

Unione Europea
REPUBBLICA ITALIANA



Regione Siciliana

Assessorato delle Infrastrutture e della Mobilità
Dipartimento Regionale Tecnico

*Servizio 5 - Espletamento di servizi di ingegneria di competenza
regionale e/o per conto di enti locali
(per le Province di Palermo, Caltanissetta, Agrigento, Trapani)*

**INTERVENTI DI SISTEMAZIONE NELLA S.P. N°6 (DALLA S.S.N°121 AL COMUNE DI
TRABIA) PER RIPRISTINO DELLA VIABILITA' IN SICUREZZA.**

IMPORTO COMPLESSIVO LAVORI € **4.300.000,00**- CUP D27H21000410002

RIFERIMENTO ELABORATO

N.01 - Rev.01

DATA: **25 maggio 2021**

SCALA:

RELAZIONE GEOLOGICA

I PROGETTISTI
p.p.v.

F.to Geom. Paolo Franzone

F.to Geom. Francesco Carollo

F.to Arch. Giuseppe Pedone

COORDINATORE SICUREZZA

F.to Geom. Francesco Carollo

COLLABORATORI TECNICI

Arch. Fabiola Fucile

Ing. Piero Fabio

Visto: Il Dirigente
Servizio 5 -D.R.T
Ing. Giuseppe Pirrello

IL SUPPORTO AL R.U.P.
F.to Geom. Fabrizio Pirrone

IL R.U.P.
F.to Ing. Giuseppe Pirrello



COMUNE DI VENTIMIGLIA DI SICILIA
Città metropolitana di Palermo



**STUDIO GEOLOGICO PER GLI INTERVENTI DI
SISTEMAZIONE DELLA S.P.6 DALLA SS121
AL COMUNE DI TRABIA**

Relazione geologica

Allegati:

- Allegato 1 - Indagini in situ
- Tav. 1
- Tav. 2
- Tav. 3
- Tav. 4
- Tav. 5

Data: marzo 2021

Il Geologo

Dott. Giuseppe Marino



dott.Geol. Giuseppe Marino

Via Roma n. 25/A

91026 Mazara del Vallo (TP)

Tel. +39-0923-946777

Fax +39-0923-946777

www.geologomarino.it

info@geologomarino.it

Indice

1. Premessa.....	Pag. 3
2. Caratterizzazione e modellizzazione geologica	Pag. 5
2.1 Inquadramento geografico e aspetti morfologici	Pag. 5
2.2. Indagini in situ per la modellizzazione geologica ...	Pag. 6
2.3 Modello geologico di riferimento (MGR).....	Pag. 7
3. Caratterizzazione geotecnica e risposta elastica	Pag. 16
4. Considerazioni conclusive.....	Pag.19

1. Premessa

Nell'ambito dell'atteso intervento di sistemazione e messa in sicurezza della S.P.6 si è eseguito, a seguito dell'aggiudicazione della gara indetta dal Comune di Ventimiglia di Sicilia, lo studio geologico degli areali in cui sono previsti gli interventi progettuali.

Il tracciato della strada provinciale attraversa differenti e variegati contesti ambientali e si sviluppa con un articolato percorso dall'innesto con la S.P.121 fino al Comune di Trabia .

Lo studio, oltre ad essere finalizzato a definire le caratteristiche geologiche salienti delle aree di interesse progettuale, è stato anche mirato ad una valutazione generale delle diverse criticità geoambientali esistenti lungo il tracciato, criticità che allo attuale condizionano significativamente sia l'efficienza della piattaforma stradale sia la sua transitabilità in termini di sicurezza.

Il lavoro svolto, compatibilmente con le risorse economiche disponibili, è stato anche corredato da indagini in situ, indagini che, data la vastità e complessità geologica del contesto territoriale attraversato dalla infrastruttura stradale, si è cercato di ubicare nei punti dove, ad un primo sopralluogo dei luoghi, si è manifestata più palese l'esigenza di specifici approfondimenti specialistici.

Con lo scopo di condurre tecnicamente ed economicamente al meglio lo studio, il lavoro svolto è stato quindi corredato dai seguenti elaborati:

- *corografia generale su stralcio CTR con l'indicazione dello sviluppo dell'intero tracciato stradale della S.P.6 – **tav. 1**;*
- *carta delle indagini – **tav. 2***
- *carta topografica e profili – **tav. 3**;*
- *carta delle interferenze con il PAI – **tav.4**;*
- *carta geologica dei tratti di progetto corredata da colonne stratigrafiche – **tav. 5**;*

2 Caratterizzazione e modellizzazione geologica

2.1 Inquadramento geografico e aspetti morfologici

L'infrastruttura stradale attraversa un contesto geografico abbastanza vasto e variegato, contesto che interessa i fogli 608040, 608060, 608070 e 608080 della CTR in scala 1: 10.000 della Regione Siciliana e che dal litorale tirrenico si insinua nell'entroterra della Sicilia centro occidentale. Dal punto di vista altimetrico le quote topografiche più basse si registrano nel territorio di Trabia (ca. 60 m s.l.m.) mentre nell'entroterra in alcuni tratti compresi fra i comuni di Ventimiglia di Sicilia e Baucina si raggiungono quote intorno ai 600 m.

La morfologia dei luoghi è quindi molta varia e qualificata nella sua parte più settentrionale (zona di Trabia) da terrazzi marini e, verso l'entroterra, da un ambiente montuoso-collinare con presenza di alti strutturali che limitano le zone vallive; la specifica conformazione dei luoghi da origine ad un paesaggio in cui all'asprezza dei rilievi montuosi si contrappongono le forme più dolci e regolari delle zone topografiche più basse. Si tratta di un territorio ad elevata energia di rilievo la cui genesi è stata dettata da complessi fenomeni tettonici legati alla messa in posto della catena siciliana ed il cui modellamento è governato prevalentemente da azioni di tipo fisico.

Nell'insieme l'area attraversata dalla infrastruttura stradale è quindi espressione di differenti paesaggi e, per la sua geodiversità, mostra un notevole pregio paesaggistico.

Dal punto di vista della rete idrografica nel contesto geoambientale dei luoghi si realizza uno spartiacque regionale con corsi d'acqua che hanno la foce lungo il litorale tirrenico (fiume San Leonardo ed Eleuterio) e fiumi che, invece, hanno come recapito finale il canale di Sicilia (Fiume Belice sinistro).

La diversità degli affioramenti litologici e delle condizioni strutturali determina pattern di drenaggio differenti e alla forme di tipo dendritico tipiche delle rocce plastiche si contrappongono linee d'impluvio controllate da discontinuità strutturali o da contatti fra termini litologici rigidi e plastici che determinano l'instaurarsi di segmenti fluviali in adiacenza alle due diverse litologie affioranti.

In allegato si riporta un mosaico dei fogli CTR interessati dall'intera infrastruttura stradale con indicato in rosso l'intero tracciato della S.P. 6, la carta con l'ubicazione delle indagini (tav. 2) e, per avere una visione d'insieme di dettaglio del contesto morfologico dei luoghi anche una carta a curve di livello ricavata dal modello digitale del terreno fornito dalla Regione Siciliana con sovrapposta la strada di progetto e una rappresentazione in 3D dello stesso modello digitale (tav.3). Nella stessa carta sono anche riportati dei profili topografici diversamente orientati che interessano la sede stradale nei diversi tratti di progetto previsti.

2.2 Indagini in situ per la modellizzazione geologica

A supporto della ricostruzione della geologia dei luoghi ed in relazione alla vastità areale degli interventi attesi, la campagna di indagini prevista in fase di gara, è stata, in accordo anche con il RUP e la committenza, modificata in alcune categorie di lavoro immaginate originariamente per renderla più coerente alla realtà geologica dei

luoghi e, compatibilmente ai vincoli dettati dalla normativa vigente, ulteriormente implementata con indagini in grado di fornire informazioni su volumi di sottosuolo arealmente estesi.

In relazione a ciò sono state esperite prospezioni geofisiche di sismica passiva a stazione singola (*HVSR*) ed in array (*Re.Mi*).

Le modalità di esecuzione di queste indagini, la strumentazione utilizzata ed i risultati conseguiti sono illustrati nell'elaborato (*allegato 1*) a corredo dello studio geologico; di seguito si riprendono gli aspetti salienti emersi dalla interpretazione delle diverse prospezioni rimandando per maggiori dettagli allo stesso allegato.

- ❑ *la sismica passiva Re.Mi ha consentito una investigazione dei terreni su cui si sviluppa l'infrastruttura stradale fino a notevoli profondità, evidenziando come il sottosuolo più prossimo alla piattaforma stradale sia qualificato, nei punti investigati, da litotipi di scadente risposta elastica;*
- ❑ *in cinque dei sei profili Re.Mi realizzati, si è ottenuta una classificazione dei terreni in categoria litostratigrafica "B"; solo per profilo Re.Mi Rm 6, si è ottenuta una classificazione in categoria "C".*
- ❑ *in entrambe le due misure di microtremore a stazione singola (HVSR) sono state riscontrate condizioni di amplificazione dei terreni con frequenze rientranti nel range di frequenze di interesse ingegneristico (0.5 -20 Hz).*

2.3 Modello geologico di riferimento (MGR)

La descrizione geologica dell'area di progetto non può certamente prescindere dal quadro geologico generale che ha portato in ultimo nel corso dei tempi geologici alla formazione della catena siciliana.

I terreni affioranti in questa parte dell'isola sono riferibili alla messa in posto della catena nella Sicilia centro occidentale ed in particolare nell'areale studiato si realizza la sovrapposizione di unità pellicolari derivanti dalla deformazione di originari domini di mare profondo meso-cenozoici (Sicilide, Imerese e Sicano) che si impilano su unità tettoniche derivanti dalla deformazione di una originaria piattaforma carbonatica. L'evoluzione cinematica di tali rapporti, molto complessi e governati dalla tettonica, è tutt'oggi ancora oggetto di differenti interpretazioni scientifiche e senza entrare nel merito della diversità di ricostruzione paleogeografiche, l'infrastruttura stradale interessa nel suo intero sviluppo una diversità di facies riconducibili a differenti domini paleogeografici con terreni carbonatici e silico clastici meso-cenozoici e depositi terrigeni clastici dei bacini sintettonici di età mio-pliocenica.

La diversità degli affioramenti litologici riflette la complessità tettonica dell'area studiata ed il tracciato dell'infrastruttura stradale è anche interessato nel suo articolato sviluppo da importanti elementi lineari. Per gli aspetti geologici comunque lo studio è stato essenzialmente centrato sui tratti d'intervento tratti che nella sostanza sono interessati in affioramento da coperture di alterazione, detriti di falda e litologie pelitico argillose; nella carta geologica realizzata per i tratti di progetto sono riportati le litologie affioranti e gli elementi lineari che si relazionano con l'infrastruttura stradale.

L'analisi geomorfologica di dettaglio, condotta lungo l'intero tracciato stradale ha evidenziato una diversità di forme e processi geomorfici, diversità che è da relazionarsi alla molteplicità dei tipi litologici, alla morfologia dei luoghi e al contesto stratigrafico e tettonico. In particolare per le litologie plastiche prevalgono le forme e processi tipici dei versanti argillosi con presenza diffusa di avvallamenti, zone di rigonfiamento, colamenti superficiali e localmente anche condizioni di più

spinta alterazione degli equilibri naturali con presenza di zone in frana. Nella foto 1, 2, e 3 sono rappresentati alcuni dei tratti in cui l'infrastruttura stradale è interessata da movimenti franosi, tratti con indicati in foto fra parentesi, anche la posizione GPS in gradi decimali di questi punti di criticità geomorfologica.



Foto 1 - Tratto interessato da frana (37.983320 N -13.628517 E)



Foto 2 - Crisi statica di muro di contenimento prossimo al punto della foto 1 (37.983320 N -13.628517 E)



Foto 3 - Tratto interessato da frana (37.975734 N -13.624663 E)

Non meno significativi sono le forme ed i processi dei tratti in cui l'infrastruttura stradale attraversa o è molto prossima ad affioramenti di rocce lapidee; in questi tratti, infatti, l'acclività dei versanti è tale da determinare, in alcuni punti, il rischio che il distacco di alcuni blocchi possa interessare la sede stradale. Nelle foto 4 e 5 sono raffigurati tratti in cui è evidente una assenza o una inadeguata protezione della sede stradale mentre nella foto 6 è ripreso un tratto in cui un blocco distaccatosi dalle quote geometricamente più elevate ha raggiunto la sua posizione di equilibrio in un punto molto prossimo alla sede stradale



Foto 4 - Tratto con assenza di protezione per crolli di blocchi lapidei (37.993261 N -13.638552 E)



Foto 5 - Tratto con inadeguata protezione da crolli di blocchi lapidei (37.977309 N -13.629579 E)

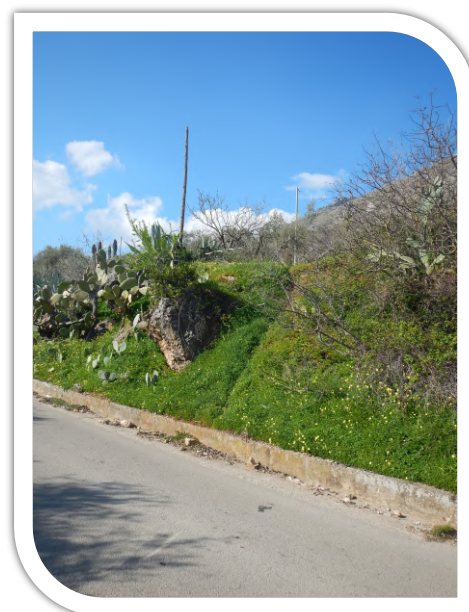


Foto 6 - Blocco lapideo molto prossimo alla sede stradale (37.920160 N -13.581205 E)

A parte i naturali i fenomeni legati alla gravità anche l'azione antropica contribuisce ad una modificazione delle naturali condizioni di equilibrio dei luoghi con pratiche agricole lungo gli impluvi che oltre a produrre una alterazione degli equilibri dei corsi d'acqua naturali, minacciano anche la staticità delle opere d'arte esistenti per l'attraversamenti degli stessi impluvi (foto 7).



Foto 7 - Pratiche agricole alteranti la conformazione degli impluvi (37.977309 N 13.629579 E)

Dal punto di vista idrogeologico, vista la specificità del lavoro, l'attenzione è stata posta essenzialmente ad una verifica della interazione tra reticolo idrografico superficiale ed asse stradale e alla modalità di allontanamento delle acque dalla infrastruttura stradale. Per l'acclività dei luoghi e la natura litologica dei terreni affioranti le acque tendono a defluire in maniera selvaggia verso le quote topografiche più basse con un pattern di drenaggio prevalentemente dendritico che si raccorda in alcuni tratti con decise linee d'impluvio. La strada d'interesse progettuale, che si sviluppa in prevalenza a mezza costa, viene quindi attraversata dalle acque che da monte tendono naturalmente a raggiungere le zone vallive.

Allo stato attuale il disordine idrogeologico dei versanti a monte della infrastruttura stradale unito ad una mancanza od inadeguatezza delle opere di drenaggio esistenti, oltre che ad una assenza di manutenzione, comporta un afflusso delle acque di ruscellamento superficiale sulla strada, afflusso che determina diffusi ammaloramenti della regolarità superficiale (ondulazioni, depressioni localizzate, etc.) e delle portanza (fessure, alterazioni pendenze trasversali, etc.) della sovrastruttura stradale e che nella sostanza interessano l'intero tracciato della S.P. 6.

Nella foto 8 è raffigurato uno dei tipici contesti della strada d'interesse progettuale in cui sono evidenti gli ammaloramenti descritti.



Foto 8 - Ammaloramento sovrastruttura stradale

Il disordine idrogeologico e la mancanza di un adeguato sistema di drenaggio delle acque di ruscellamento superficiale oltre a produrre gli ammaloramenti descritti, ha effetti negativi anche sulle opere di sostegno esistenti (foto 9), produce apporti detritici sulla sede stradale (foto 10) e agevola l'erosione delle scarpate esposte e non adeguatamente protette (foto 11)



Foto 9 - crisi statica muro di contenimento



Foto 10 - Apporti detritici sulla sede stradale (37.003261 N – 13.638552)



Foto 11 - Scarpate non protette soggette a fenomeni di erosione (37.935779 N - 13.610794 E)

E' da significare, inoltre, come un contributo ad una alterazione degli equilibri naturali è dato anche dall'assenza di manutenzione delle opere di attraversamento delle acque superficiali come tombini, ponticelli, etc.,.

Quanto emerso dagli approfondimenti dell'analisi geomorfologica di dettaglio è conforme con lo studio di area vasta del PAI (Bacino idrografico del Fiume S. Leonardo), studio da cui emerge come alcuni tratti della sede stradale siano interessati da forme attive con dissesti dovuti a crolli e franosità diffusa e per quanto riguarda la pericolosità e il rischio geomorfologico da zone con livelli di pericolosità P4 e rischio R3.

Nella tav. 4 si riportano i tratti d'interesse progettuale con le diverse "interferenze" della infrastruttura stradale con i dissesti e le pericolosità riportate dal PAI; nella tav. 5 si restituisce, inoltre, la geologia dei tratti interessati dagli interventi di sistemazione della strada di progetto con alcune colonne stratigrafiche riferite ai punti in cui sono state svolte le indagini in situ, colonne ricostruite sia con le conoscenze emerse dalle prospezioni sia con gli approfondimenti di campo sulla geologia dei luoghi.

3 Caratterizzazione geotecnica e risposta elastica

Le indagini svolte hanno permesso di valutare la risposta geomeccanica ed elastica dei tratti stradali investigati e di definire la categoria litostratifica mediante la determinazione del parametro $V_{seq.}$.

In relazione ai risultati d'insieme ottenuti dalle indagini svolte e alla successione litologica ricostruita si sono definiti per i tratti in cui sono state esperite le indagini due differenti ambienti geotecnici.

Il primo ambiente geotecnico, denominato *ambiente geotecnico A*, è quello che interessa direttamente la sede stradale ed è riferibile a sedimenti detritici e pelitico argillosi alterati che qualificano il sottosuolo nel range di profondità compreso fra un minimo ca. 6.50 ad un massimo di ca. 12 m di profondità al di sotto della sovrastruttura stradale.

Si tratta di un ambiente geotecnico qualificato da una certa eterogeneità ed in relazione alle sue caratteristiche composizionali, grado di alterazione e variabile contenuto d'acqua, ha una risposta geotecnica spazialmente variabile e non esplicitamente definibile con determinazioni puntuali che ne possano fare estendere il comportamento a quello dell'insieme del deposito. In relazione a ciò si è quindi preferito stimarne la risposta meccanica con prospezioni geofisiche, prospezioni in grado di fornire informazioni sulla risposta elastica dei terreni per volumi di sottosuolo arealmente estesi e di ricavare, mediante correlazioni che legano la velocità delle onde di taglio alla risposta meccanica, i principali parametri geotecnici.

Tali correlazioni, per il range di velocità ottenuti per questo orizzonte geotecnico, possono ritenersi di buona affidabilità. In tab. 1 si riportano i principali parametri geotecnici stimati per questo orizzonte litotecnico, parametri che sono stati calcolati considerando la media dei valori di velocità delle onde di taglio ottenute nei sei profili *Re.Mi.* realizzati per i sismostrati più prossimi alla sede stradale.

Tab. 1 – *Ambiente geotecnico A*

(range di profondità fino ad un max. di 12.5 0 m di profondità dalla quota della sovrastruttura stradale)

Parametro	Valore stimato
Peso di volume (γ_{sat})	16.7 kN/m ³
Indice dei vuoti (e_0)	0.73 -1.15
Angolo di attrito (ϕ')	32°
Coesione drenata (c') in kPa	5.69
Coesione non drenata (c_u) in kPa	123.95
Modulo di incompressibilità K (Mpa)	37.24
Modulo di Young E (Mpa)	223.17
Coefficiente di Poisson (ν)	0.25
Rigidità sismica R (m/s*kN/m ³)	386
Modulo di deformazione a taglio dinamico G₀ (Mpa)	89.29

Il secondo ambiente geotecnico definito (denominato *ambiente geotecnico B*) è riferibile al substrato geologico più profondo, substrato che è qualificato da sismostrati che mostrano velocità delle onde di taglio generalmente doppie rispetto ai sismostrati più prossimi alla sovrastruttura stradale. La risposta geofisica accertata per questo orizzonte è riconducibile a depositi flyschoidi e

pelitico argillosi molto potenti, depositi che nonostante le variazioni laterali e verticali di facies, tipiche di questi terreni e deducibili anche dai profili di velocità delle onde di taglio, mostrano un risposta geotecnica di gran lunga superiore rispetto ai termini che qualificano l'orizzonte geotecnico su cui insiste direttamente la sede stradale.

Quindi in profondità la risposta elastica dei terreni cambia in meglio e di conseguenza il substrato geologico profondo dell'infrastruttura stradale è caratterizzato da terreni a risposta geotecnica incrementata rispetto ai termini sovrastanti; pertanto in relazione a ciò e alla specificità del lavoro si fornisce solo la caratterizzazione geotecnica dell'orizzonte litotecnico direttamente interessato dalla infrastruttura stradale.

A conclusione ed in relazione alla modellizzazione geotecnica fornita, si lasciano al progettista degli interventi di sistemazione le valutazioni in merito alla scelta delle opere di sostegno e consolidamento del corpo stradale, soluzioni da correlare alle condizioni geoambientali dei luoghi d'intervento, alla risposta elastica e meccanica definita e alla conoscenza della tipologia ed esigenze geotecniche delle diverse strutture di progetto attese.

4. Considerazioni conclusive

Lo studio svolto ha permesso una definizione generale dell'assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'areale impegnato dalla sede stradale e delle sue attuali criticità geomorfologiche.

Il tracciato stradale della S.P.6 impegna litotipi riferibili a differenti ambienti deposizionali e caratterizzati da un variabile assetto stratigrafico e tettonico; inoltre, alcuni importanti elementi lineari (faglie) attraversano direttamente la strada di progetto, elementi la cui genesi è riconducibile alla messa in posto della catena siciliana.

In un contesto geologico generale certamente molto articolato e complesso, lo studio geologico è stato specificamente approfondito nei tratti in cui sono attesi gli interventi di sistemazione, studio che è stato anche corredato da specifiche indagini in situ con le quali si è definita la risposta elastica e meccanica dei terreni direttamente interessati dalla sovrastruttura stradale. Inoltre le prospezioni geofisiche condotte hanno permesso di precisare la categoria litostratigrafia dei terreni in corrispondenza degli array sismici realizzati. Gli aspetti salienti emersi dallo studio conducono, in estrema sintesi, alle seguenti criticità e valutazioni, valutazioni che oltre a riguardare per alcuni aspetti i tratti in cui sono previsti gli interventi di sistemazione, sono nella sostanza estendibili all'intero tracciato:

- *la sovrastruttura stradale della S.P.6 impegna per la maggioranza del suo tracciato coperture di alterazione e terreni pelitico argillosi che mostrano nei livelli di sottosuolo più superficiali risposta meccanica scadente;*

- *la strada presenta ammaloramenti diffusi lungo l'intero suo sviluppo, ammaloramenti che comportano ondulazioni longitudinali e trasversali, fessurazioni, sfondamenti, alterazione delle pendenze trasversali, depressioni localizzate ed irregolarità superficiali; a parte una probabile impropria esecuzione originaria, questi ammaloramenti sono dovuti ad una mancanza di smaltimento od inefficacia delle opere di drenaggio esistenti delle acque di ruscellamento superficiale. Allo stato attuale queste acque affluiscono in maniera selvaggia verso le quote topografiche più basse e riuscendo ad infiltrarsi nei livelli a permeabilità relativa più elevata dei litotipi più prossimi alla piattaforma stradale, provocano gli ammaloramenti osservati;*
- *in generale gli elementi marginali (cunette, etc.) sono inadeguati e le scarpate sono in alcuni tratti inesistenti o lasciate "a nudo" con conseguente innesco di fenomeni di erosione accelerata che comportano anche apporti di materiali detritici sulla piattaforma stradale in occasione di eventi piovosi;*
- *i muri di contenimento esistenti, per l'assenza di adeguati drenaggi, mostrano fessurazioni ed evidenti segni di disagio statico; inoltre è da significare l'esigenza di procedere all'estirpazione di alcuni alberi molto prossimi alla sede stradale in quanto le radici hanno già compromesso la regolarità della pavimentazione*
- *le barriere paramassi presenti in un tratto a protezione della strada risultano inadeguate ed in parte danneggiate; dallo studio generale delle condizioni geoambientali del tracciato è emersa l'esigenza che in alcuni punti (indicati in relazione), è opportuna la pianificazione di una loro predisposizione;*

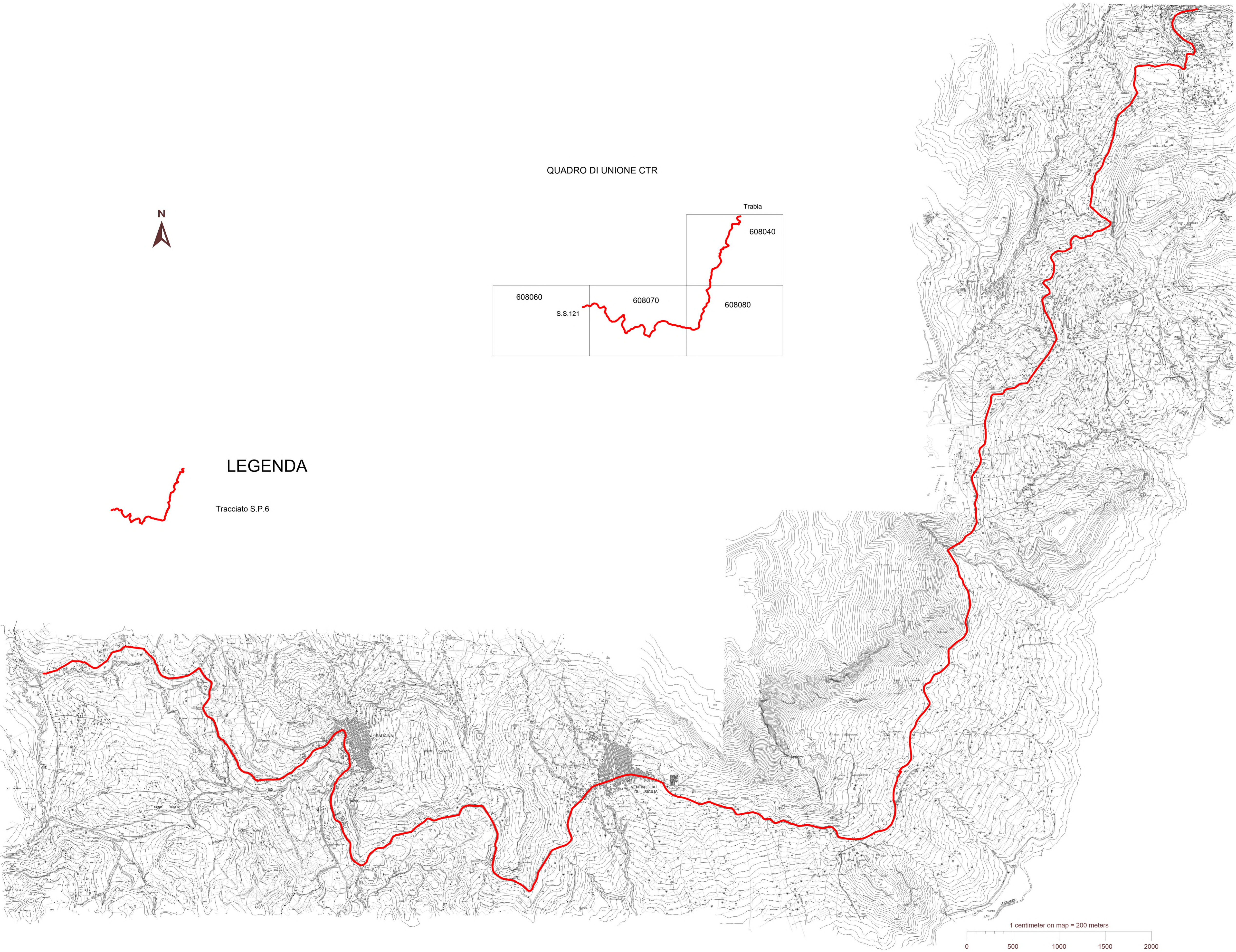
- *dal punto di vista delle criticità geomorfologiche segnalate dal PAI, la strada interessa versanti con zone a franosità diffusa e tratti anche a rischio di crolli. In entrambi i casi si tratta di forme attive, forme che interferiscono direttamente anche con alcuni tratti interessati dagli interventi di sistemazione.*

A conclusione sulla base delle valutazioni esposte e dall'insieme di conoscenze fornite con lo studio svolto si lascia al progettista la valutazione della tipologia e dimensionamento delle diverse opere previste nei tratti di progetto per realizzare un efficace smaltimento delle acque di ruscellamento superficiale, un adeguato sostegno della infrastruttura stradale nelle zone in cui sono evidenti processi geomorfici attivi e la scelta delle opportune soluzioni tecniche (geogriglia, etc.,) sia per un aumento della capacità di sopportare i carichi sia per una loro più efficace distribuzione. In ultimo, qualora in relazione al riscontro in corso d'opera di scenari geologici non prefigurabili in relazione a quanto atteso per gli interventi di sistemazione previsti, si dovranno adottare gli opportuni approfondimenti per il soddisfacimento di specifiche ed ulteriori esigenze tecniche.

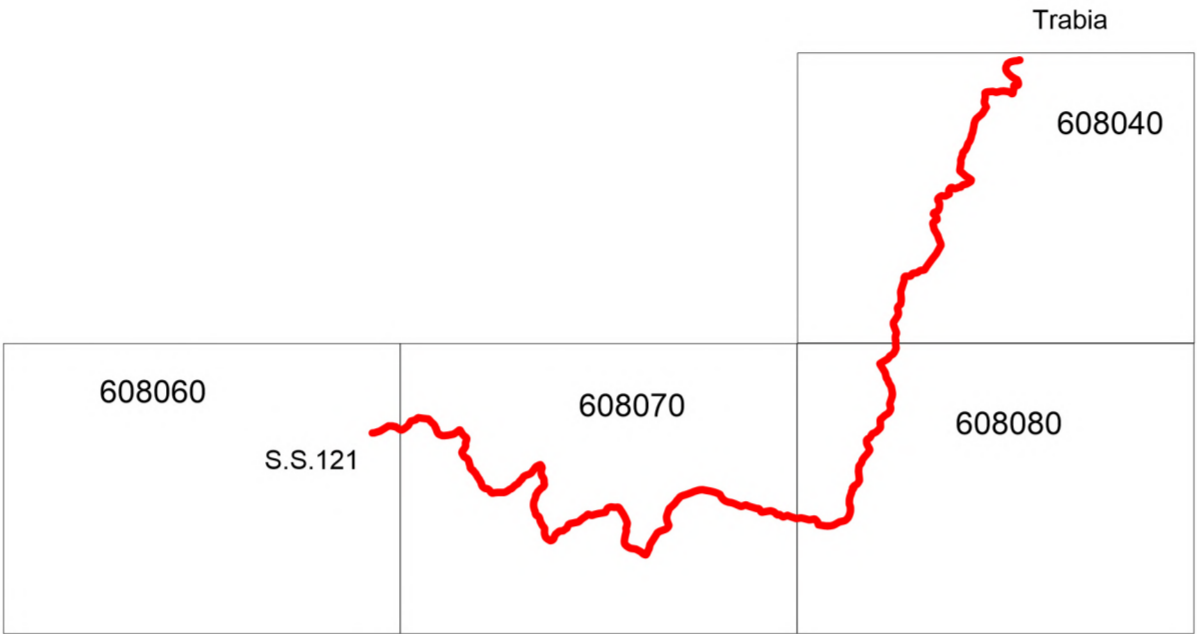
Mazara, marzo 2021

Il Geologo

dott. Giuseppe Marino




QUADRO DI UNIONE CTR




LEGENDA



Tracciato S.P.6



COMUNE DI VENTIMIGLIA DI SICILIA
Città metropolitana di Palermo



**STUDIO GEOLOGICO PER GLI INTERVENTI DI
SISTEMAZIONE DELLA S.P.6 DALLA SS121
AL COMUNE DI TRABIA**

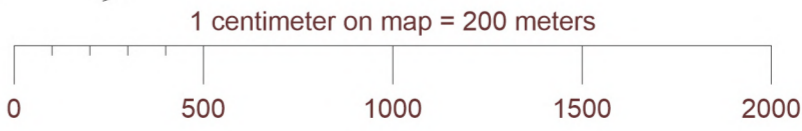
Tav.1

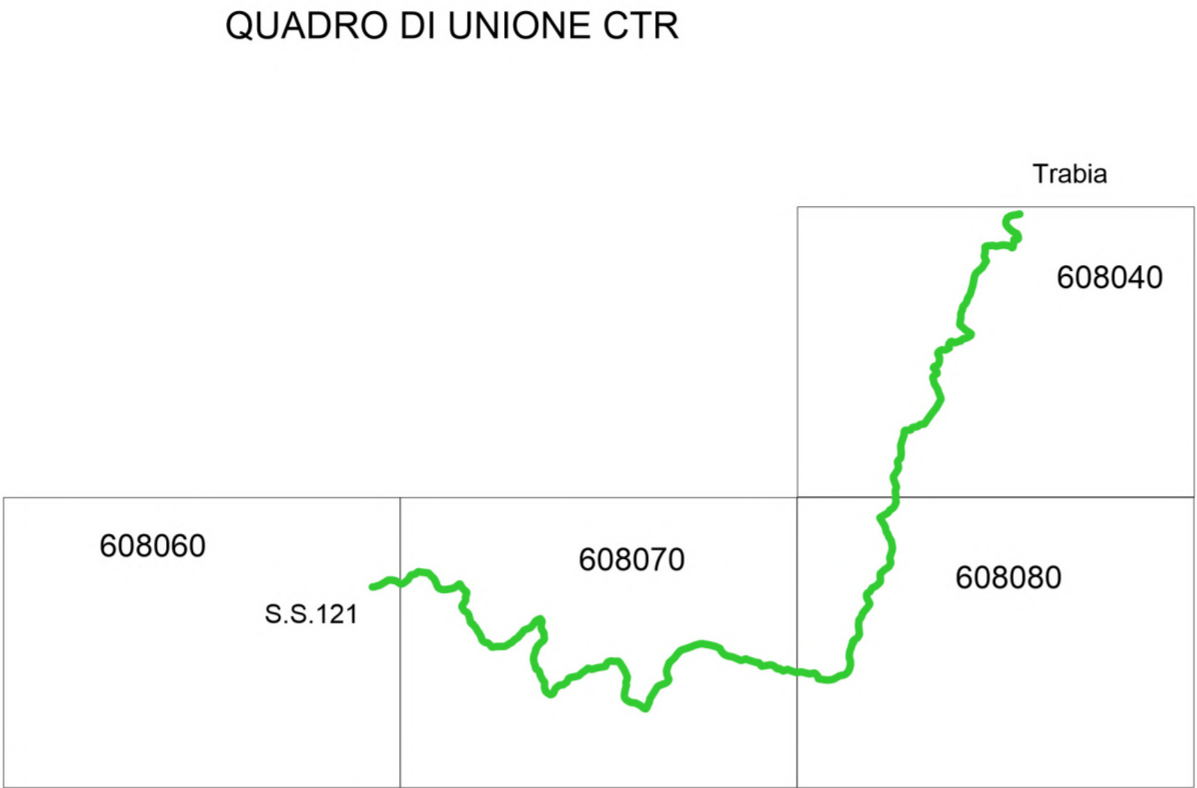
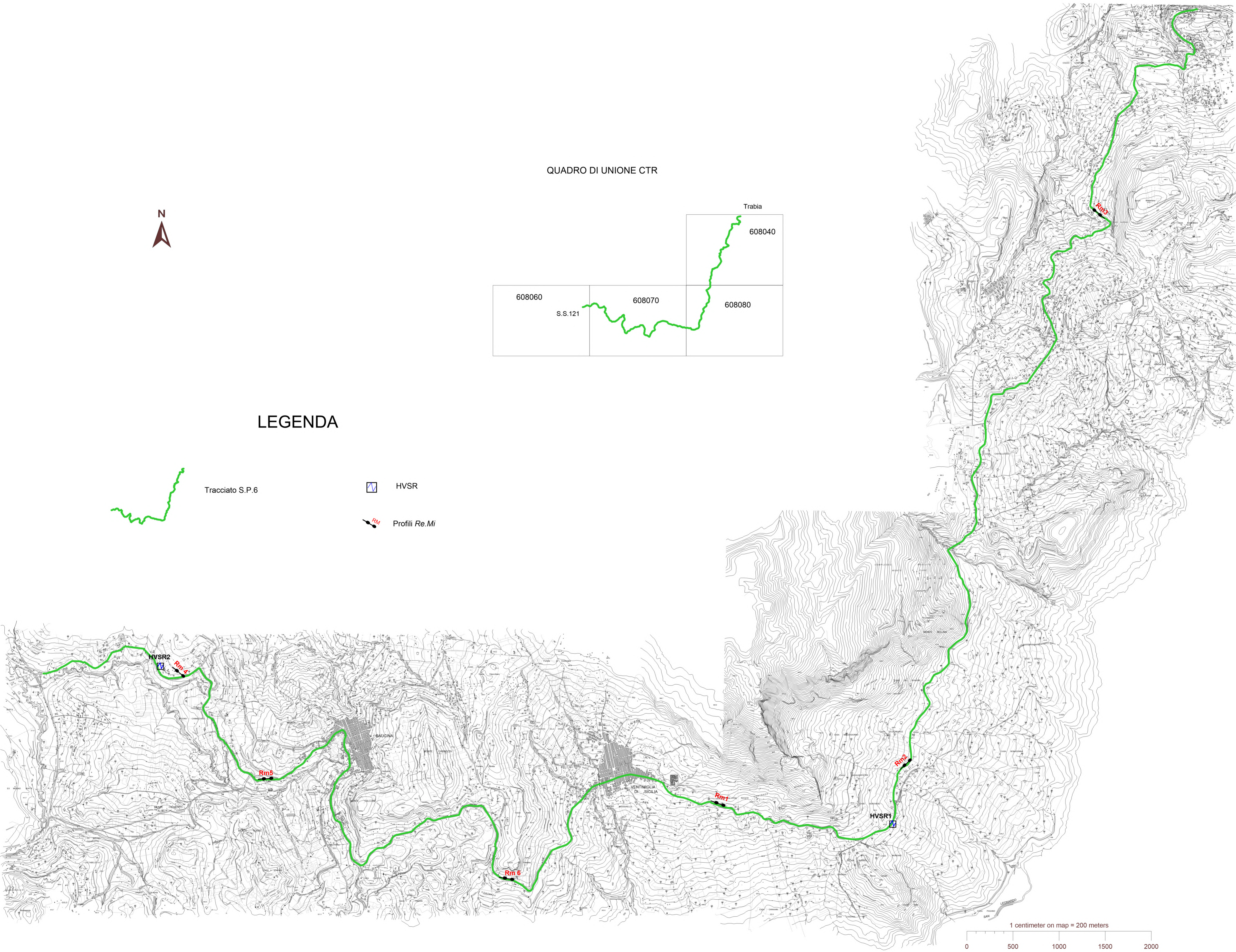
COROGRAFIA GENERALE

Data: marzo 2021

G.M.
GEOLOGO MARINO
geologo@marino-geologo.it
www.geologomarino.it


Il Geologo
Dott. Giuseppe Marino






LEGENDA





COMUNE DI VENTIMIGLIA DI SICILIA
Città metropolitana di Palermo



**STUDIO GEOLOGICO PER GLI INTERVENTI DI
SISTEMAZIONE DELLA S.P.6 DALLA SS121
AL COMUNE DI TRABIA**

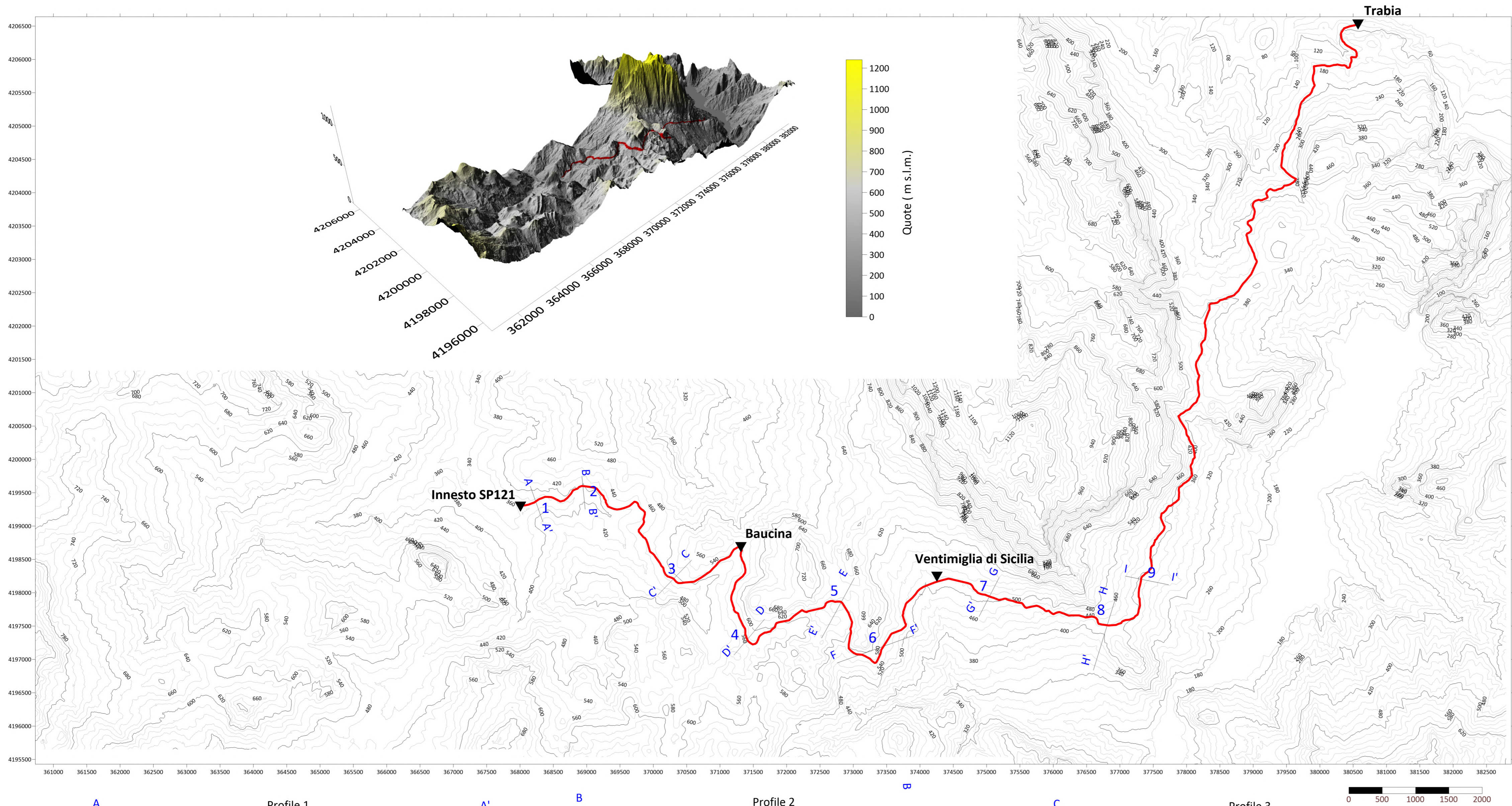
Tav.2

CARTA DELLE INDAGINI

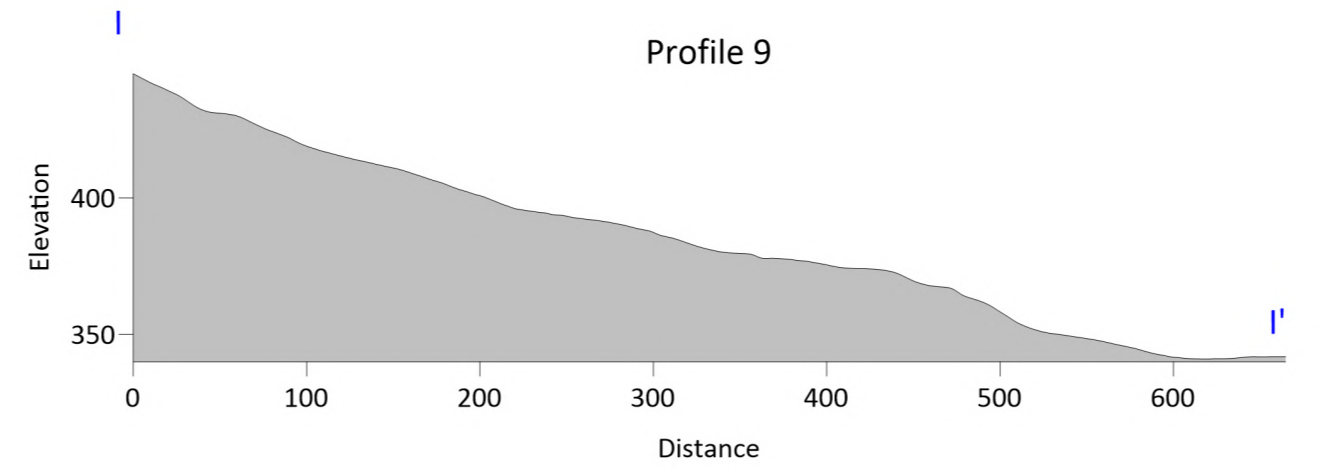
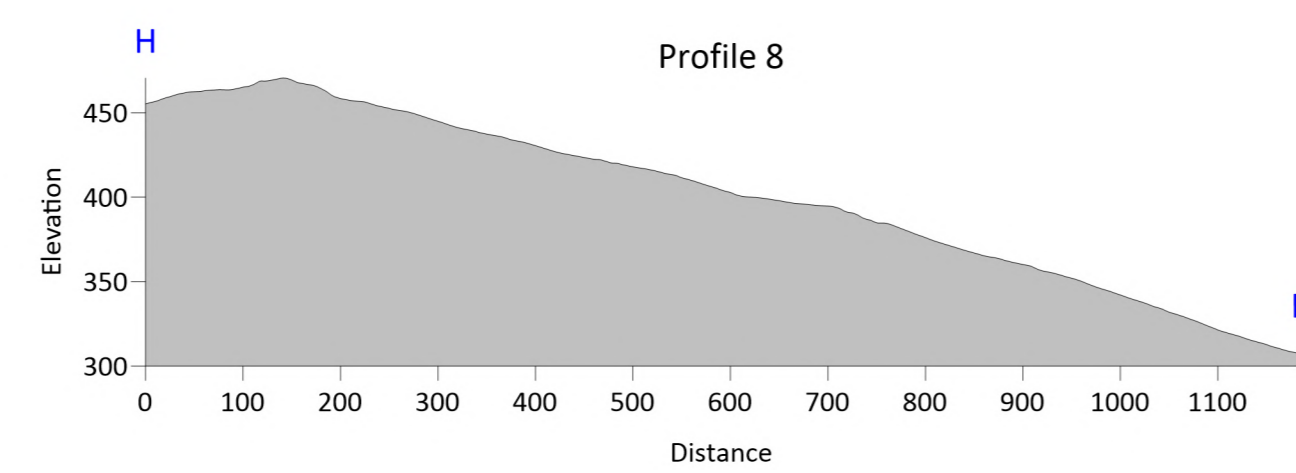
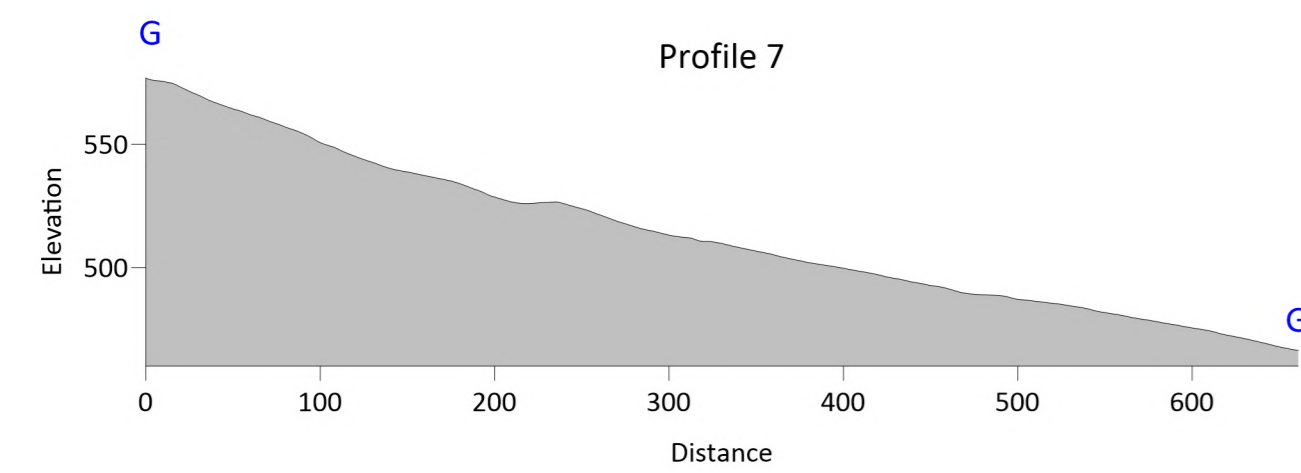
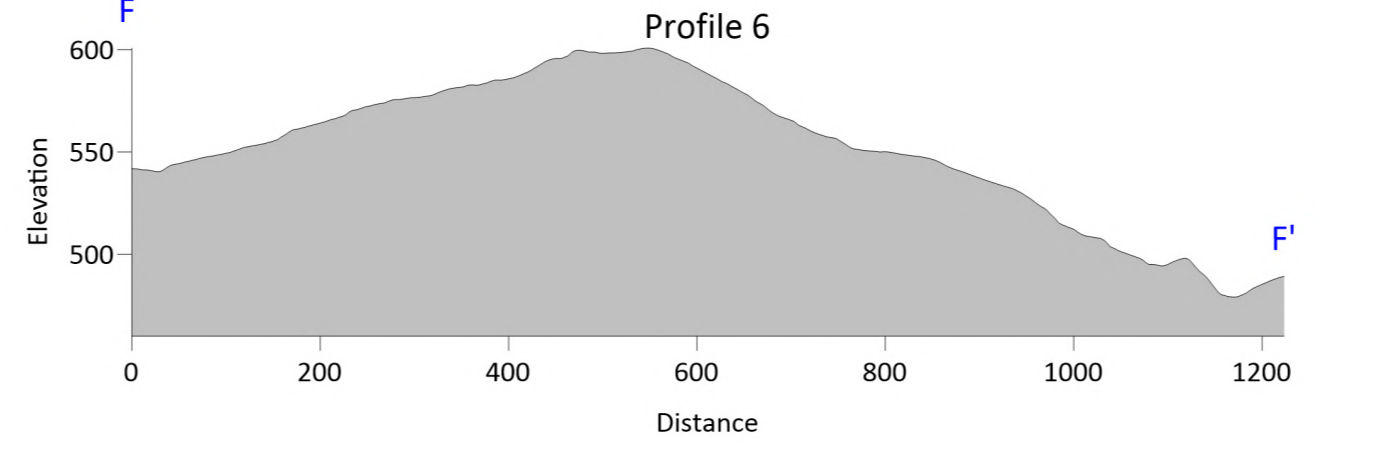
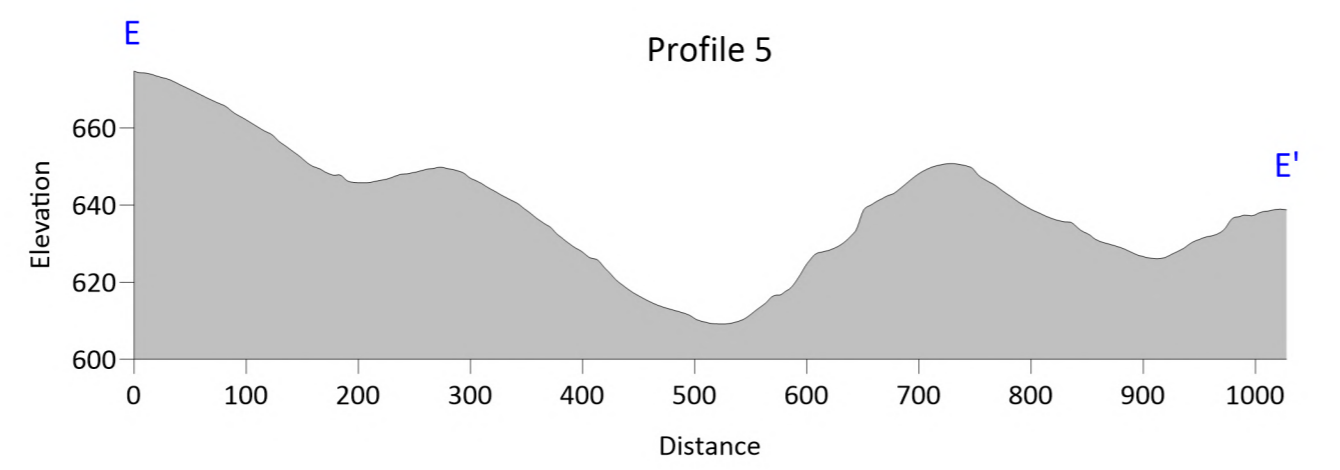
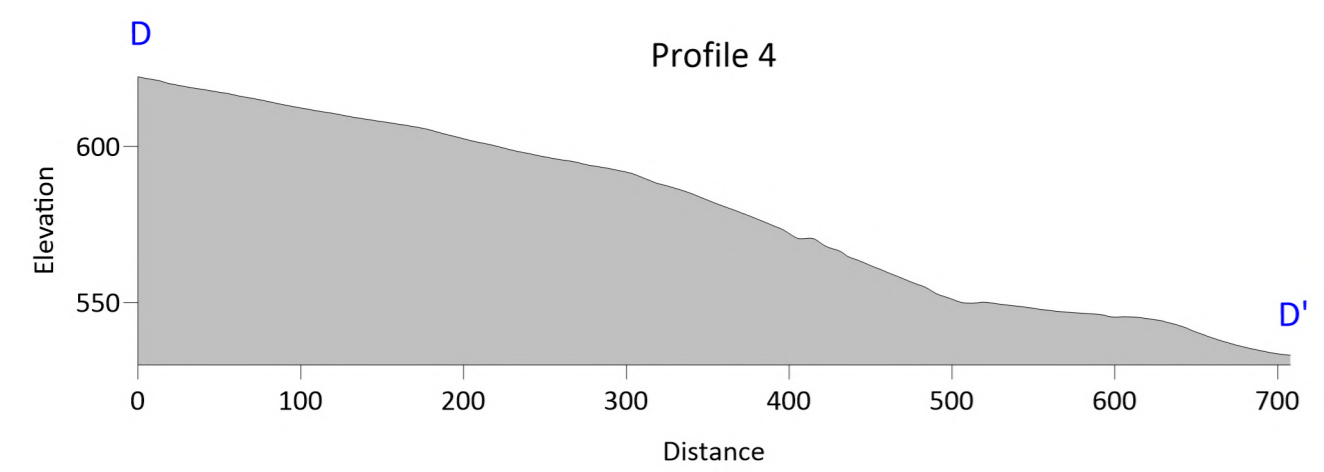
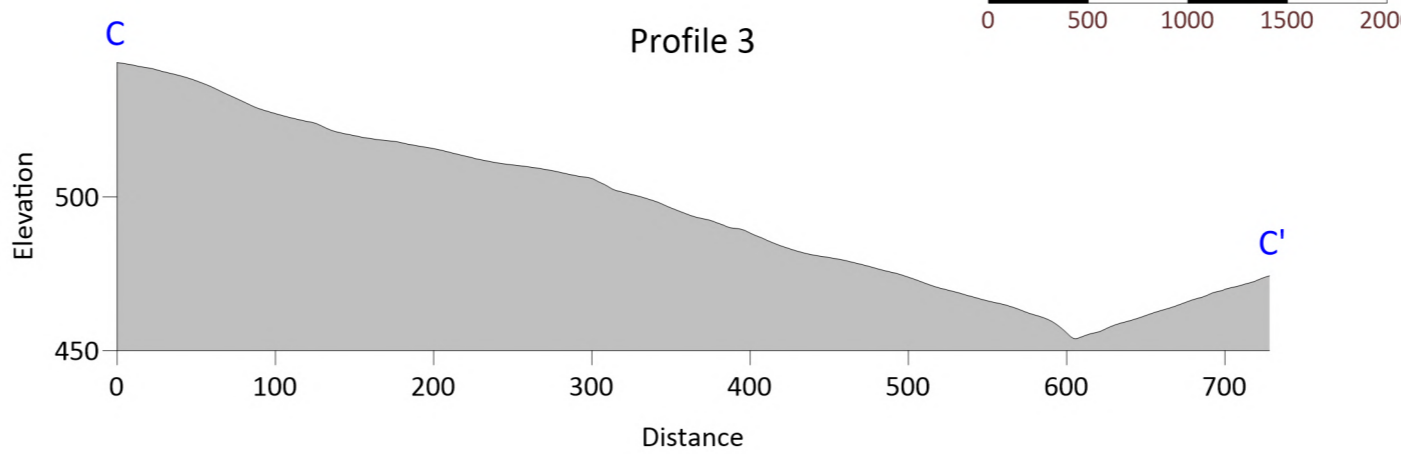
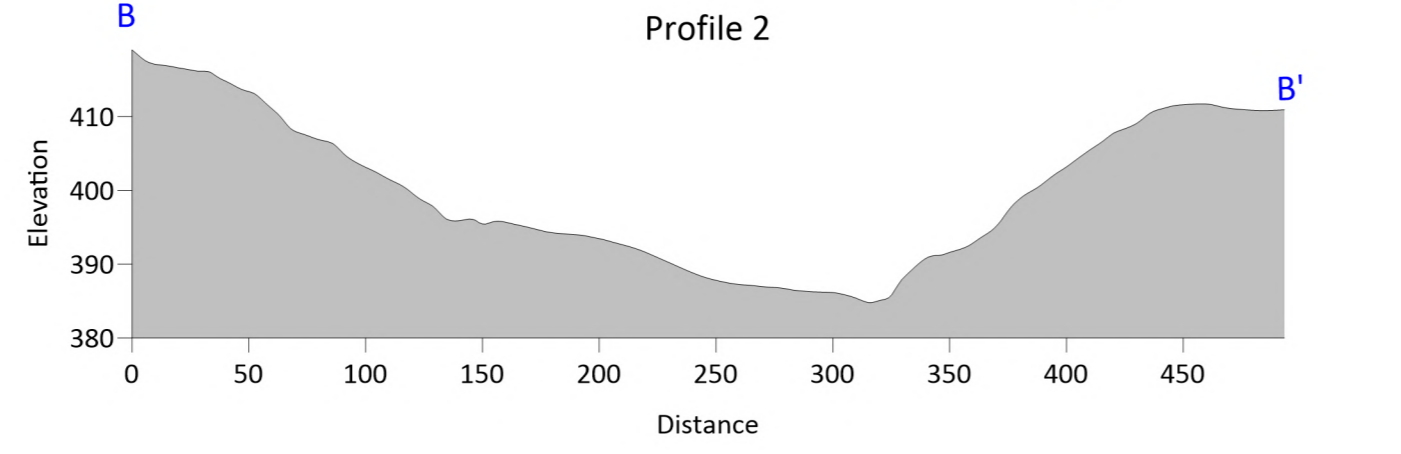
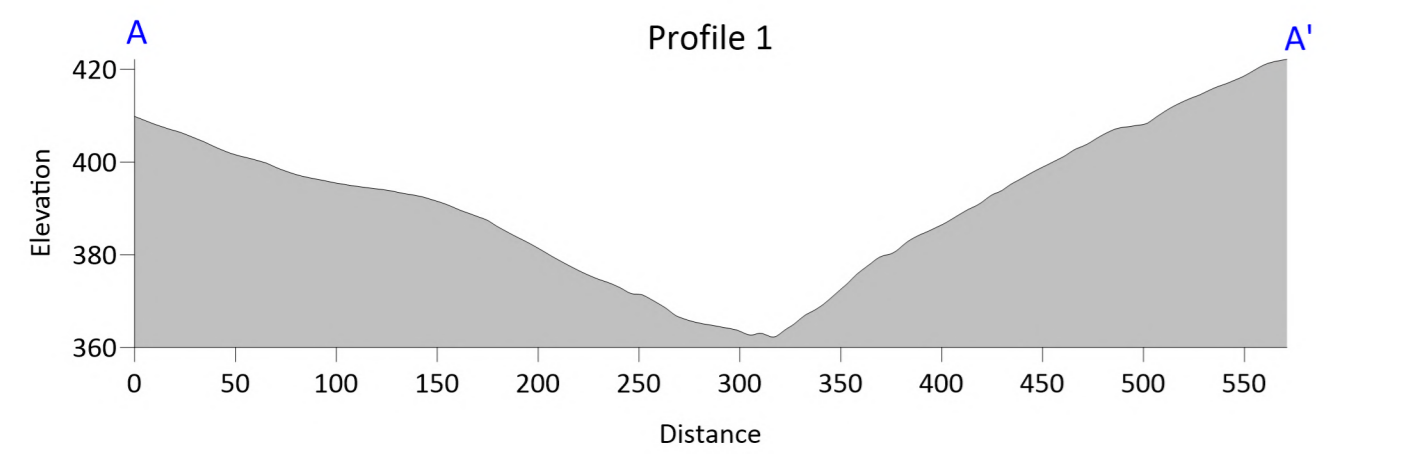
Data: marzo 2021


G.M.
GEOLOGO MARINO
Dott. Giuseppe Marino
www.geologomarinor.it

Il Geologo
Dott. Giuseppe Marino




Elemento di proprietà della Regione Siciliana
ceduto in data 24/03/2021 al n. 2021-E-2952
Rielaborazione: dott.geol. Marino Giuseppe





COMUNE DI VENTIMIGLIA DI SICILIA
Città metropolitana di Palermo




**STUDIO GEOLOGICO PER GLI INTERVENTI DI
SISTEMAZIONE DELLA S.P.6 DALLA SS121
AL COMUNE DI TRABIA**

TAV. 3

CARTA TOPOGRAFICA

Data: marzo 2021

Il Geologo
Dott. Giuseppe Marino



GEOLOGO MARINO
dott. Giulio Marino - Geologo
www.geologomarinoo.it



Dissesti



Aree a franosità diffusa
(processo attivo)



Colamento lento
(processo attivo)



Crolli o ribaltamenti
(processo attivo)



Dissesti conseguenti ad erosione accelerata
(processo attivo)

Pericolosità e rischio geomorfologico

033-6VS-010
(roccie argillose) Pericolosità media (P2)

003-6CA-074
(roccie argillose) Pericolosità media e rischio medio(P2,R2)

033-6VS001
(roccie carbonatiche) Pericolosità molto elevata (P4)

033-6CI045
(roccie argillose) Pericolosità media e rischio medio (P2, R2)

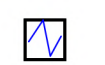
033-6VS-011
(roccie argillose) Pericolosità moderata (P1)

033-6CI042
(roccie carbonatiche) Pericolosità molto elevata e rischio elevato (P4, R3)



Tracciato S.P. 6

Interventi di sistemazione
previsti



HVSR

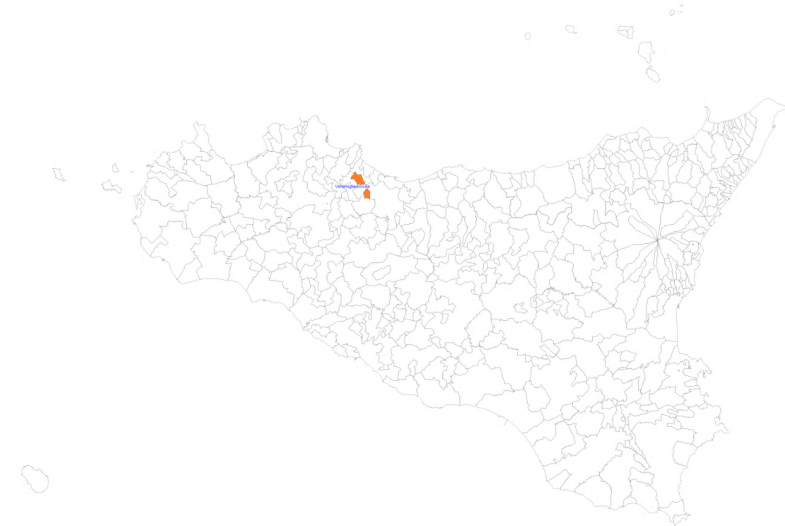


Profili Re.Mi

1 centimeter on map = 100 meters
0 250 500 750



COMUNE DI VENTIMIGLIA DI SICILIA
Città metropolitana di Palermo



STUDIO GEOLOGICO PER GLI INTERVENTI DI
SISTEMAZIONE DELLA S.P.6 DALLA SS121
AL COMUNE DI TRABIA

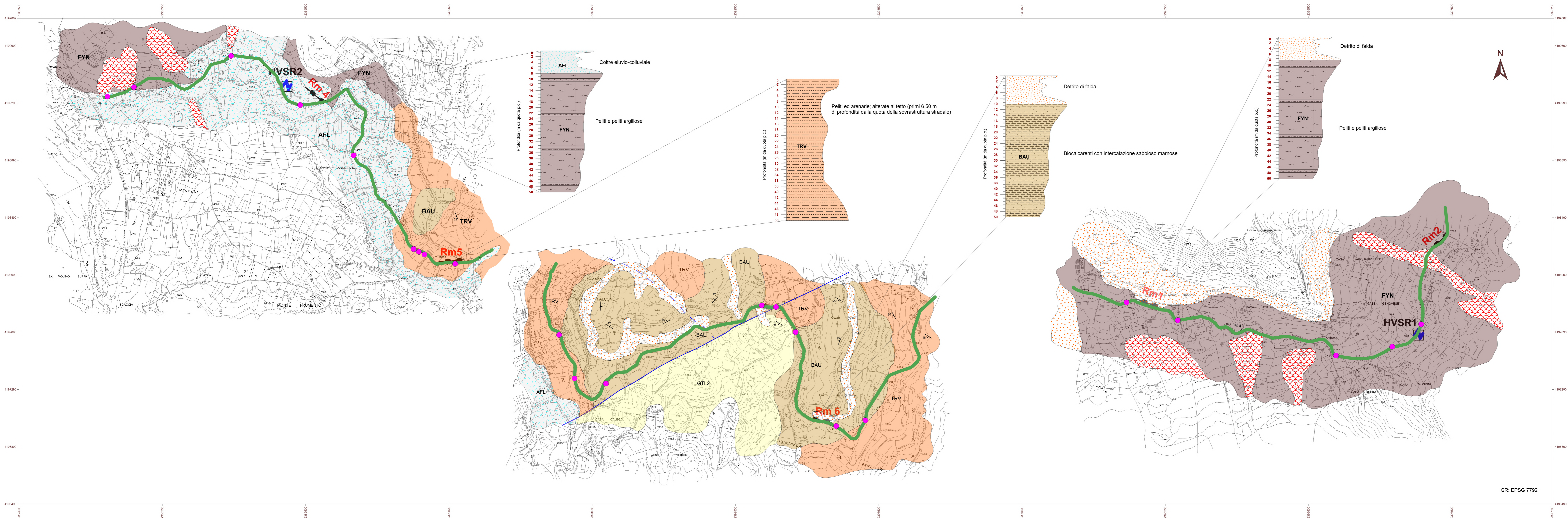
Tav.4

CARTA DELLE INTERFERENZE
CON IL PAI

Data: marzo 2021

GEOLOGICO MARINO
ING. GIUSEPPE MARINO
www.geologico.it

Il Geologo
Dott. Giuseppe Marino



LEGENDA

	Coltri eluvio-colluviali <i>Pleistocene-Olocene</i>		Deposito di frana		Direzione, immersione ed inclinazione degli strati		HVSR		Profili Re Mi
	Gessi selenitici massivi con intercalazioni di marne bianche gessose (Fm. Cattolica) <i>Messiniano</i>		Detrito di falda		Faglia		Tracciato S.P.6		
	Biocalcarenti con intercalazioni sabbioso marnose (Fm. Baucina) <i>Messiniano inf.</i>				Interventi di sistemazione previsti				
	Conglomerati, areniti giallastre e argille sabbiose (Fm. Terravecchia) <i>Tortoniano sup.-Messiniano inf.</i>								
	Peliti e peliti argillose (Flysch numidico) <i>Oligocene sup.-Miocene inf.</i>								

COMUNE DI VENTIMIGLIA DI SICILIA
Città metropolitana di Palermo

**STUDIO GEOLOGICO PER GLI INTERVENTI DI
SISTEMAZIONE DELLA S.P.6 DALLA SS121
AL COMUNE DI TRABIA**

CARTA GEOLOGICA

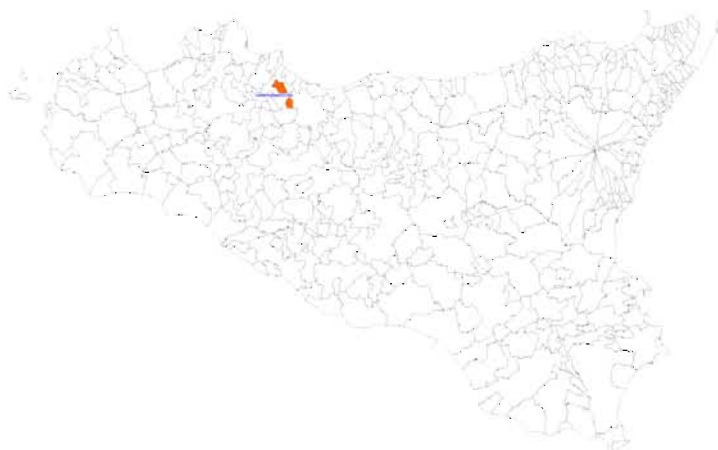
Tav. 5

Data: marzo 2021
Il Geologo
Dott. Giuseppe Marino

GEOLOGO MARINO
Dott. Giuseppe Marino
www.geologomarinodott.it



COMUNE DI VENTIMIGLIA DI SICILIA
Città metropolitana di Palermo



**STUDIO GEOLOGICO PER GLI INTERVENTI DI
SISTEMAZIONE DELLA S.P.6 DALLA SS121
AL COMUNE DI TRABIA**

All. 1 - Indagini in situ
(prospezioni geofisiche)

Il Geologo

Data: marzo 2021

Dott. Giuseppe Marino



*Geologia applicata – Geofisica - Geotecnica
Geologia ambientale - Idrogeologia*

*Studio Via Roma, 25/A
91026 MAZARA DEL VALLO*

tel. (0923) 946777

web: www.geologomarino.it

e-mail: info@geologomarino.it

Indice

1. Premessa.....	Pag. 2
2. Sismica passiva in array (Re.Mi)	Pag. 5
3. Sismica passiva a stazione singola (HVSr)	Pag. 8
4. Risultati ottenuti	Pag. 10

1. PREMESSA

Il presente report, denominato *allegato 1*, riporta le prospezioni geofisiche eseguite a supporto dello studio geologico per gli interventi di sistemazione della S.P. 6, strada provinciale che dal Comune di Trabia si congiunge verso l'entroterra con la S.P. 21

Nel contesto dell'intera strada di progetto sono state eseguite n. 2 misure di sismica passiva a stazione singola (HVSr) e n. 6 misure di sismica passiva in array (*Re.Mi*), prospezioni che sono state posizionate sia in relazione agli interventi attesi sia in zone in cui si è manifestata l'esigenza di specifici approfondimenti. Oltre a supportare la ricostruzione della geologia dei luoghi, scopo di queste misure è stato quello di investigare sulla risposta sismica locale, definire il valore di $V_{s, equivalente}$, stimare i principali parametri meccanici ed elastici e valutare l'esistenza o meno di continuità laterale e verticale fra sismostrati in un ambiente geologico qualificato da una pluralità di facies con diversità di assetto strutturale e stratigrafico.

Al presente report, sono allegati i seguenti elaborati grafici:

- ◆ **Sismica passiva in array (*Re.Mi*)**
 - ☐ ***Re.Mi 1*** - dispersion curve e *p-f* image - **fig. 1**
 - ☐ ***Re.Mi 1*** - *Vs* model - **fig. 1A**;
 - ☐ ***Re.Mi 2*** - dispersion curve e *p-f* image - **fig. 2**;

- ☐ **Re.Mi 2** - Vs model - **fig. 2A**;
- ☐ **Re.Mi 3** - dispersion curve e p-f image - **fig. 3**;
- ☐ **Re.Mi 3** - Vs model - **fig. 3a**;
- ☐ **Re.Mi 4** - dispersion curve e p-f image - **fig. 4**;
- ☐ **Re.Mi 4** - Vs model - **fig. 4A**;
- ☐ **Re.Mi 5** - dispersion curve e p-f image - **fig. 5**;
- ☐ **Re.Mi 5** - Vs model - **fig. 5A**;
- ☐ **Re.Mi 6** - dispersion curve e p-f image - **fig. 6**;
- ☐ **Re.Mi 6** - Vs model - **fig. 6a**;

◆ **Sismica passiva a stazione singola (HVSR)**

- ☐ Rapporto spettrale H/V, serie temporale H/V e direzionalità H/V - **Ns1**;
- ☐ Spettri delle singole componenti - **Ns1** - ;
- ☐ Tabella con i criteri relativi alla significatività statistica del picco
riscontrato - Criteri SESAME, 2005 - **Ns1** ;
- ☐ Rapporto spettrale H/V, serie temporale H/V e direzionalità H/V - **Ns2**;
- ☐ Spettri delle singole componenti - **Ns2** - ;
- ☐ Tabella con i criteri relativi alla significatività statistica del picco
riscontrato - Criteri SESAME, 2005 - **Ns2** ;

2 Sismica passiva in array (Re.Mi)

La sismica passiva in array, attuata con un metodo noto in geofisica con il nome di *Refraction Microtremor (Re.Mi)*, è stata applicata impiegando un sismografo modulare *Geode* della *Geometrics Inc.* specificamente implementato con un modulo opzionale per potere acquisire un numero elevato di campioni per traccia. Di seguito sono riportate le principali specifiche tecniche del sismografo impiegato.

- configuration: 24 channels
- A/D conversion: 24 bit (crystal semiconductor sigma-delta converters)
- dynamic range: 144 dB (system), 110 dB (instantaneous, measured at 2 ms, 24 dB)
- distortion: 0.0005% @ 2 ms. 1.75 to 208 Hz
- bandwidth: 1.75 Hz. to 20 kHz
- sample interval: 0.02, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 ms
- record length: 65.536 samples

Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenze si sono utilizzati geofoni verticali ed orizzontali a bassa frequenza di risonanza (4.5 Hz) della *Geospace Technologies*, geofoni che sono stati “accoppiati” al terreno mediante speciali basi sismiche. Nei tratti di strada d’interesse investigativo si sono acquisite 10 misure di rumore ambientale per ciascuno dei 6 profili realizzati con un numero di campioni per traccia pari a 15.000; l’interpretazione dei dati sperimentali è stata attuata, invece, mediante software *SeisOptim Re.Mi.* della *Optim, Inc.*. Questa tecnica investigativa ha permesso, tramite l’utilizzo della registrazione in superficie del rumore sismico ambientale, di ricavare in ultimo un modello monodimensionale di velocità del sottosuolo, modello derivante dallo

studio della dispersione delle onde di superficie (*Rayleigh* in questo caso). Nella tav. 2 allegata allo studio geologico è riportata l'ubicazione delle diverse indagini eseguite.

Tutti i profili realizzati sono stati posizionati sulla sede stradale ad eccezione del profilo *Re.Mi* Rm 4 che è stato posizionato lungo una stradina ortogonale al tracciato della S.P.6. Nelle foto di seguito riportate sono raffigurate le diverse indagini di sismica passiva in array eseguite.



Foto 1 - Sismica passiva *Re.Mi* – Rm 1



Foto 2 - Sismica passiva *Re.Mi*. – Rm2



Foto 3 - Sismica passiva *Re.Mi*. – Rm3



Foto 4 - Sismica passiva *Re.Mi*. – Rm4



Foto 5 - Sismica passiva *Re.Mi.* – Rm5

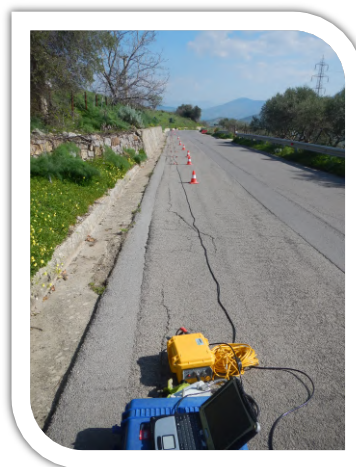


Foto 6 - Sismica passiva *Re.Mi.* – Rm6

In fase di elaborazione dei segnali registrati si è operata una modellizzazione diretta monodimensionale che ha previsto anche inversioni di velocità e che ha portato ad ottenere in ultimo, a partire dalle curve di dispersione dell'energia delle onde di superficie (*dispersion curve*), profili di velocità delle onde di taglio con la profondità (*Vs model*). Infine si lascia alla visione degli elaborati grafici allegati per una migliore comprensione di quanto ottenuto.

3. Sismica passiva a stazione singola (HVSR)

Lo studio dei microtremori a stazione singola è stato attuato con un tromografo digitale (*TROMINO, MoHo s.r.l.*) dotato di tre velocimetri disposti secondo le tre direzioni del moto ed in grado di registrare, con una digitalizzazione del segnale pari a 24 bit, i microtremori in un intervallo di frequenze variabile da 0.1 a 512 Hz.

L'interpretazione delle misure sperimentali è stata attuata con il software *Grilla* della *MoHo s.r.l.* e per tutte le misure eseguite si è utilizzato un "sampling" di 128 Hz ed una durata di registrazione di 20 min.

Nell'ambito della strada d'interesse progettuale sono state eseguite n. 2 misure di noise e nelle foto riportate di seguito è raffigurato lo strumento in fase di acquisizione delle due misure programmate.



Foto 7 - Sismica passiva a stazione singola (Ns1)



Foto 8 - Sismica passiva a stazione singola (Ns2)

Infine anche per le misure di sismica passiva a stazione singola si rimanda agli elaborati grafici per una migliore comprensione di quanto ottenuto.

4. RISULTATI OTTENUTI

Dall'insieme delle indagini geofisiche eseguite è stato possibile definire il comportamento elastico del substrato geologico in corrispondenza dei diversi tratti stradali investigati e valutarne, su volumi di sottosuolo arealmente estesi la variabilità in termini di risposta geofisica. A sintesi dell'interpretazione dei dati sperimentali si riportano di seguito i risultati più rilevanti emersi da ognuno dei diversi metodi geofisici impiegati.

◆ *Sismica passiva in array (Re.Mi)*

- *dagli spettri di potenza (p-f image) ottenuti in tutti i profili Re.Mi realizzati si manifesta l'esistenza di sismostrati di bassa velocità nei livelli di sottosuolo più superficiali;*
- *nei profili Rm 1, Rm 2, Rm 4 ed Rm 6 i profili di Vs mostrano trend di velocità crescenti con la profondità e solo per i profili Rm 3 ed Rm 5 si sono riscontrate delle inversioni di velocità a profondità comprese tra 17 e 24 m per il profilo Rm 3 e tra 22 e 31.5 m per il profilo Rm 5;*
- *il valore di V_{seq} determinato classifica i terreni investigati in corrispondenza dei tratti indagati nella categoria litostratigrafia "B" con la sola eccezione del profilo Rm 6 in cui i terreni sono inquadrabili nella categoria litostratigrafica "C";*
- *il valore di velocità più basso per i sismostrati più superficiali (232 ms/s) è stato riscontrato in corrispondenza del profilo Re.Mi Rm 1 mentre una più significativa variabilità verticale di contrasti d'impedenza fra sismostrati è stata accertata in*

corrispondenza del profilo Re.Mi Rm 5.

◆ *Sismica passiva a stazione singola (HVSr)*

- *dalle due misure di noise eseguite emergono picchi stratigrafici che si mostrano abbastanza coerenti con i "salti" di velocità individuati nei profili di Vs con la profondità dei profili Re.Mi;*
- *alla frequenze più elevate picchi stratigrafici si riscontrano per la prova HVSr 2, mentre per la misura di noise HVSr 1 i contrasti d'impedenza più decisi sono centrati a frequenze più basse (quasi 6.0 Hz);*
- *il picco stratigrafico centrato alle frequenze di 10.28 Hz nella prova HVSr 2 mostra stazionarietà temporale e isotropia del segnale in termini di rapporto spettrale;*
- *in entrambe le misure eseguite le amplificazioni accertate rientrano nel range di frequenze di interesse ingegneristico (0.5-20 Hz).*

Infine si rimanda agli elaborati allegati per una migliore comprensione di quanto sopra sintetizzato.

Mazara, marzo 2021

Il Geologo

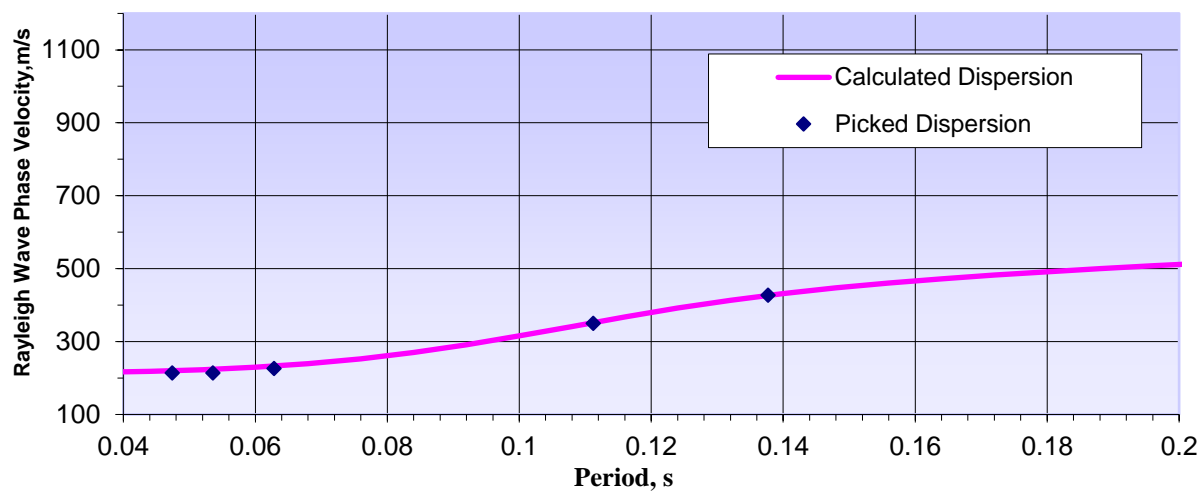
dott. Giuseppe Marino

Dispersion Curve Showing Picks and Fit

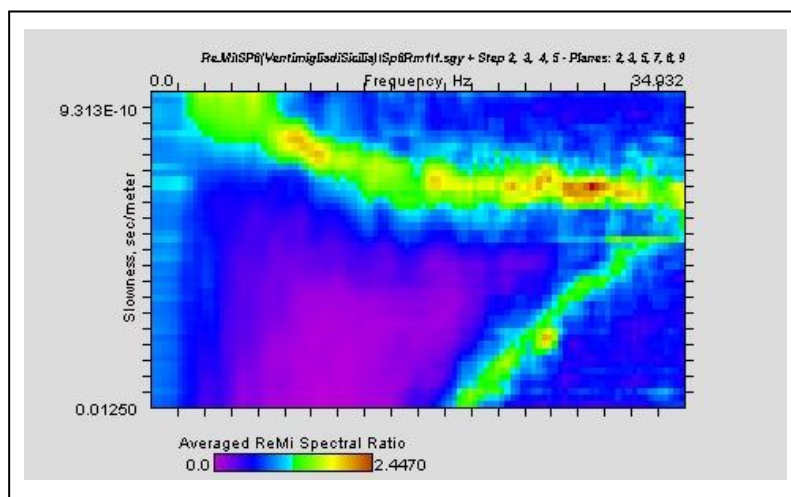
Profilo Re.Mi

Rm1

(onde di Rayleigh)



p-f Image



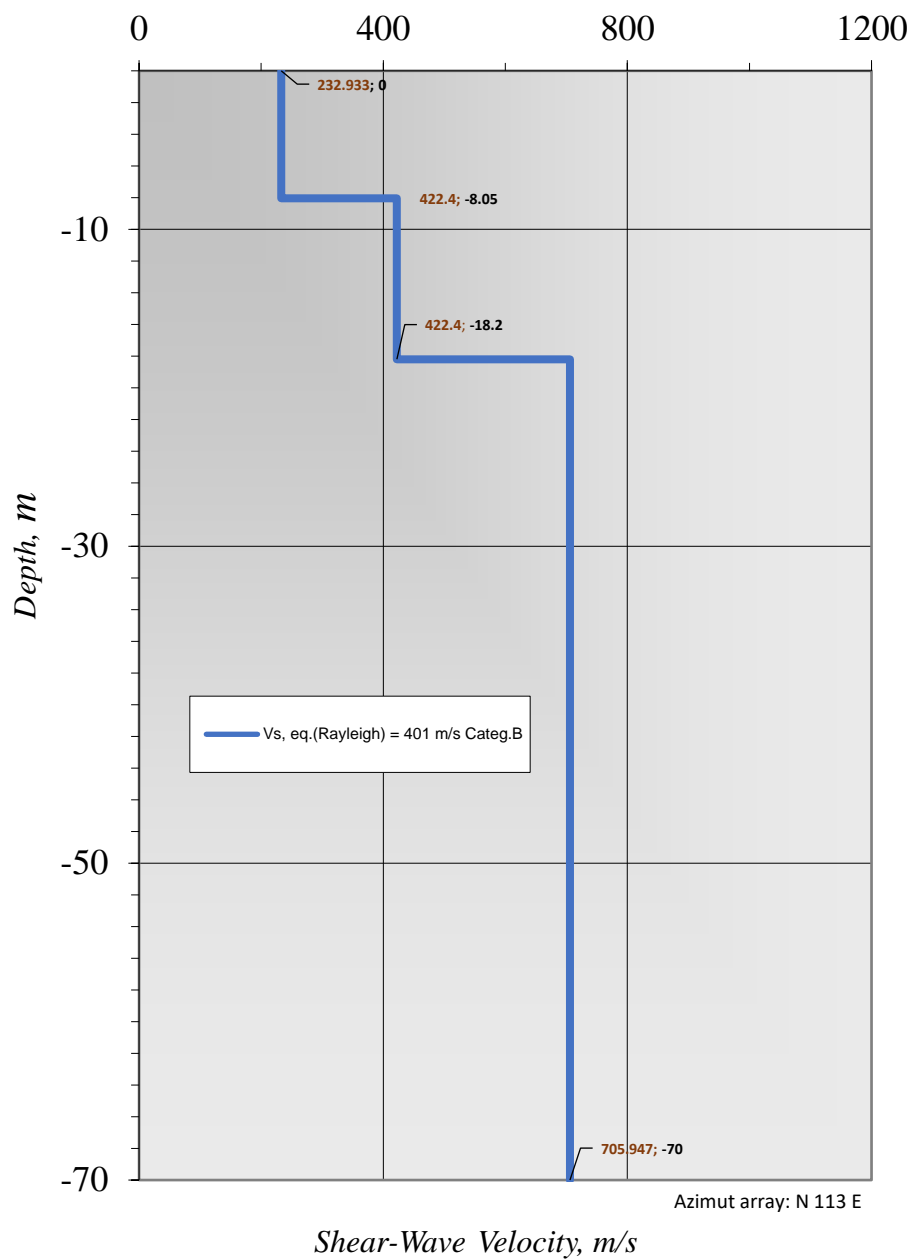
Lavoro: Studio geologico per gli interventi di sistemazione della S.P.6 dal Comune di Trabia alla S.S. 121

Committenza: Comune di Ventimiglia di Sicilia

fig. 1

Vs Model

*Profilo Re.Mi
Rm 1*



Lavoro: Studio geologico per gli interventi di sistemazione della S.P.6 dal Comune di Trabia alla S.S. 121

Commitenza: Comune di Ventimiglia di Sicilia

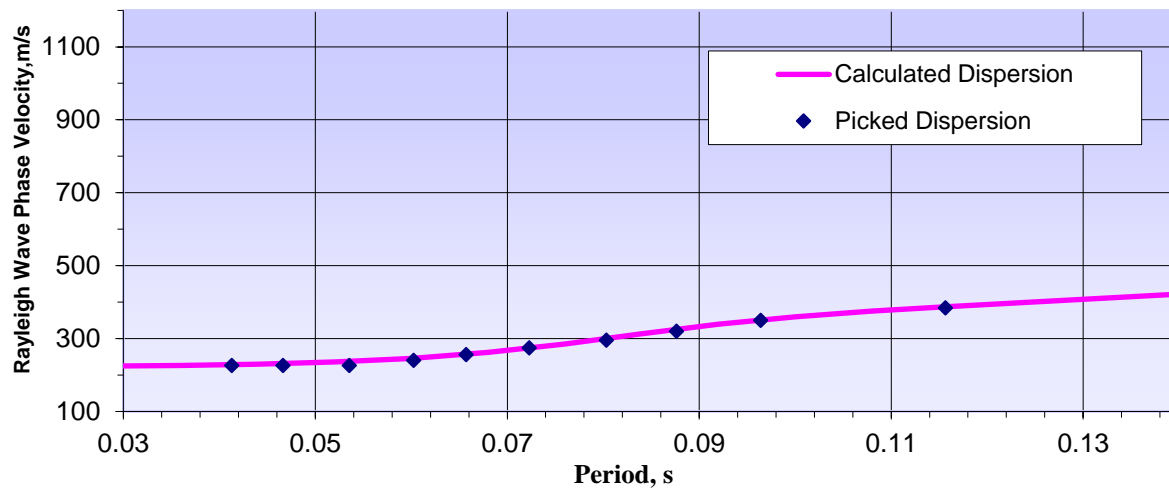
Fig. 1A

Profilo Re.Mi

Rm2

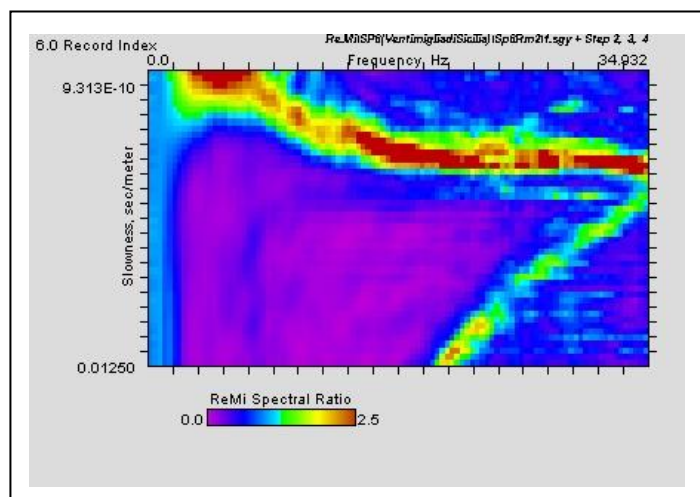
(onde di Rayleigh)

Dispersion Curve Showing Picks and Fit



RMS error: 3.7 m/s

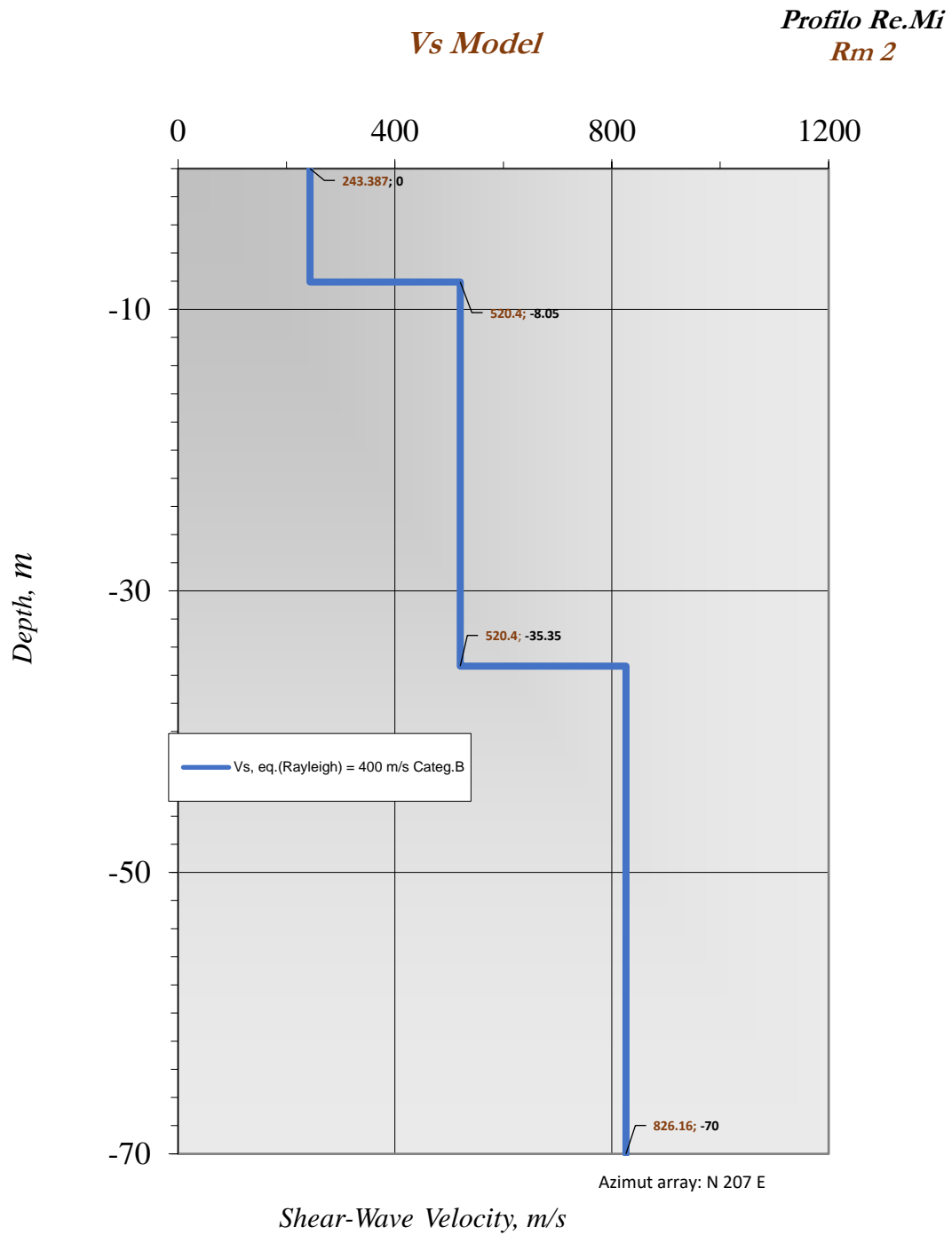
p-f Image



Lavoro: Studio geologico per gli interventi di sistemazione della S.P.6 dal Comune di Trabia alla S.S. 121

Committenza: Comune di Ventimiglia di Sicilia

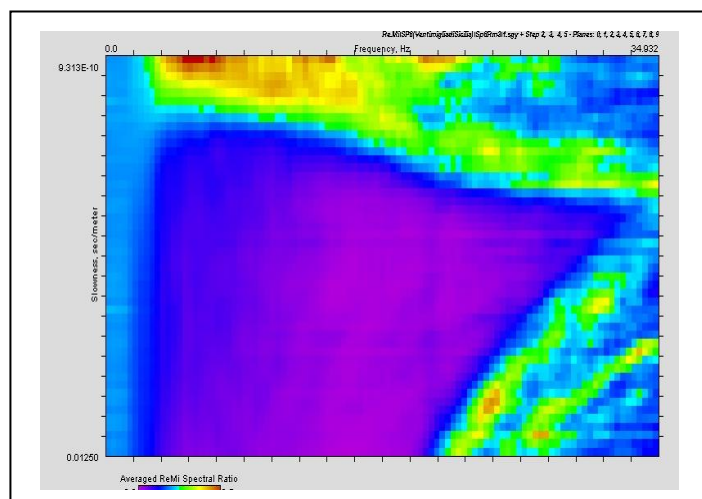
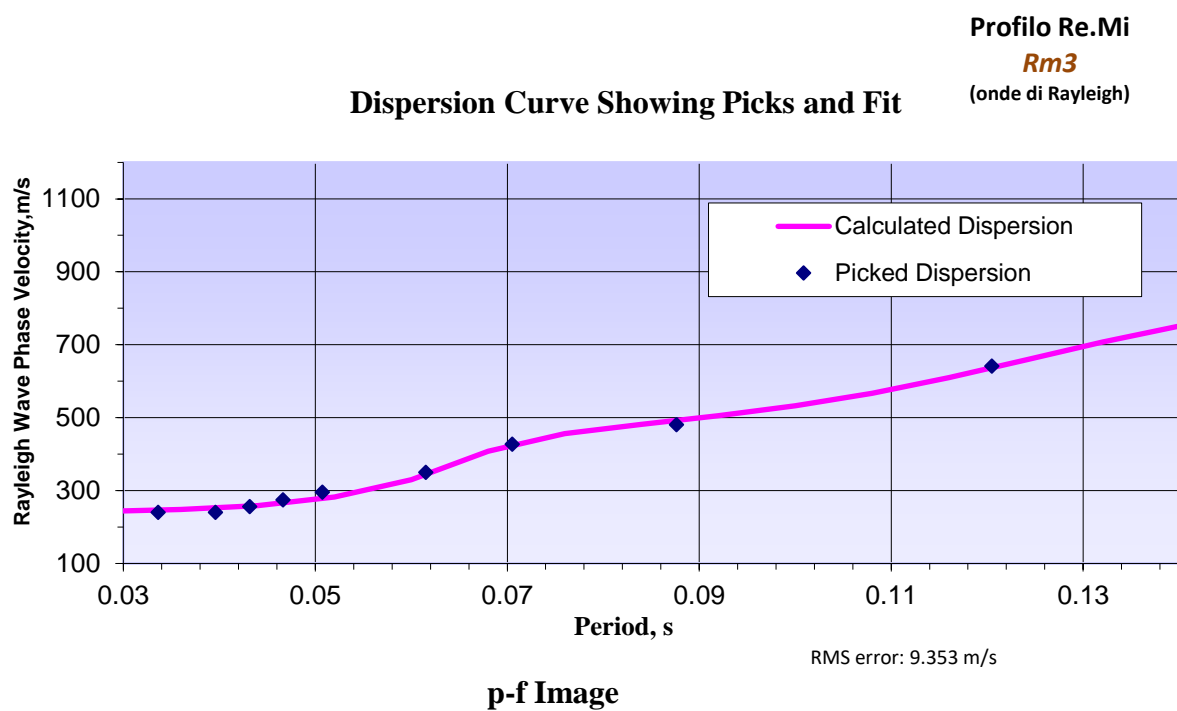
fig. 2



Lavoro: Studio geologico per gli interventi di sistemazione della S.P.6 dal Comune di Trabia alla S.S. 121

Commitenza: Comune di Ventimiglia di Sicilia

Fig. 2A



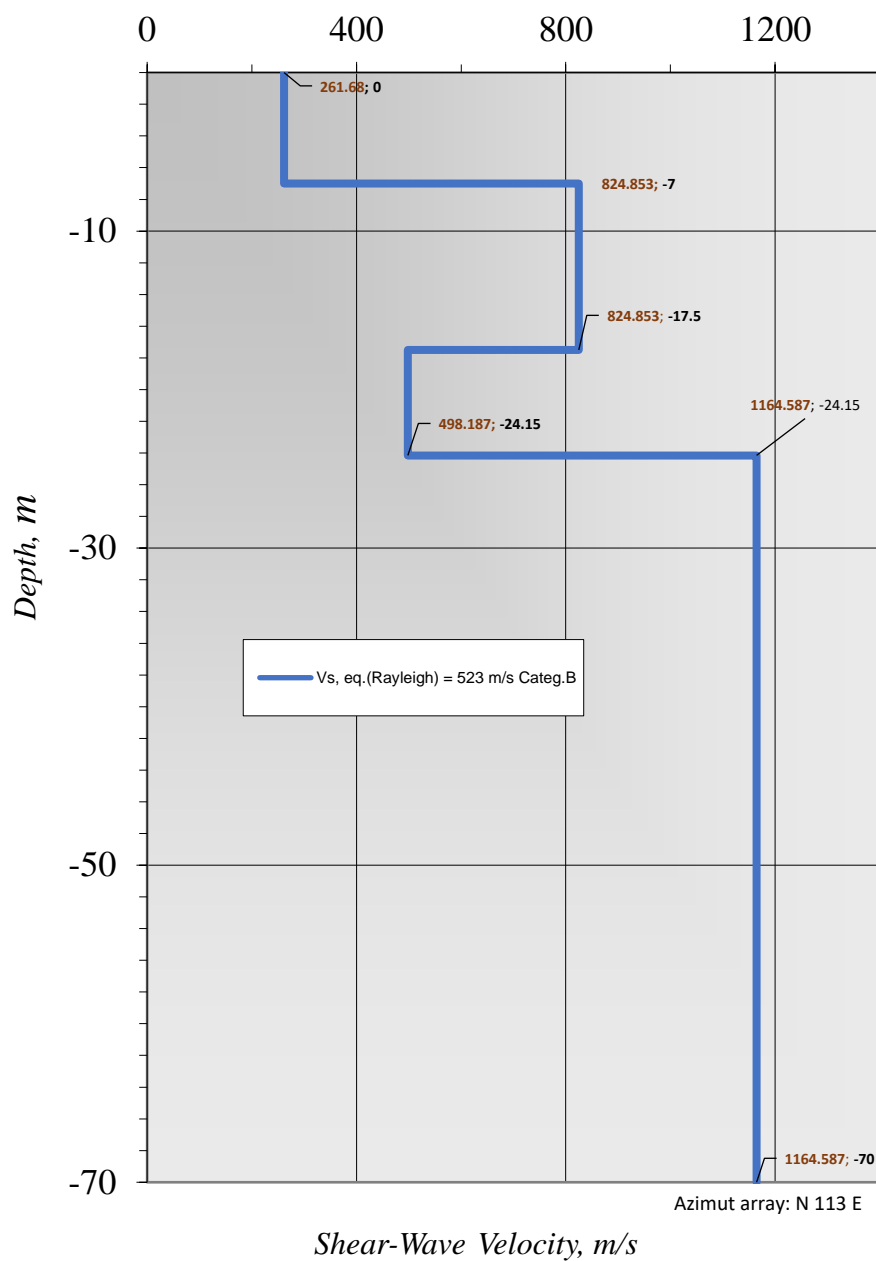
Lavoro: Studio geologico per gli interventi di sistemazione della S.P.6 dal Comune di Trabia alla S.S. 121

Comittenza: Comune di Ventimiglia di Sicilia

fig. 3

Vs Model

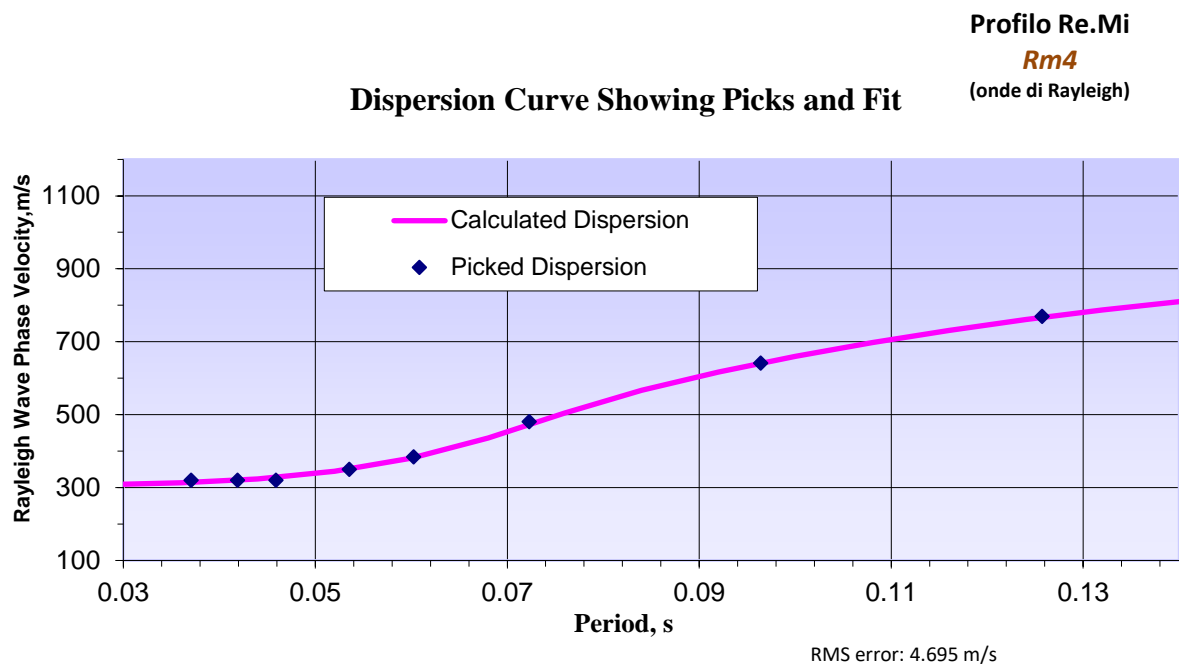
*Profilo Re.Mi
Rm 3*



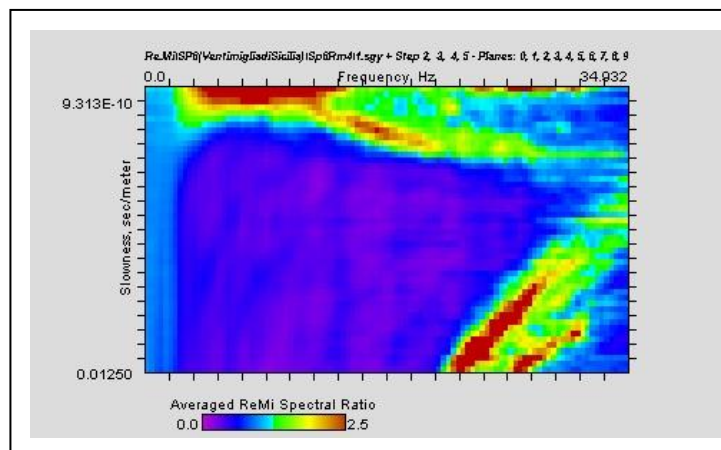
Lavoro: Studio geologico per gli interventi di sistemazione della S.P.6 dal Comune di Trabia alla S.S. 121

Comittenza: Comune di Ventimiglia di Sicilia

Fig. 3A



p-f Image



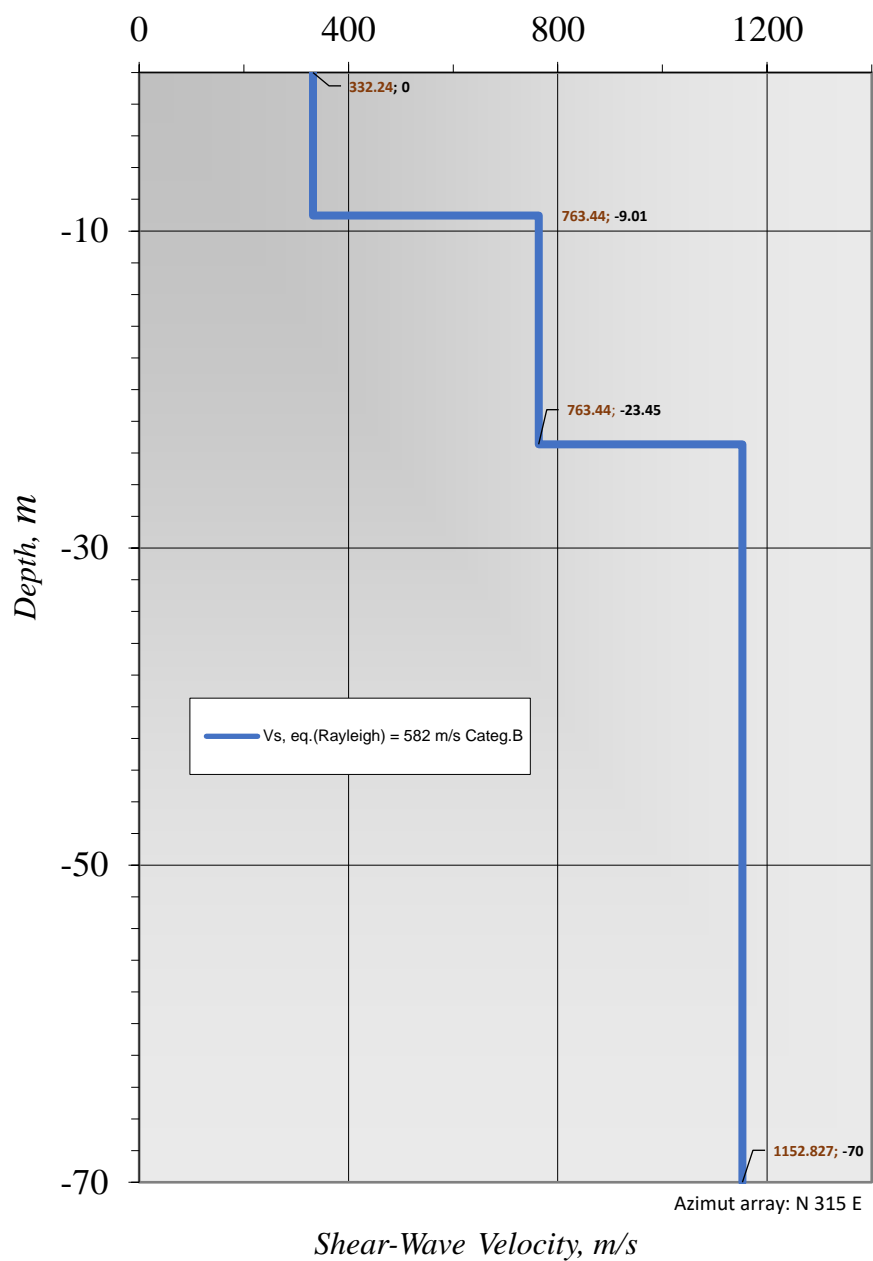
Lavoro: Studio geologico per gli interventi di sistemazione della S.P.6 dal Comune di Trabia alla S.S. 121

Comittenza: Comune di Ventimiglia di Sicilia

fig. 4

Vs Model

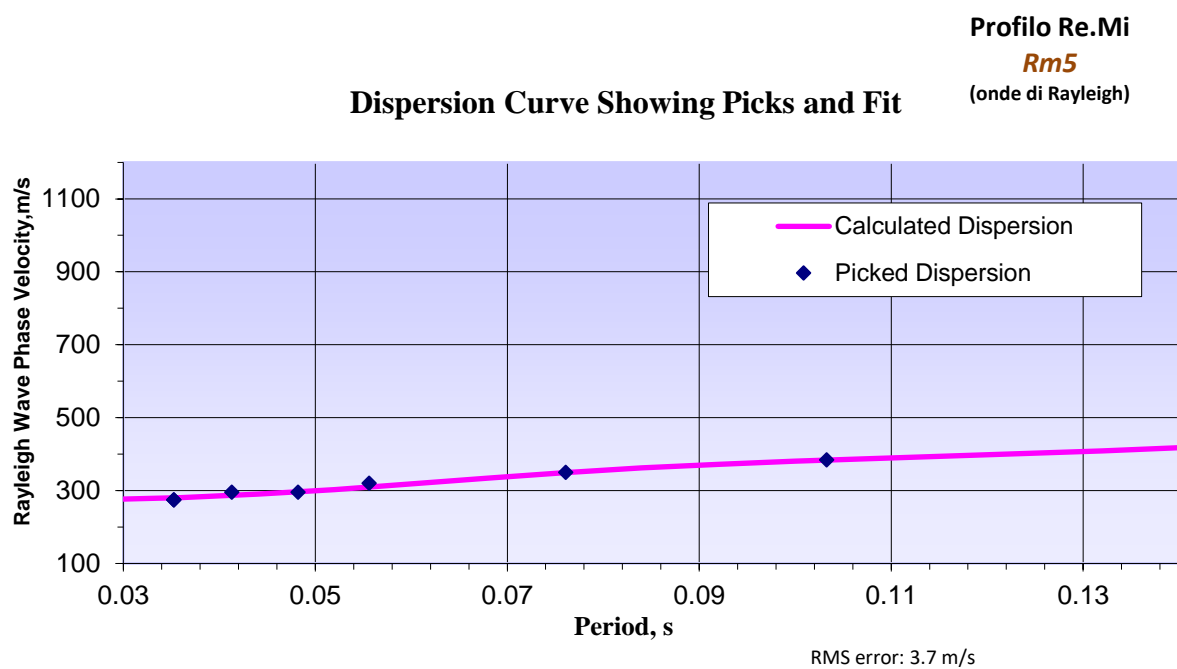
*Profilo Re.Mi
Rm 4*



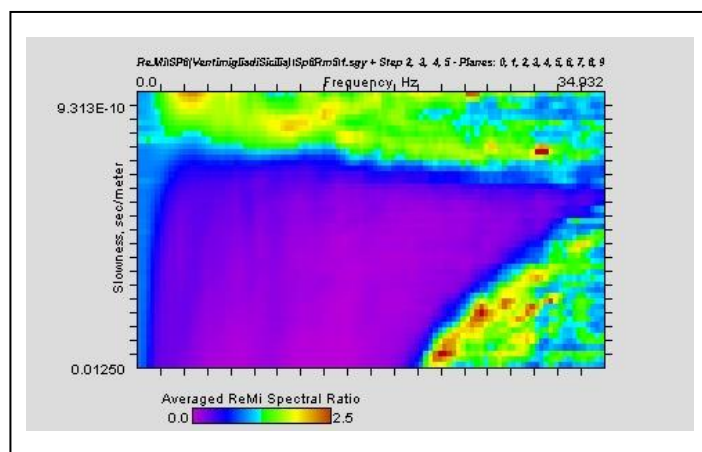
Lavoro: Studio geologico per gli interventi di sistemazione della S.P.6 dal Comune di Trabia alla S.S. 121

Comittenza: Comune di Ventimiglia di Sicilia

Fig. 4A



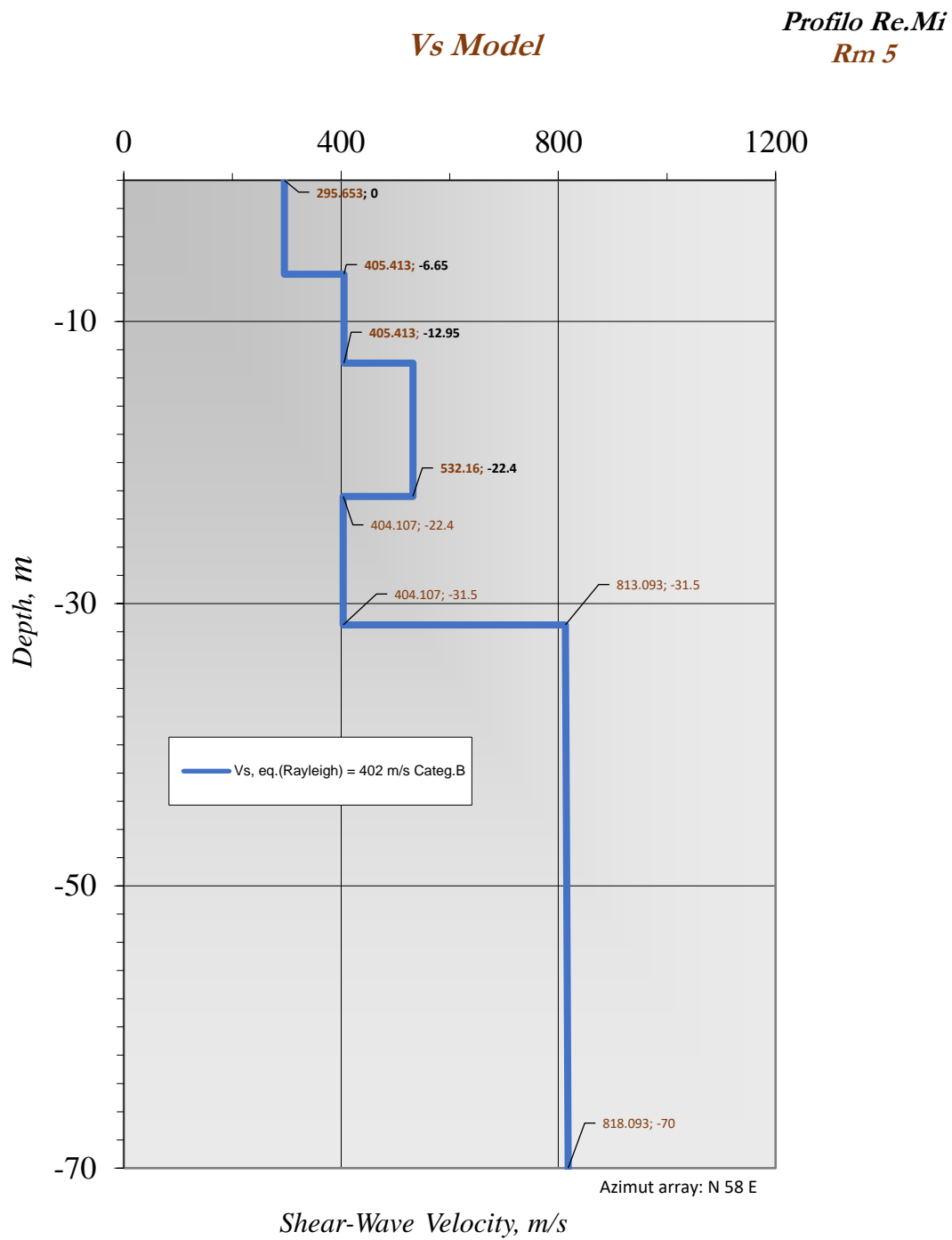
p-f Image



Lavoro: Studio geologico per gli interventi di sistemazione della S.P.6 dal Comune di Trabia alla S.S. 121

Comittenza: Comune di Ventimiglia di Sicilia

fig. 5



Lavoro: Studio geologico per gli interventi di sistemazione della S.P.6 dal Comune di Trabia alla S.S. 121

Commitenza: Comune di Ventimiglia di Sicilia

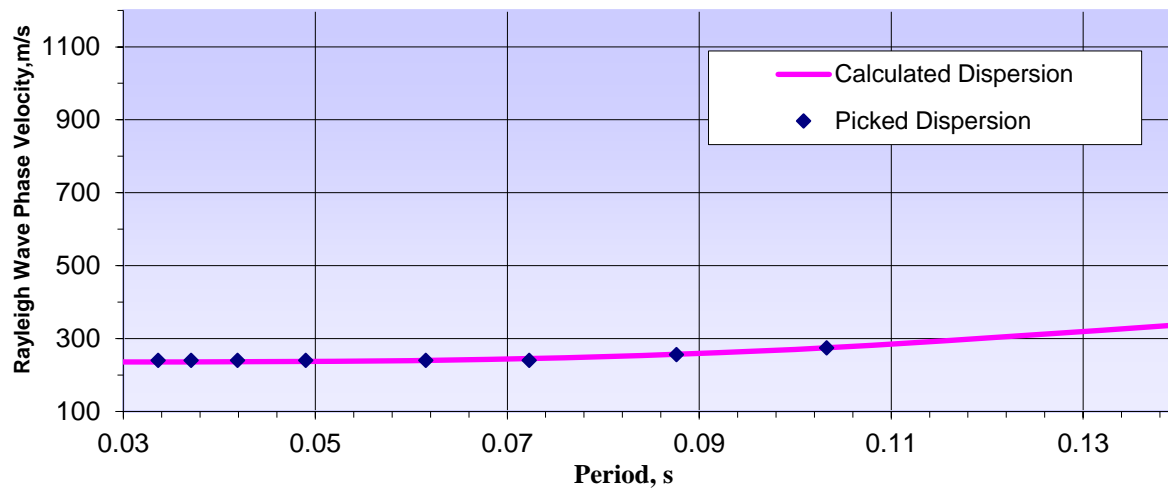
Fig. 5A

Dispersion Curve Showing Picks and Fit

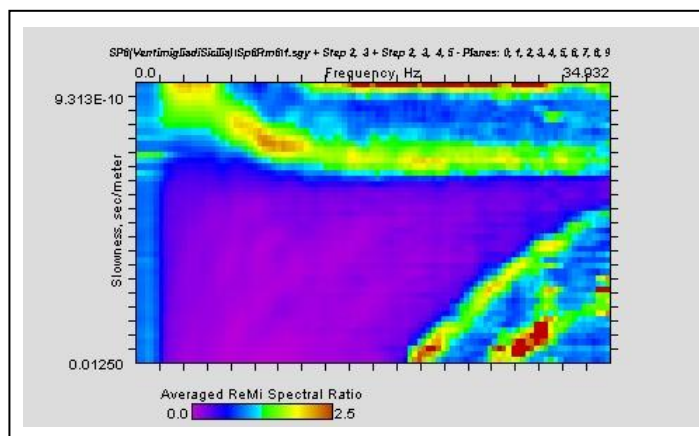
Profilo Re.Mi

Rm6

(onde di Rayleigh)



p-f Image



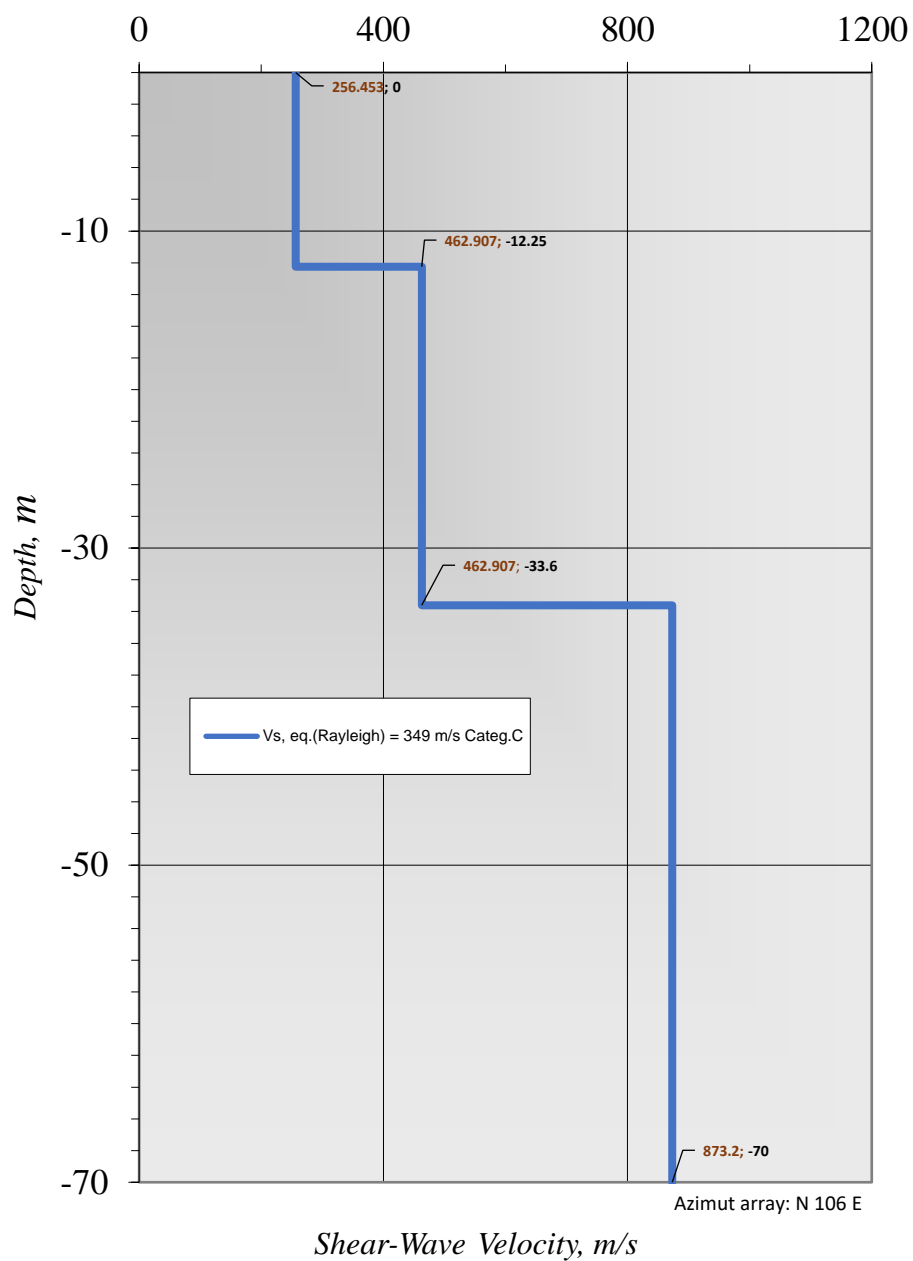
Lavoro: Studio geologico per gli interventi di sistemazione della S.P.6 dal Comune di Trabia alla S.S. 121

Committenza: Comune di Ventimiglia di Sicilia

fig. 6

Vs Model

*Profilo Re.Mi
Rm 6*



Lavoro: Studio geologico per gli interventi di sistemazione della S.P.6 dal Comune di Trabia alla S.S. 121

Committenza: Comune di Ventimiglia di Sicilia

Fig. 6A

Prova: HVSR 1

Cantiere: SP6 (Ventimiglia di Sicilia)

Instrument: TRZ-0116/01-10

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 20/02/21 15:27:09 End recording: 20/02/21 15:47:10

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS: 37.919649 N – 13.604098 E

Trace length: 0h20'00". Analyzed 70% trace (manual window selection)

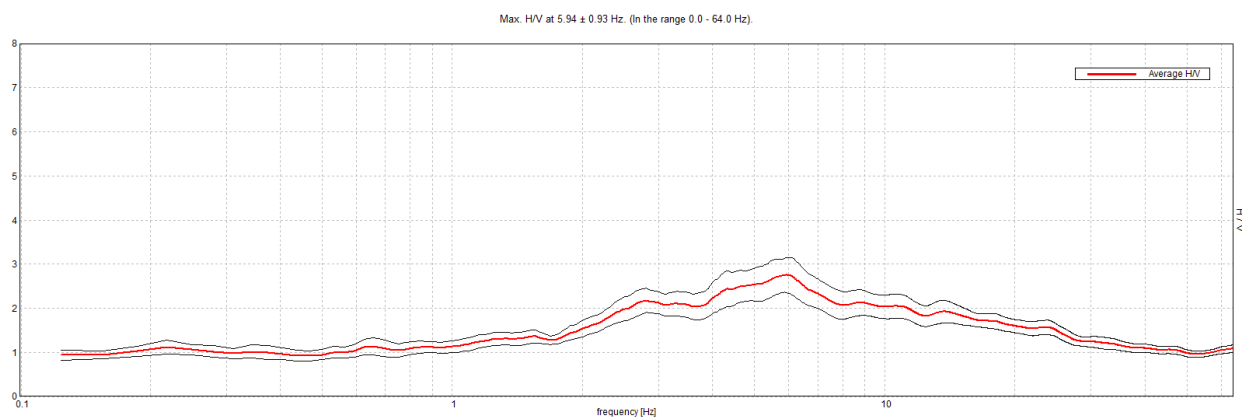
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

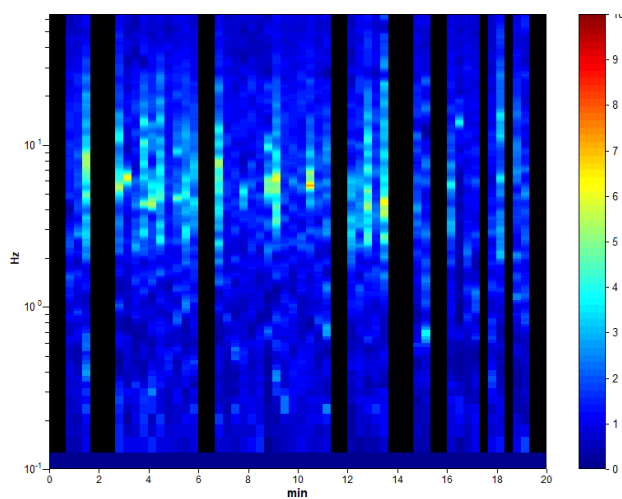
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

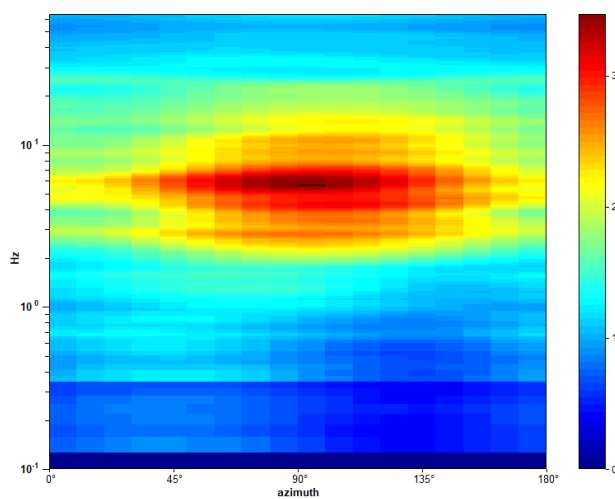
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



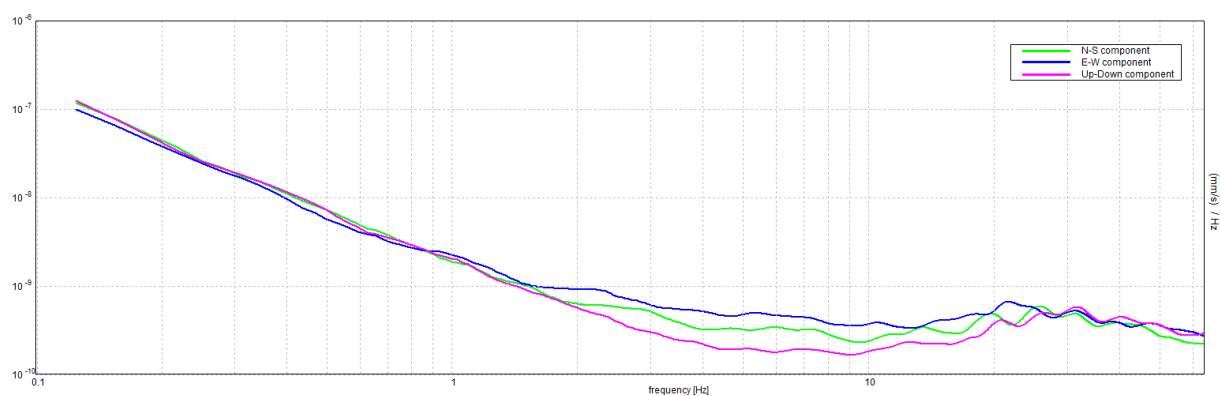
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



SESAME, 2005 guidelines

Max. H/V at 5.94 ± 0.93 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$5.94 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$4987.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 286 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.813 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.75 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.15735 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.93427 < 0.29688$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3953 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	$0.2 - 0.5$	$0.5 - 1.0$	$1.0 - 2.0$	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Prova: HVSR 2

Cantiere: SP6 (Ventimiglia di Sicilia)

Instrument: TRZ-0116/01-10

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 03/03/21 12:09:02 End recording: 03/03/21 12:29:03

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS: 37.932859 N – 13.512553 E

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

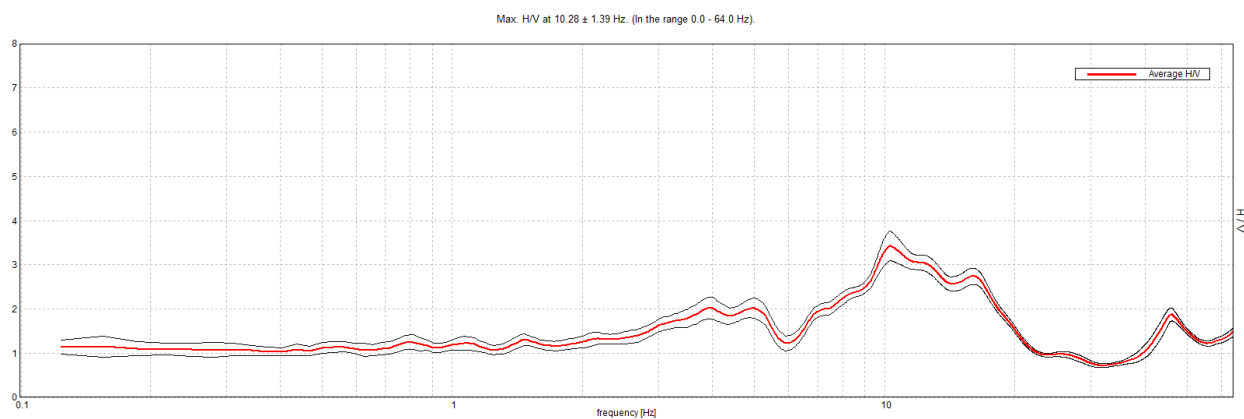
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

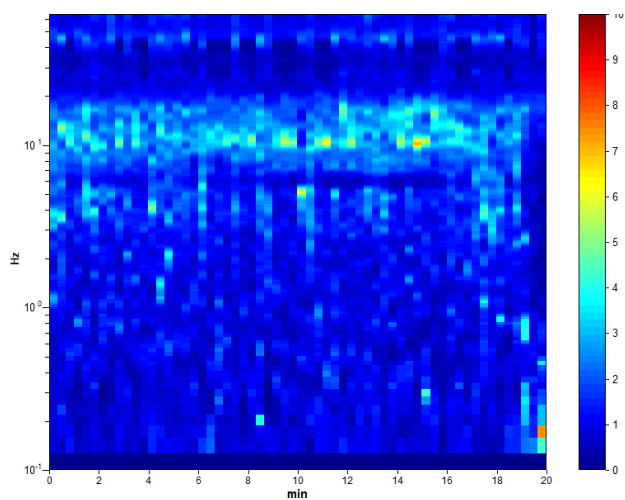
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

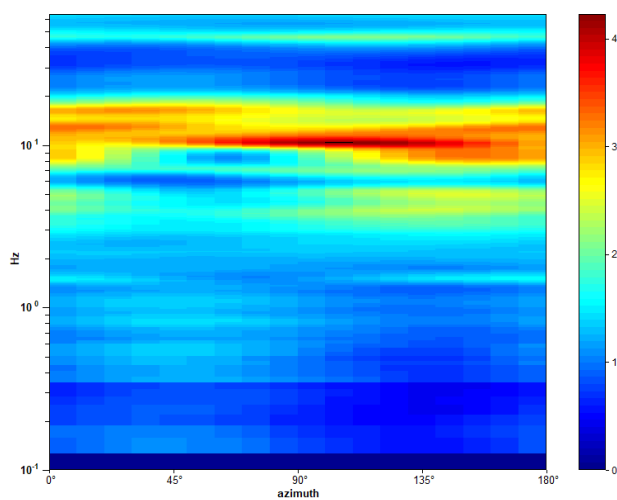
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



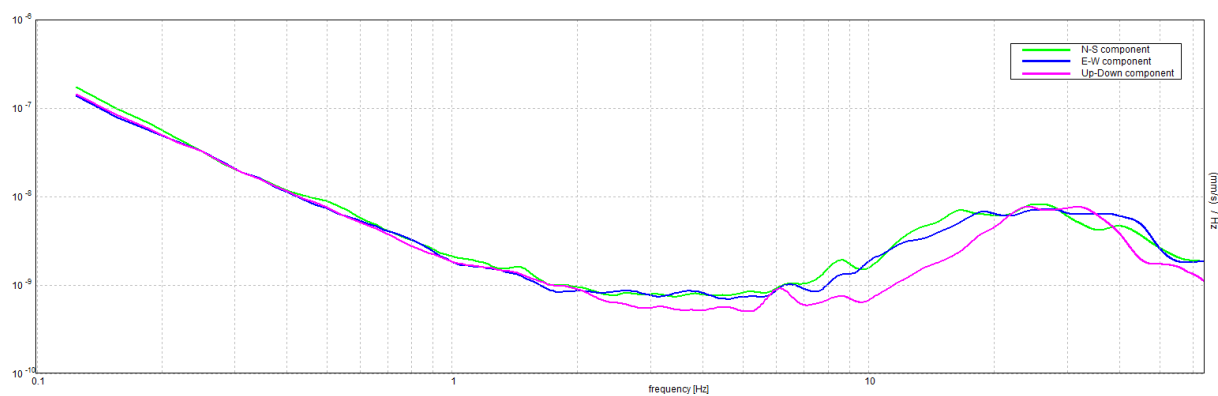
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



SESAME, 2005 guidelines

Max. H/V at 10.28 ± 1.39 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	10.28 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	12337.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 494 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.656 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	19.375 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.43 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.13493 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.38721 < 0.51406		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3353 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20