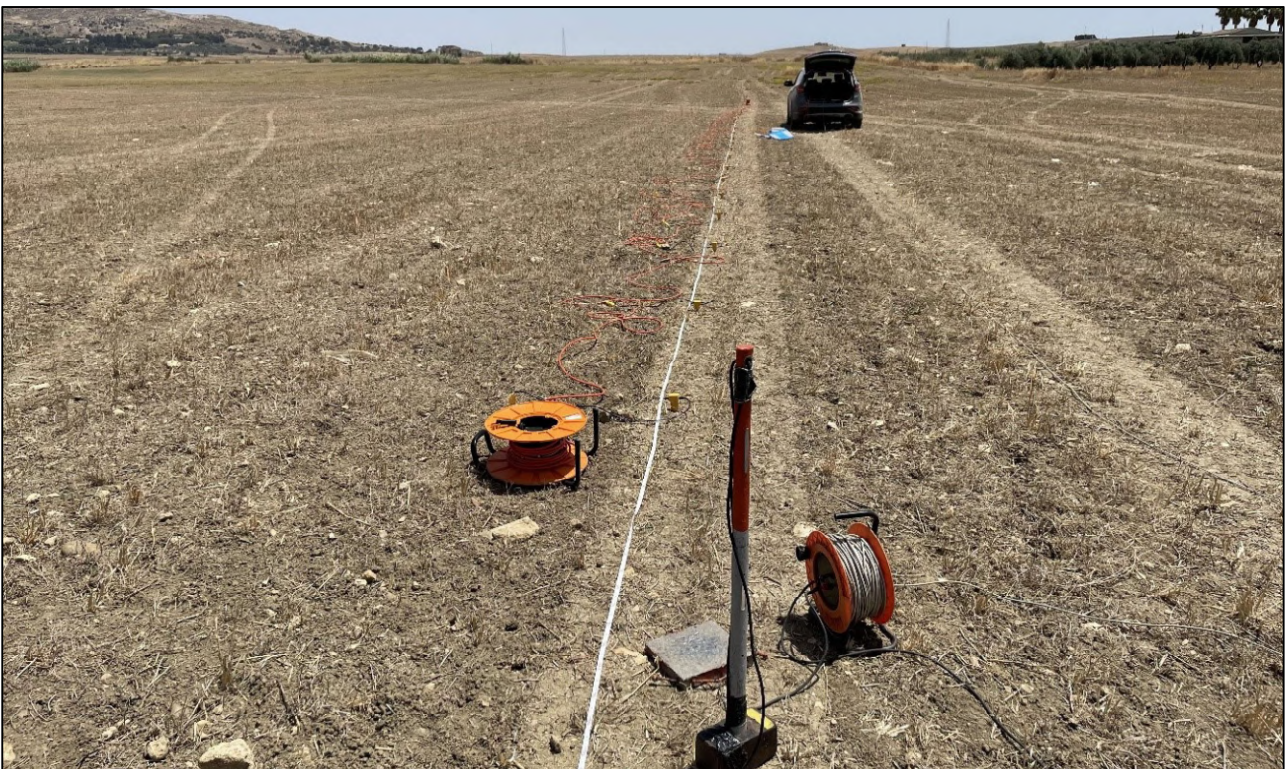
- *SITO P2 (MASW 2 e TS 2)*



- **SITO P3 (MASW 3 e TS 3)**



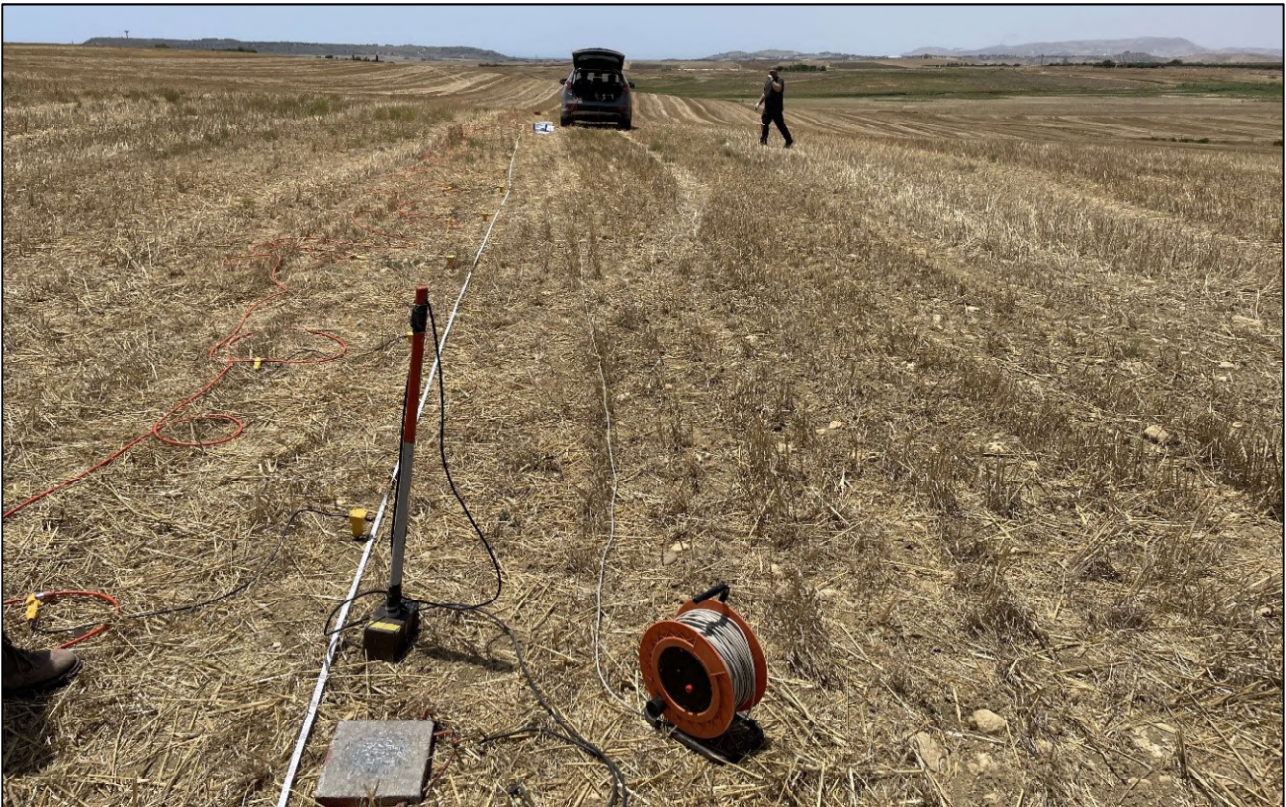
- **SITO P4 (MASW 4 e TS 4)**



- **SITO P5 (MASW 5 e TS 5)**



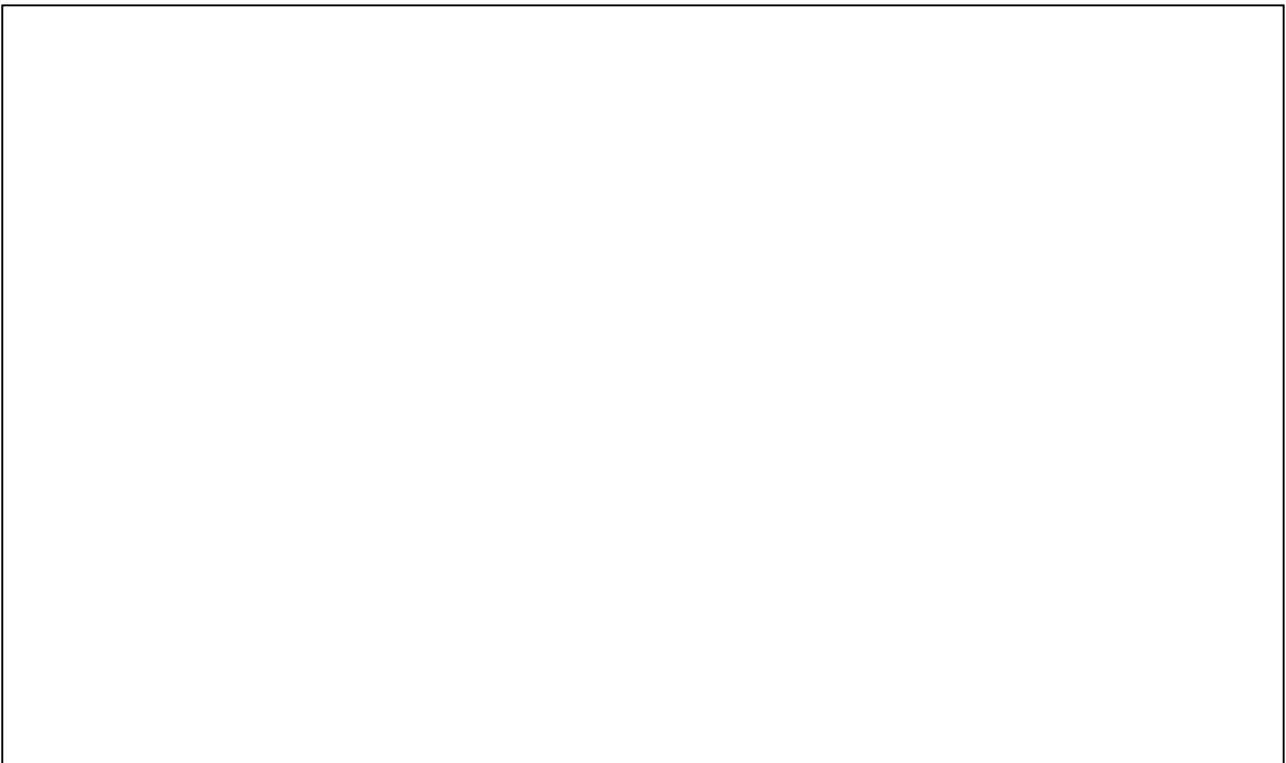
- **SITO P6 (MASW 6 e TS 6)**



- **SITO P7 (MASW 7 e TS 7)**



- **SITO P8 (MASW 8 e TS 8)**



7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

- Su commessa conferita dalla Ditta GELA SOLAR POWER srl, relativamente alle attività a supporto del progetto di costruzione di impianti energetici rinnovabili nel territorio comunale di GELA (CL), lo scrivente professionista ha svolto le prestazioni professionali inerenti gli studi geologici.
- L'area in cui è prevista la realizzazione del parco fotovoltaico è ubicata nel Comune di GELA, in provincia di Caltanissetta.
- L'impianto agrivoltaico è composto da 2 MACRO-AREE, comprendenti 3 CAMPI.
- E' stata condotta una analisi vincolistica relativa al Piano per l'assetto idrogeologico sia per gli aspetti di natura geomorfologica (dissesti) sia per gli aspetti di natura idraulica.
- Dal punto di vista stratigrafico, nel dettaglio, nell'area di progetto, le formazioni affioranti sono (dalla più antica a quella più recente):
 - Formazione Agrigento - Gruppo Ribera
 - Depositi alluvionali recenti
- Le caratteristiche idrogeologiche di un territorio sono, quasi sempre, legate alla natura dei terreni in esso affioranti o, in casi più rari, a quelle dei terreni in esso presenti anche se solo in profondità. Nel capitolo 4 sono stati distinti i terreni in funzione del grado di permeabilità.
- Per la peculiare situazione strutturale e sismologica, il Comune di Gela è stato inserito nella zona sismica 2, definita nell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 2003.
- Il rilevamento geologico effettuato, integrato da un'attenta analisi bibliografica sull'assetto tettonico-strutturale, non ha evidenziato la presenza di fagliazione superficiale nell'area di stretto interesse.

- Al fine di caratterizzare preliminarmente i terreni affioranti nell'area di progetto è stata condotta una campagna di indagini geofisiche.
- In fase di progettazione esecutiva, la conoscenza geotecnica e sismica dei terreni ospitanti le opere in progetto sarà integrata da mirate indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio.
- Per quanto riguarda le previsioni progettuali inerenti modellazione superficiale dei terreni e sistemazione idraulica dell'area di progetto di rimanda alle relazioni agronomica e idraulica.
- Per quanto sopra esposto, non si rilasciano prescrizioni di carattere geologico in quanto il sito risulta idoneo per le finalità progettuali.

Nicolosi, agosto 2022

IL GEOLOGO

Dott. Carlo Cassaniti